

631
М61

В.Г. Минеев

АГРОХИМИЯ И БИОСФЕРА

«В интересах настоящего и будущих поколений в СССР принимаются необходимые меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли и недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды».

Конституция СССР, статья 18

631

M 61

43

В.Г. Минеев

член-корреспондент ВАСХНИЛ

АГРОХИМИЯ И БИОСФЕРА



Издательство «Колос»

Москва 1984

ХИТАНАТИ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «КОЛОС»
МОСКВА

Рецензенты: В. А. Ковда, член-корреспондент АН СССР, и
А. П. Щербаков, доктор биологических наук

В. Г. Минеев. *Агрохимия и биосфера.*— М.: Колос, 1984,
245 с.

В книге обобщен отечественный экспериментальный материал по воздействию агрохимических средств на природную среду (водные источники, атмосферу, плодородие и свойства почв, качество растениеводческой продукции). Рассмотрены пути возможного загрязнения окружающей среды и мероприятия по его предотвращению. Большое внимание уделено совершенствованию технологии транспортировки, хранения и внесения удобрений, улучшению их качества и свойств, соблюдению приемов по рациональному применению агрохимических средств и повышению их эффективности.

Таблиц — 79, библиография — 191.

~~2004049~~

~~БИБЛИОТЕКА
Павлодарского
педагогического
института~~

490826

С. Торайгыров
атындағы ПМУ-дің
академик С. Бөйөөмбаев
атындағы ғылыми
КІТАПХАНАСЫ

М 3802020000—039 свод. пл. подписных изд. 1984 г.
035(01)—84

Химизация земледелия — важнейший фактор интенсивного развития сельскохозяйственного производства. Это подтверждается практикой отечественного и зарубежного земледелия. Д. Н. Прянишников прирост продукции за счет удобрений сравнивал с открытием новых земледельческих континентов.

Каждый четвертый житель планеты кормится благодаря применению минеральных удобрений. К концу XX столетия численность населения Земли достигнет 5,7—6 млрд. человек. Для удовлетворения его потребности в пище производство зерна должно по крайней мере утроиться. Увеличение производства зерна и другой сельскохозяйственной продукции потребует дальнейшего расширения производства и применения минеральных удобрений. По прогнозам ФАО, мировая потребность в минеральных удобрениях в 2000 г. достигнет 300 млн. т, в том числе 170 млн. т N, 70 млн. т P_2O_5 и 60 млн. т K_2O . Производство элементов питания по сравнению с 1979 г. возрастет в 3 раза.

В нашей стране вопросам химизации земледелия уделяется большое внимание. Со времени мартовского (1965 г.) Пленума ЦК КПСС применение удобрений в земледелии растет высокими темпами. Если в 1965 г. сельскому хозяйству было поставлено 6,3 млн. т, в 1970 г. — 10,4 млн. т, то в 1975 г. — 17,5 млн. т, а в 1980 г. — 18,6 млн. т питательных веществ.

В одобренной майским (1982 г.) Пленумом ЦК КПСС Продовольственной программе СССР на период до 1990 г. большое внимание уделяется ускорению научно-технического прогресса, укреплению материально-технической базы сельского хозяйства на основе механизации и химизации производства, а также широкой мелиорации земель. В 1990 г. намечается поставить сельскому хозяйству 30—32 млн. т минеральных удобрений (в пе-

ресчете на 100%-ное содержание питательных веществ) и существенно повысить их качество. Производство высококонцентрированных и сложных удобрений составит не менее 90% общего объема выпуска удобрений. Все удобрения, за исключением фосфоритной муки, планируется выпускать в гранулированном или крупнокристаллическом виде, больше производить жидких комплексных удобрений на основе суперфосфорной кислоты.

В связи с высокими темпами поставок минеральных удобрений сельскому хозяйству и применением все возрастающих количеств органических удобрений возникает необходимость в комплексном изучении их влияния не только на плодородие почв, урожай и качество получаемой продукции, но и на окружающую человека природную среду.

На биосферу оказывают большое влияние высокие темпы урбанизации, индустриализации, развитие всех видов транспорта, сжигание различных видов топлива в промышленности и быту, накопление большого количества коммунально-бытовых отходов, а также применение в сельском хозяйстве химических средств, в том числе различных видов удобрений.

При возросшем влиянии общественного производства на окружающую среду необходимо усилить внимание к охране природы, экономному использованию ее богатств, защите механизма самосохранения и саморегулирования биосферы от отрицательных воздействий человеческой деятельности, сочетанию потребления и воспроизводства природных ресурсов в целях сохранения экологического равновесия.

Биосфера является гигантской экологической системой земного шара. Сама же земля — это дом человечества. Поэтому благородная задача всех людей состоит в том, чтобы будущие поколения могли пользоваться всеми благами природы. Вот почему охрана биосферы как среды обитания всех живых существ приобрела международный, глобальный характер.

В нашей стране охране биосферы уделяется большое внимание. За годы Советской власти партией и правительством, а также государственными органами союзных республик принято более ста нормативных актов, направленных на рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, на предотвращение загрязнения биосферы, на улучшение окружающей чело-

века природной среды. В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» признано необходимым улучшить охрану природы, усилить работу по сохранности сельскохозяйственных угодий и борьбе с эрозией почв, повысить их защиту от селей, оползней, обвалов, засоления, заболачивания, подтопления и иссушения.

Охрана биосферы в нашей стране предусмотрена Конституцией СССР. В статье 18 записано: «В интересах настоящего и будущих поколений в СССР принимаются необходимые меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды».

Согласно принятому советскому законодательству, международным соглашениям, в нашей стране проведены крупные мероприятия по охране окружающей среды, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов.

В последние годы агрономической наукой и практикой химизации земледелия накоплено достаточно данных о влиянии (положительном и негативном) удобрений на окружающую среду. Автор счел своим долгом обобщить эти данные, сделать объективный их анализ, показать по возможности всестороннее воздействие химизации земледелия на биосферу.

При анализе и оценке взаимосвязи агрохимии с проблемой сохранения и улучшения биосферы использован имеющийся отечественный и зарубежный опыт.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ХИМИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И БИОСФЕРА

Биосфера — это среда обитания всего живого — микроорганизмов, растений, животных, человека. Она охватывает гидросферу, т. е. водную оболочку (до глубины 12 км) и нижний слой атмосферы высотой до 15 км. Нижняя граница биосферы в литосфере проходит, как считают, на глубине до 5 км.

Основой динамического равновесия и устойчивости биосферы являются круговорот веществ и превращение энергии. Хорошо известны глобальные процессы круговорота воды на Земле, круговорот кислорода, углерода, азота, минеральных веществ. До появления жизни на Земле действовали одни абиотические факторы, с момента появления жизни прибавились биотические. С появлением растений, использующих радиационную энергию, началось бурное развитие всех форм жизни на Земле, активный обмен веществ и энергии между живой и неживой природой.

С началом хозяйственной деятельности человека активно проявились антропогенные факторы, связанные с его вмешательством в природные процессы, протекающие в биосфере. Обмен веществ с окружающей средой является основным условием существования жизни на Земле. Человек, как и все живое, может существовать только в неразрывной связи с природной средой. Человеческое общество не только пользуется естественными благами природы, но и изменяет ее, подчиняет своим интересам, как бы господствует над ней. Поэтому взаимоотношения человека с биосферой должны рассматриваться не только в биологическом, но и в социально-экономическом плане.

Изучение законов развития биосферы приобретает особенно важное значение с развитием научно-техниче-

ского прогресса. Комплексное развитие всех отраслей народного хозяйства должно сочетаться с оптимальным удовлетворением потребностей человека, с сохранением и улучшением природной окружающей среды.

Хозяйственная деятельность человека часто коренным образом меняет направленность природных биогеохимических циклов. Биосфера и ее компоненты (живое вещество, океан, атмосфера, почвенный покров суши) получили новый могущественный фактор — современное общество с его интеллектуальностью и могущественной наукой, энергетическим, индустриальным, транспортным, агрономическим, гидротехническим потенциалами и противоречивым социальным аппаратом. Этот фактор стихийно вписался в биосферу и стал его органической частью, вызвал непредвиденные хаотические и часто отрицательные последствия в нормальных природных процессах. Проблема современности заключается в понимании этих явлений во всей совокупности, в познании механизма взаимодействия частей этой системы, в выборе оптимальных форм социального планового устройства самого общества и научно обоснованных приемов управления, а также совершенствования очень сложной системы: биосфера — общество.

Социалистические принципы планового использования ресурсов и ведения хозяйства в интересах здоровья, быта и культурных потребностей человека обуславливают реальные возможности познания законов и управления процессами взаимоотношения общества и биосферы (Ковда, 1976). Задача состоит в том, чтобы развитие научно-технического прогресса сочеталось с прогрессивным развитием природной среды и экологизацией всего общественного производства с целью обеспечения сбалансированного динамического равновесия в природе.

Научно-технический прогресс существенно влияет на развитие всех отраслей народного хозяйства, качественно изменяет все стороны жизни общества. Наука и техника находятся в постоянной взаимосвязи. Можно сказать, что интенсивность развития науки в значительной степени определяется техническим уровнем развития общества, его материальной потребностью. В то же время технический уровень зависит от состояния и развития науки. Наука и техника как важнейшие элементы взаимосвязи природы и общества оказывают непосредственное влияние на количественные и качественные из-

менения в производстве, на рациональное использование природных ресурсов, а значит, на сохранение и улучшение биосферы в целом.

Для удовлетворения своих потребностей человек сознательно и активно изменяет окружающую среду в соответствии с заранее поставленными целями, которые не всегда совпадают с возможностями биосферы. Нарушение объективных законов природы может нарушить биологическое равновесие, привести к новым взаимосвязям природы и общества, к непредвиденным последствиям. Именно об этом предупреждал Ф. Энгельс: «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых»*.

Научно-технический прогресс достиг такого уровня, а производственная деятельность человека — таких масштабов, что изменяются не только отдельные биогеоценозы, но и исторически сложившиеся процессы в пределах всей биосферы. В связи с этим В. А. Ковда (1976) считает, что сокращение площади лесов, загрязнение океана, разрушение или ликвидация на больших пространствах почвенного покрова могут привести к ослаблению функционирования основного механизма системы: почва — растения и океан — растения. Последствия этого ощущаются еще в очень малой степени, но прогноз и рекомендации ясны: необходимо оберегать почвенный покров, закрыть его каждый квадратный сантиметр, дециметр и метр травянистой, кустарниковой и древесной растительностью. Соответствующий комплекс мер необходим и для сохранения фотосинтетической деятельности. Дальнейшее разрушение этого механизма локально и регионально усилит процессы нарушения биогеохимических циклов планеты, еще больше увеличит их незамкнутость и перегрузку, а также дальнейшее ослабление фотосинтетического звена (т. е. соотношение кислорода и окислов углерода в воздухе).

В то же время прогресс человечества невозможен без разумного воздействия на природу, преобразования ее

* Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 495—496.

в интересах нынешнего и будущих поколений. Важно рационально использовать природные богатства на основе познания законов природы и их правильного научного применения.

Ф. Энгельс отмечал, что «...на каждом шагу факты напоминают нам о том, что мы отнюдь не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом, не властвуем над ней так, как кто-либо находящийся вне природы, — что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри ее, что все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять»*.

Ухудшение природной среды и нарушение экологического равновесия вовсе не неизбежное следствие развития цивилизации — они порождены ошибками в технической политике. Управление природой — это сложный комплекс разнообразной деятельности человеческого общества, направленной на достижение органической взаимосвязи между человеком и природой путем разумного регулирования взаимоотношений между ними. Поэтому научно-технический прогресс не только открывает новые пути удовлетворения человеческих потребностей, но и создает большие возможности для сохранения и восстановления природной среды и улучшения биосферы в целом.

Однако в процессе бурного развития индустриализации и химизации сельского хозяйства возможно отрицательное воздействие на окружающую среду вследствие нарушения технологий производственных процессов и неправильного применения средств химии. Например, значительное загрязнение окружающей среды происходит при производстве хлорида калия вследствие прежде всего накопления солевых отходов и глинистых шламов. Солевые отходы в количестве десятков миллионов тонн накапливаются в солеотвалах. Они состоят из хлоридов натрия (до 90%), хлоридов калия (до 9%), а также соединений кальция и магния. Глинистые шламы десятками тысяч кубометров в сутки транспортируются на шламонакопители. Они занимают сотни гектаров земельной площади (Шипилов, 1980).

* Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 496.

В зависимости от технологии переработки калийно-магниевых руд глинистые шламы содержат 11—19% хлорида калия, 14—16% хлорида натрия, 0,2—5,0% хлорида магния, 3—4% сульфата калия, 40—45% воды и 13—30% нерастворимого остатка. С ливневыми и талыми водами происходит значительная миграция компонентов солевых отходов и шламов в природные водные источники. Например, если выше по течению рек от мест расположения калийных предприятий количество рубидия составляет 0,002—0,05 мг/л, калия 1—3 мг/л, натрия 2—14 мг/л, магния 2—35 мг/л, кальция 7—80 мг/л, то ниже по течению концентрация рубидия достигает 0,5—1,5 мг/л, а калия, натрия, магния и кальция — сотни и тысячи миллиграммов на 1 л воды. Особенно большое количество щелочных элементов наблюдается в реках в непосредственной близости от солеотвалов и шламонакопителей: в воде малого водоема на расстоянии 100—300 м от солеотвала и шламонакопителя производства хлорида калия рубидия содержалось 10—30 мг/л, калия — 19 000—26 000, натрия — 22 000—36 000, магния 560—1250, кальция — 1540—2080 мг/л. Важным путем предотвращения загрязнения природной среды сточными водами и отходами производства хлорида калия является ликвидация солеотвалов и шламонакопителей и переработка отходов (поскольку они содержат ряд ценных химических веществ), а также полное исключение сброса в водоемы неочищенных стоков (Шипилов, 1980).

Сложные глобальные проблемы охраны окружающей среды сейчас нельзя решать локально, силами отдельных стран. Успех дела в значительной мере будет зависеть от масштабного подхода к решению этих проблем — группой стран, крупных регионов или во всем мире. В этой связи можно привести такой пример. С запада на территорию нашей страны ежегодно поступает около 2 млн. т SO_2 и 10 млн. т сульфатов (в расчете на сульфат-ион), из которых 4 млн. т (в виде серной кислоты) выпадает в западных и центральных областях европейской части СССР с осадками. Почвы этих областей большей частью торфяные и подзолистые, для которых характерна собственная избыточная кислотность. Для их раскисления ежегодно вносится в почву 10 млн. т извести. Поступающая с осадками серная кислота нейтрализует вносимую известь. На сельскохозяйственные

угодья ежегодно поступает около 1,4 млн. т переносимой из-за границы серной кислоты, на нейтрализацию которой требуется 1,5 млн. т извести. Ущерб, причиняемый только потерей извести, может быть оценен в 40 млн. руб. (Лысак, Назаров, Рябошапка, 1979).

Изучение воздействия загрязнений и других последствий человеческой деятельности на биосферу и ее отдельные элементы, разработка средств очистки промышленных выбросов, новых, безотходных технологических процессов ведутся советскими учеными вместе с учеными США, Англии, Франции, Швеции на основе двусторонних соглашений о сотрудничестве в охране природной среды (Федоров, 1975). Вопросы сохранения и улучшения окружающей среды в мировом масштабе находятся под контролем специализированной международной организации ЮНЕП, входящей в ООН.

Большая работа по охране биосферы от загрязнения проводится странами — членами СЭВ. Осуществляется научно-техническое сотрудничество социалистических стран по комплексной проблеме, предусматривающей развитие исследований по защите окружающей среды, охране экологических систем и другим вопросам охраны природы. По отдельным разделам проблемы созданы координационные центры с участием в их работе ведущих учреждений стран — членов СЭВ. В 1980 г. принята пятилетняя программа взаимодействия стран социалистического содружества в области охраны и улучшения окружающей природной среды. Создан рабочий орган для реализации программы и ряд координационных центров по проблемам экологии — изучению закономерности круговорота биогенных элементов, регулированию экологического равновесия и прогнозированию нежелательных последствий, вытекающих из всесторонней химизации современного земледелия.

В нашей стране осуществляются плановые мероприятия по охране окружающей среды, по рациональному использованию различных природных угодий и т. д. Эти мероприятия отражают стремление согласовать хозяйственную деятельность человека с законами природы. К таким важным мероприятиям относятся всемерное обеспечение и эффективное осуществление мер по охране земель, защите от загрязнения вод и воздушного бассейна, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов. Особого внимания заслуживают ме-

ры по рекультивации земель, борьбе с эрозией почвы, которая в ряде зон наносит большой ущерб сельскому хозяйству, ухудшая баланс питательных веществ в земледедии.

В АН СССР создан научный совет по биосфере. Общее руководство охраной природы в СССР осуществляет Совет Министров СССР, а также советы министров союзных республик. Функционирует общегосударственная служба наблюдений и контроля за уровнем загрязнения внешней среды.

Одной из основных задач агрохимии является научное обоснование приемов высокоэффективного применения удобрений. Это требует как глубокого теоретического изучения вопросов питания растений, химии почвы и удобрения, так и практического опыта и организации внедрения научных достижений в производство.

Советская агрохимия в самостоятельную научную дисциплину развивалась в тесной связи с химизацией социалистического земледелия, с широким применением местных и промышленных удобрений. С интенсивным применением удобрений расширялись задачи агрохимии, определялись более тесные связи ее с другими научными дисциплинами, особенно с физиологией и биохимией растений. Сейчас можно сказать, что агрохимия—это наука о питании растений и применении удобрений, изучающая состав и свойства различных видов и форм удобрений и их влияние на свойства и плодородие почвы, круговорот и баланс питательных веществ, на продуктивность и рентабельность сельскохозяйственного производства, на охрану и улучшение окружающей природной среды.

Если на первом этапе развития агрохимии наиболее важными вопросами были изучение процессов питания растений и воздействие на них различных удобрительных средств, то сейчас сельскохозяйственная практика требует разработки наиболее эффективных технологий использования химических средств в сочетании с комплексом других приемов агротехники и мелиоративных мероприятий. Для этого необходимо расширение и углубление теоретических проблем агрохимии.

Важным объектом исследований в агрохимии является обмен веществ в растениях в связи с их питанием, применением удобрений и продуктивностью. Вскрывая закономерности, лежащие в основе этих процессов, агро-

номическая химия намечает пути вмешательства в их течение с целью повышения урожая и улучшения его качества. Будучи прежде всего средством химического воздействия на почву, удобрения при правильном их применении повышают содержание в ней усвояемых питательных веществ и гумуса, изменяют поглотительную способность и буферность почвы, улучшают ее физические свойства. При этом повышается активность биологических процессов в почве, вследствие чего существенно улучшаются условия питания растений, а следовательно, их рост и развитие.

Задача агрохимии состоит в том, чтобы показать пути управления этими процессами и дать научно обоснованные рекомендации практике по созданию оптимальных условий питания культурных растений с учетом особенностей климата, свойств и плодородия почвы, биологических особенностей вида и сорта культуры, свойств удобрений их влияния на растение и почву, а также на окружающую среду. Знание закономерностей взаимодействия этих факторов позволит специалисту предвидеть их проявление в конкретных условиях применения удобрений.

Удобрения — самое сильное средство воздействия на круговорот веществ в земледелии. Без них нельзя регулировать процессы питания растений, изменять качество урожая, повышать плодородие почвы. Удобрения оказывают комплексное воздействие на почву и являются не только соединениями, пополняющими почву необходимыми для растений питательными элементами. Они также улучшают химические, агрохимические и физические свойства почвы, повышают ее биологическую активность, способствуют мобилизации питательных веществ самой почвы.

Агрономическая химия как наука тесно связана с биологической и сельскохозяйственной наукой, разделение которых подчас бывает весьма относительным. Например, питание культурных растений связывает агрохимию и физиологию растений. Задачи агрохимии не только исследование, но и регулирование, а также управление процессами, происходящими в почве, для повышения ее плодородия, продуктивности сельскохозяйственных культур, улучшения качества продукции, сохранения и улучшения окружающей природной среды. Изучая биологические, химические и физические свой-

ства почвы, агрохимия познает ее плодородие и трансформацию внесенных удобрений. Таким образом, она тесно связана с почвоведением.

Система различных специализированных полевых и кормовых севооборотов является необходимым условием высокоэффективной системы удобрений в конкретных условиях. Различные же технологии обработок почвы являются важным фактором, существенно влияющим на динамику и доступность питательных веществ в почве. Это связывает агрохимию и земледелие. Превращение многих элементов питания зависит от направления микробиологических процессов в почве. Больше того, для повышения биологической активности почвы применяют специальные бактериальные препараты. Этим обуславливается связь агрохимии с микробиологией. Кроме того, рациональное и экономически выгодное применение удобрений возможно на фоне высокой агротехники удобряемых растений и при высокой культуре земледелия. Поэтому агрохимия тесно связана с растениеводством, защитой растений, экономикой и организацией сельскохозяйственных предприятий.

Как ни велика роль минеральных удобрений, органические удобрения никогда не потеряют своего значения. Наряду с увеличением снабжения сельского хозяйства минеральными удобрениями перед колхозами и совхозами стоит важная задача — максимально мобилизовать все местные удобрительные ресурсы и правильно организовать использование навоза. Без этого не может быть налажено действительно рациональное применение и минеральных удобрений. Интенсивное применение минеральных удобрений в земледелии приводит к улучшению кормовой базы для животноводства, а следовательно, к увеличению выхода навоза и масштабов его использования.

Высокие темпы химизации земледелия требуют постоянного совершенствования механизации и автоматизации этих процессов, т. е. совершенствования транспортных средств для перевозки удобрений, машин по тукосмешению и внесению удобрений на поля. Следовательно, агрохимия как наука тесно связана с механизацией сельскохозяйственного производства.

Наконец, в последние годы все острее встает вопрос о влиянии средств химии, применяемых в сельском хозяйстве, в том числе и различных видов удобрений, на

окружающую человека среду. Здесь проявляется определенная связь агрохимии с различными экологическими системами и в целом со всей биосферой.

Следует иметь в виду, что мировые сельскохозяйственные земельные ресурсы весьма ограничены, чтобы удовлетворить растущее население планеты за счет расширения посевных площадей. Посевные площади во многих странах из года в год уменьшаются. Остается единственный путь — интенсификация земледелия. В связи с этим большое значение в увеличении производства продуктов питания и удовлетворении потребности в них постоянно растущего населения планеты имеет применение удобрений (табл. 1).

1. Применение минеральных удобрений в мире
(Черепанов, 1980)

Год	Применение удобрений (в млн. т)				Соотношение N : P ₂ O ₅ : K ₂ O
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Всего	
1921	0,8	1,9	1,1	3,8	1 : 2,5 : 1,5
1931	1,5	3,0	1,9	6,4	1 : 2,0 : 1,3
1939	2,7	3,6	2,9	9,2	1 : 1,4 : 1,1
1946	2,0	3,4	2,1	7,5	1 : 1,7 : 1,1
1951	4,2	6,2	4,5	14,9	1 : 1,5 : 1,1
1961	11,3	11,4	8,6	29,3	1 : 1,0 : 0,7
1965	17,4	15,4	12,1	44,9	1 : 0,8 : 0,6
1970	31,5	20,8	16,6	68,9	1 : 0,6 : 0,5
1975	38,9	22,9	19,9	81,7	1 : 0,6 : 0,5
1978	47,8	28,3	23,3	99,4	1 : 0,6 : 0,5
1979	51,4	30,5	24,8	106,7	1 : 0,6 : 0,5
1981	60,3	31,5	24,3	116,1	1 : 0,52 : 0,4

Примечание. По 1981 г. приведены данные ФАО.

Применение удобрений по правильной технологии позволило добиться важнейших результатов: остановлен процесс снижения плодородия почвы, увеличен валовой сбор при одновременном уменьшении загрязнения озер и рек, снижена стоимость производства продуктов питания, большие площади земли можно отводить под другие угодья — дикую фауну, леса и т. д. Именно благодаря применению удобрений в сочетании с другими агротехническими мероприятиями стало возможным получение больших урожаев на меньшей площади. Исследования, проведенные в США (Aldrich, 1972), показали, что без применения удобрений для получения достигнутых валовых сборов кукурузы потребовалось бы втрое

больше пахотной площади. А поскольку такой площади нет, то пришлось бы использовать эродированные и другие непригодные земли, а это неминуемо привело бы к повышению смыва питательных элементов вместе с почвой. Кроме того, понадобилось бы свести леса, осушить болота, освободить заповедники, вспахать парки. Следовательно, правильное использование удобрений в сочетании с современной технологией производства сельскохозяйственных культур — лучший способ удовлетворения потребностей общества в продуктах питания и сохранения окружающей среды. Что же касается возможного нежелательного воздействия удобрений и других химических средств на окружающую среду, то существует много возможностей его снижения.

Нельзя переоценить значение минеральных удобрений в повышении продуктивности земледелия. Как отмечает В. А. Ковда (1981), общие потребности сельского хозяйства СССР в туках по отношению к уровню 1975 г. должны вырасти примерно в 3—4 раза. При высокой культуре земледелия и оптимизации водного режима почв этот уровень химизации позволит в среднем удовлетворить урожай сельскохозяйственных культур. Делая анализ интенсификации химизации земледелия на примере азотных удобрений, Е. Н. Мишустин и др. (1981) заключают, что даже существенное увеличение поступления биологического азота не может обеспечить ликвидацию его дефицита в почве и дальнейшее повышение урожайности.

Интересные расчеты приводит С. Г. Скоропанов и др. (1982). Так уже сейчас 40 млн. человек в нашей стране питаются продуктами, полученными благодаря внесению минеральных удобрений, а с учетом их действия вместе с органическими удобрениями — 60—65 млн. человек. К концу одиннадцатой пятилетки за счет минеральных удобрений можно будет обеспечивать продовольствием до 80 млн. советских граждан.

В нашей стране производство минеральных удобрений идет ускоренными темпами. И в перспективе увеличение валовой сельскохозяйственной продукции в значительной мере будет определяться количеством удобрений и их правильным использованием. Применение удобрений позволило существенно повысить урожайность основных культур, увеличить валовое производство сельскохозяйственной продукции (табл. 2). Из приведенных

данных видно, что существует прямая зависимость между количеством внесенных удобрений и урожаями культур. Однако на 1 га пашни пока вносится недостаточное количество удобрений.

2. Среднегодовое применение удобрений, урожайность, валовые сборы основных сельскохозяйственных культур в СССР

Культура	Показатель	1961— 1965 гг.	1966— 1970 гг.	1971— 1975 гг.	1976— 1980 гг.
Зерновые	Внесено минеральных удобрений (в тыс. т питательных веществ)	984	2 643	4 734	6 503
	Урожайность (в ц/га)	10,2	13,7	14,4	16,1
	Валовая продукция (в млн. т)	130,3	167,6	181,6	205,0
Хлопчатник	Внесено минеральных удобрений (в тыс. т питательных веществ)	552	819	1 024	1 244
	Урожайность (в ц/га)	20,6	24,1	27,3	29,4
	Валовая продукция (в млн. т)	4,99	6,10	7,67	8,93
Сахарная свекла	Внесено минеральных удобрений (в тыс. т питательных веществ)	411	822	1 040	17 225
	Урожайность корней (в ц/га)	165	228	217	236
	Валовая продукция (в млн. т)	59,2	81,1	76,0	88,4

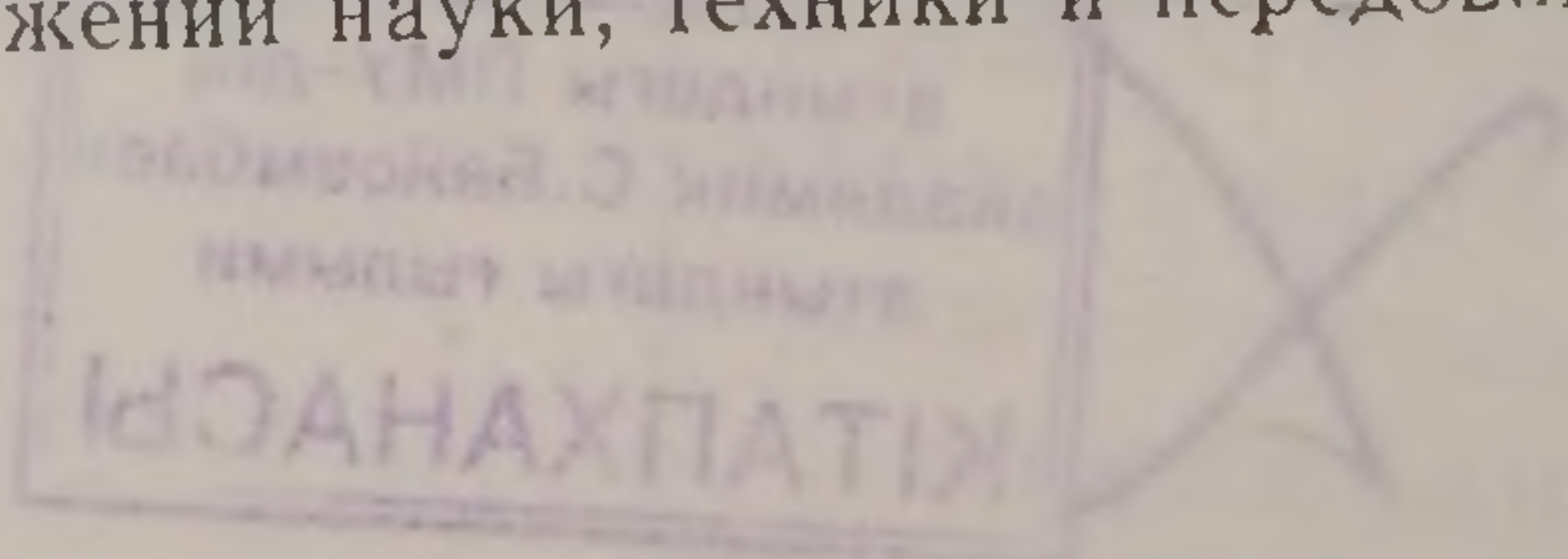
Большую роль в химизации земледелия и улучшении использования удобрений по зонам страны играет Географическая сеть опытов с удобрениями. Данные этих опытов являются научной основой для планирования производства и применения минеральных удобрений в стране и распределения их по почвенно-климатическим зонам и союзным республикам.

Проведение длительных и краткосрочных опытов с удобрениями научными учреждениями страны по единой программе исследований позволяет решить важные комплексные научные и практические вопросы: вскрыть закономерности в изменении плодородия почвы; установить географическую закономерность действия видов, форм, доз и сочетаний удобрений под отдельные культуры и в специализированных севооборотах в разных почвенно-климатических зонах страны; определить темпы повышения продуктивности севооборотов в зависимости

от уровня насыщения их удобрениями; установить влияние отдельных видов, форм удобрений, их сочетаний, степени насыщения ими севооборотов на качество сельскохозяйственной продукции; определить баланс питательных веществ в севообороте при разных уровнях применения удобрений в целях совершенствования применяемых систем удобрений в различных почвенно-климатических условиях; решить многие важные вопросы влияния химизации земледелия на биосферу, прежде всего на сохранение и улучшение окружающей среды. На основе данных опытов с удобрениями в Географической сети решаются и другие важные вопросы теории и практики химизации земледелия.

Для успешного решения практических задач химизации земледелия в 1979 г. было принято постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О создании единой специализированной агрохимической службы в стране». Этим постановлением признано необходимым организовать в системе Министерства сельского хозяйства СССР Всесоюзное производственно-научное объединение по агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства («Союзсельхозхимия»). Это обусловлено тем, что химизация земледелия, в том числе и внедрение в практику агрохимических разработок, представляет собой комплексную и сложную проблему, требует специализированных подразделений, оснащенных соответствующим набором машин и транспортных средств, высококвалифицированных кадров агрохимиков и опытных механизаторов. Деятельность агрохимслужбы должна строиться с учетом особенностей почвенно-климатических зон, специализации хозяйств, направления кооперации и агропромышленной интеграции.

В задачи «Союзсельхозхимии» входит: разработка предложений по перспективам развития химизации сельского хозяйства; определение потребности и снабжение колхозов, совхозов и других хозяйств минеральными удобрениями, известковыми и гипсосодержащими материалами и т. д.; выполнение работ по повышению плодородия земель, химической мелиорации почв, по внесению минеральных удобрений, тукосмещению, вывозке и внесению органических удобрений и т. д.; проведение комплекса почвенно-агрохимических обследований; изучение и внедрение в сельскохозяйственное производство достижений науки, техники и передового опыта по агро-



химическому обслуживанию; осуществление контроля за качеством и своевременной поставкой сельскому хозяйству средств химизации, а также соблюдение всеми земледельцами мероприятий по охране окружающей среды от загрязнения пестицидами и удобрениями; организация подготовки и переподготовки специалистов и кадров массовых профессий по химизации сельского хозяйства и защите растений.

Создание в нашей стране единой специализированной агрохимической службы является новым прогрессивным этапом в химизации земледелия. На майском (1982 г.) Пленуме ЦК КПСС уделено внимание повышению эффективности ее работы. В Продовольственной программе СССР на период до 1990 г. записано: «Должна быть поднята ответственность агрохимической службы за эффективное использование минеральных удобрений и других средств химизации, за внедрение в производство достижений науки, техники и передового опыта». В связи с этим значительно возрастает ответственность агрохимических научных учреждений, призванных давать научные разработки и обоснования эффективных приемов применения удобрений для внедрения их в производство. Необходимо повышение эффективности агрохимических исследований по дальнейшему развитию теории питания растений и применению удобрений, разработке агроэкономических требований к ассортименту новых видов и форм минеральных удобрений, повышению их качества, совершенствованию научных основ систем высокоэффективного применения удобрений с учетом почвенно-климатических условий различных зон страны, укреплению материально-технической базы по транспортировке, хранению, приготовлению и внесению минеральных удобрений.

При ускоряющемся развитии науки и техники в ближайшее столетие главным источником полноценной пищи для людей по-прежнему останутся сельскохозяйственные продукты, производство которых основано на использовании величайшего дара природы — плодородия почвы, являющегося исходным условием обеспечения непрерывного роста урожайности сельскохозяйственных культур. А там, где хорошо развита растительность, обеспечиваются и лучшие условия для сохранения и улучшения окружающей среды.

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА КРУГОВОРОТ И БАЛАНС БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

БАЛАНС АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ХИМИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Удобрения — это источник биогенных элементов, т. е. пищи для растений, которые берут эти элементы или из почвы, если они находятся в доступном состоянии, или из вносимых удобрений. И те, и другие формы питательных элементов растения в одинаковой степени используют для создания урожая. Наличие в почве доступных для растений форм питательных элементов в должном соотношении является одним из основных условий формирования высоких урожаев.

Вопросы питания растений и баланса питательных веществ в земледелии давно интересовали исследователей. Однако по-настоящему это направление в агрохимии стало развиваться с появлением труда Ю. Либиха (1840) «Химия в приложении к земледелию и физиологии» и его учения о полном возврате в почву всех минеральных веществ, взятых из нее урожаем растений. Несмотря на ошибочность некоторых положений Либиха, его учение впоследствии сыграло большую роль в формировании науки о балансе и круговороте питательных веществ в земледелии.

К. А. Тимирязев в своей книге «Земледелие и физиология растений» писал: «Учение о необходимости возврата представляет, как бы ни пытались ограничить его значение, одно из величайших приобретений науки».

Проблеме круговорота веществ в земледелии, их балансу много внимания уделял основоположник советской агрохимии Д. Н. Прянишников. Он отмечал, что развитие химической промышленности становится одной из важнейших материальных предпосылок регулирования круговорота веществ в земледелии. Массовое применение удобрений, основанное на развитии крупной химической промышленности, он считал одним из мощ-

ных факторов не только поддержания плодородия на постоянном уровне, но и дальнейшего его повышения.

Научное обоснование баланса питательных элементов имеет большое значение в условиях интенсивного земледелия. Баланс позволяет оценить и совершенствовать системы удобрения, прогнозировать потребности в удобрениях, планировать их производство и зональное распределение в стране.

Изучение круговорота и баланса питательных веществ в земледелии является одной из важнейших задач агрономической химии. Создание необходимых условий для рационального круговорота питательных веществ в земледелии, их положительный баланс создают предпосылки для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур и улучшения качества урожая. Это подтверждается агрохимической наукой и практикой отечественного и зарубежного земледелия.

А. В. Петербургский (1979) дал наиболее полное обоснование баланса азота, фосфора, калия. Он отмечал, что ни в одной стране мира урожай не могли стать высокими, прежде чем сложились основные принципы новой науки — агрономической химии, которая предложила способ получения первого минерального удобрения и, открыв законы питания растений, обосновала управление ими с помощью удобрений. Научно-технический прогресс в области химизации земледелия направлен прежде всего на управление круговоротом питательных веществ в земледелии, создание активного их баланса благодаря применению минеральных удобрений. Это одно из важнейших условий интенсивного земледелия.

Советскими учеными многое сделано для теоретического обоснования высоких темпов химизации отечественного земледелия. Практика подтвердила высокую жизненность этих научных разработок.

При условии возврата в почву питательных веществ, отчужденных с урожаем, растения с каждым годом улучшают свое развитие, захватывают из окружающей среды (атмосферы и верхних слоев земли) все большее количество биогенных элементов в свою сферу и тем самым способствуют возрастанию эффективного плодородия почвы. Нарушение баланса макро- и микроэлементов может существенно изменить химизм растений и нарушить нормальное питание животных и человека. Если удобрения применять без учета закона возврата пита-

тельных веществ, то они могут ухудшить состав растения и, наоборот, при правильном использовании удобрений — улучшить его, а следовательно, повлиять и на укрепление здоровья человека и животных (Панников, 1974). Прав и П. А. Баранов (1976), когда пишет, что минеральные удобрения как средство интенсификации земледелия по своему химическому составу не инородны живой природе и при разумном применении являются мощным фактором ее развития.

Удобрения призваны улучшать круговорот питательных элементов в земледелии, что должно способствовать не только сохранению, но и улучшению окружающей среды. Все это несомненно положительно скажется на количестве получаемой продукции и химическом ее составе. Нарушение баланса питательных веществ в земледелии ведет к ухудшению химического состава почвы, природных вод, а следовательно, и растений. Это, в свою очередь, отрицательно влияет на качество и питательную ценность сельскохозяйственной продукции и может привести к функциональным заболеваниям человека и животных. Известны, например, болезни, связанные с недостатком йода (эндемический зоб), фтора (кариес зубов), а также с избытком фтора (флюороз), стронция (уровская болезнь), молибдена (подагра) и т. д. (Перельман, 1975). По мнению В. В. Ковальского, атеросклерозу, как правило, сопутствует повышенное содержание в крови марганца и пониженное — никеля и меди; при ишемической болезни сердца находят пониженное содержание в крови цинка, в сыворотке крови при гипертоническом кризе — избыток меди и недостаток кобальта и цинка, сахарный диабет сопровождается падением концентрации в крови марганца.

В. В. Ковальский ввел понятие о критических, или пороговых, концентрациях элементов в среде, выше или ниже которых наблюдается определенная биологическая реакция (в том числе и заболевание). Им предложено также понятие об оптимальном содержании химических элементов в окружающей среде, т. е. о таком их содержании в продуктах питания, воде, воздухе, которое наилучшим образом обеспечивает потребность человека.

В естественных биоценозах достигается замкнутый цикл биогенных элементов. В искусственных агроценозах происходит разрыв этого цикла в связи с отчуждением на получение урожая и значительными потерями

элементов питания при эрозии, инфильтрации и улетучивании.

В природе трудно найти ландшафты, где естественная продукция и вода имели бы оптимальное соотношение всех химических элементов в соответствии с требованиями живого организма. Устранение дефицита отдельных химических элементов, создание условий для получения высокого урожая полноценной по химическому составу продукции стали возможными благодаря научно-техническому прогрессу в сельском хозяйстве, химизации земледелия. Применение макро- и микроэлементов позволяет получать продукцию сельского хозяйства с заданным качеством.

А. Н. Перельман (1975) важнейшей практической задачей науки о геохимии ландшафтов считает создание оптимальных культурных ландшафтов для различных природных районов в соответствии с их специализацией. Например, в лесной зоне выпадает много атмосферных осадков, однако недостаток химических элементов в почве снижает продуктивность сельского хозяйства. Применяя минеральные удобрения, минеральную подкормку домашних животных, осушая болота, мобилизуя внутренние ресурсы ландшафта, человек обеспечивает растения и домашних животных необходимыми элементами, т. е. создает культурный ландшафт с оптимальным геохимическим режимом, в котором сочетаются положительные качества как лесного (изобилие влаги), так и степного ландшафта (плодородие почв). Такой ландшафт является наилучшим в гигиеническом отношении и отвечает оптимальным условиям для жизни человечества.

Д. Н. Прянишников в системе почва — растение допускал дефицит по азоту и калию (соответственно 14 и 20—22 кг/га в среднем по стране). Он считал, что ассимиляция азота свободноживущими бактериями и поступление азота в почву с атмосферными осадками перекрывают дефицит азота, что позволяет поднять урожай зерновых до сравнительно высокого уровня 20—25 ц/га. Дефицит же калия может безболезненно компенсироваться постоянной мобилизацией малоусвояемых (необменных) форм этого элемента почвы и переходом их в доступное для растений состояние. Это положение было оправдано в условиях экстенсивного земледелия.

Однако нужно помнить, что такой подход к балансу

и круговороту питательных элементов в земледелии Д. Н. Прянишников допускал, оперируя данными двадцатых и тридцатых годов, когда в европейских странах урожай зерновых в 20—25 ц/га считался достаточно высоким. Сейчас урожай возросли по крайней мере в 2 раза. Интенсификация земледелия существенно изменила и характер баланса питательных веществ. В большей части индустриально развитых капиталистических стран он стал более активным по сравнению с балансом этих элементов в мире.

Примерные расчеты показывают, что в 1970—1971 гг. баланс питательных элементов в мире складывался следующим образом: вынесено урожаями 220 млн. т, внесено с удобрениями 142 млн. т. Следовательно, только примерно на 60% урожай формировался за счет удобрений. С 1960 по 1976 г. мировое потребление азота возросло в 4,2 раза, фосфора — в 2,4, калия в 2,5 раза. В социалистических странах Европы за этот же период резко возросло применение минеральных удобрений, что обеспечило положительный баланс питательных веществ в земледелии. Это можно видеть на примере Венгрии, которая в последние годы занимает передовые позиции по урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животноводства. И. Кадач (1979) приводит следующие данные по динамике баланса питательных веществ в земледелии республики (табл. 3).

3. Динамика баланса питательных веществ в земледелии Венгрии (в кг/га сельскохозяйственная площадь)

Годы	Азот	P ₂ O ₅	K ₂ O	Всего	Интенсивность баланса — возмещение выноса удобрениями (в %)
1932—1936	— 32,9	— 7,3	— 21,9	— 62,1	33
1960—1964	— 24,0	0,6	— 23,2	— 46,7	59
1971	7,0	23,9	20,8	51,7	134
1975	16,5	46,9	51,3	114,4	162

Из данных таблицы видно, что в последние годы внесение удобрений значительно опережало вынос питательных элементов высокими урожаями сельскохозяйственных культур. Это происходило главным образом благодаря увеличению применения минеральных удобрений.

ний; с навозом вынос компенсировался примерно на 15%.

Рассмотрим, как складывался баланс питательных веществ в некоторых развитых капиталистических странах. В США уже в 1969 г. возмещение удобрениями превышало вынос с урожаями по азоту на 42%, по фосфору на 22%; по калию баланс был отрицательным (—40%). Во Франции в том же году баланс по азоту и фосфору был положительным, внесение их превышало вынос соответственно на 22 и 125%, по калию наблюдался незначительный дефицит (—13%). В ФРГ в 1971 г. внесение минеральных удобрений перекрывало вынос питательных веществ урожаями по азоту на 86%, по фосфору на 120, по калию на 61%, т. е. баланс питательных веществ был высокоположительным. Эти примеры подтверждают, что интенсификация сельского хозяйства неразрывно связана с ростом применения минеральных удобрений.

В нашей стране потребность земледелия в минеральных туках в настоящее время еще не удовлетворяется. Урожайи сельскохозяйственной продукции пока еще формируются в значительной мере за счет естественного плодородия почвы.

По расчетам А. В. Петербургского и А. Ю. Кудеярова (1977), в среднем за семь лет вынос элементов питания урожаями восполнялся минеральными удобрениями: по азоту на 56%, по фосфору на 78, по калию на 25%. По годам в связи с резким увеличением поставок удобрений сельскому хозяйству роль их в восполнении выноса азота, фосфора и калия значительно возрастает. Особенно резкий отрицательный баланс питательных веществ в стране отмечается при возделывании зерновых культур. Так, в среднем за 5 лет на этих культурах он составил: по азоту 40%, по фосфору 12, по калию 51%. В последующие годы в связи с ростом применения минеральных удобрений баланс питательных веществ в земледелии нашей страны несколько улучшился, однако по-прежнему оставался в основном отрицательным (табл. 4).

Согласно балансовым расчетам, потребность в удобрениях основных сельскохозяйственных культур для достижения урожаев примерно вдвое больших (зерновые — 30 ц/га, картофель — 200, овощные — 300, сахарная свекла — 300, подсолнечник — 15, кукуруза на си-

4. Баланс питательных веществ (в кг/га) в земледелии СССР в 1976 г. (Петербургский, Никитишен, 1978)

Культура	Площадь посевов (в млн. га)	Внесено в почву с удобрениями			Вынесено из почвы урожаями			Баланс		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Все культуры	217,4	43	24	33	58	20	52	-15	4	-19
Зерновые	127,7	27	16	19	64	21	40	-37	-5	-31
Кормовые	48,2	39	17	29	36	13	49	3	4	-20
Кукуруза на силос	18,1	63	29	44	36	14	55	27	15	-11
Технические	14,6	130	84	96	96	37	139	34	47	-43
Картофель	7,1	115	74	151	74	24	96	41	50	55
Овощные	1,7	161	98	125	87	25	79	74	63	46

5. Потребность в удобрениях при двукратном увеличении урожайности (Петербургский, Никитишен, 1978)

Составляющие баланса	Потребность (в млн. т)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос элементов питания с урожаем культур	18,371	8,024	20,656
Потребление элементов питания из почвенных ресурсов	6,124	4,012	10,328
Внесение элементов питания с удобрениями с учетом коэффициентов использования	20,412	16,048	17,213
Поступление элементов питания с семенами, осадками, за счет фиксации бобовыми культурами и свободноживущими микроорганизмами	3,883	0,260	0,273
Потери элементов питания вследствие вымывания и денитрификации	3,062	—	0,516
Внесение элементов питания с удобрениями с учетом других статей прихода и расхода	19,591	15,788	17,456

лос — 300, сено многолетних трав — 60 ц/га) характеризуется следующими величинами (табл. 5).

Авторы допускают, что третью часть общей потребности растений в азоте и половину потребности в фосфоре и калии обеспечивают почвенные ресурсы. Коэффициенты использования азота и калия из удобрений при-

няты равными 60%, фосфора — 25%. Принято также, что с осадками в почву в расчете на 1 га посевов поступает 5 кг N, благодаря фиксации свободноживущими микроорганизмами — 3 кг. Фиксация азота бобовыми культурами при урожае сена 60 ц/га обеспечивает накопление азота в почве 60 кг/га. Вследствие вымывания от внесенного количества теряется 5% азота и 3% калия, 10% азота улетучивается при денитрификации.

С учетом темпов роста поголовья скота в стране в ближайшей перспективе может быть получено около 1 млрд. т органических удобрений, что составит 4 млн. т азота, 1,8 млн. т фосфора и 4,2 млн. т калия. Следовательно, в виде минеральных удобрений в почву необходимо будет внести, по расчетам авторов, 15 млн. т N, 14 млн. т P_2O_5 и 13,3 млн. т K_2O , что в сумме составляет 42,3 млн. т. Эта цифра кажется довольно внушительной, если учесть, что в 1976 г. поставки минеральных удобрений сельскому хозяйству составили около 18 млн. т питательных веществ.

При рассмотрении состояния круговорота питательных веществ в земледелии, а соответственно и баланса их в связи с применением удобрений важно учитывать уровень получаемых урожаев сельскохозяйственных культур. В противном случае рассмотрение баланса питательных веществ становится беспредметным.

Можно привести пример по Белорусской ССР. За последние годы в республике резко увеличилось применение минеральных удобрений, что совместно с другими мероприятиями привело к существенному росту урожаев. В ряде районов республики средний урожай зерновых составил 30 ц/га и более. Улучшился и баланс питательных веществ. Если в 1964—1966 гг. по азоту и калию он был отрицательным (соответственно 11 и 7,6 кг/га), а по фосфору положительным (11 кг/га), то в 1973—1974 гг. дефицит по азоту составил 8,6 кг/га, а по фосфору и калию баланс был положительным (соответственно 22,3 и 15,2 кг/га). Однако анализ состояния баланса в республике показал, что он был менее благополучным в районах, где получают сравнительно высокие урожаи сельскохозяйственных культур (табл. 6).

Из приведенных данных видно, что с ростом урожаев снижаются положительные величины баланса фосфора и калия и значительно возрастает дефицит азота. Следовательно, при определении и сравнительной оцен-

6. Баланс элементов питания (в кг/га) по районам БССР в зависимости от уровня урожая (Детковская, Мирейко, 1976)

Число районов	Урожай (в ц зерновых единиц/га)	Азот		Фосфор		Калий	
		поступило с удобрениями	баланс	поступило с удобрениями	баланс	поступило с удобрениями	баланс
6	10—15	29,5	-2,4	37,0	+21,1	66,5	+24,7
53	16—20	36,9	-0,7	34,0	+16,1	19,0	+21,8
45	21—25	38,1	-5,4	37,1	+16,0	72,5	+17,0
13	26—30	39,2	-15,0	40,0	+14,5	81,8	+12,5

ке баланса питательных веществ важно учитывать уровень продуктивности земледелия.

Многим районам Центрально-Черноземной зоны присущ отрицательный баланс питательных элементов даже при сравнительно невысоких урожаях сельскохозяйственных культур (табл. 7).

7. Баланс азота в земледелии в Центрально-Черноземной зоне (Щербаков, 1978)

Область	Внесено органических удобрений (в т/га)		Внесено с минеральными удобрениями (в кг/га)		Вынесено с урожаем (в кг/га)		Баланс			
							в кг/га		в % от выноса	
	1973 г.	1976 г.	1973 г.	1976 г.	1973 г.	1976 г.	1973 г.	1976 г.	1973 г.	1976 г.
Белгородская	2,2	3,3	26	38	68	83	-33	-32	-49	-39
Воронежская	1,7	2,6	17	28	78	78	-54	-40	-69	-51
Курская	2,0	2,9	16	31	64	72	-37	-30	-58	-42
Липецкая	1,4	1,8	24	28	73	62	-44	-27	-60	-44
Тамбовская	1,3	1,6	15	23	79	66	-59	-36	-75	-55

В среднем по Центрально-Черноземной зоне дефицит азота составил по 1973 и 1976 гг. 65 и 47% от выноса (48 и 35 кг/га). Если дефицит азота восполнять за счет гумуса почвы, то ежегодная минерализация его в пахотном слое исследуемых почв достигнет 600—900 кг/га. Это составит в типичных, обыкновенных и выщелочен-

ных черноземах 0,4—0,5%, в оподзоленных, южных черноземах и темно-серых лесных почвах — 0,5—0,7%, а в серых и светло-серых лесных почвах — 0,8—1% общих запасов гумуса в пахотном слое.

Между тем уровень химизации земледелия в Центрально-Черноземной зоне остается еще довольно низким. В 1976 г. средний уровень удобренности азотом там составил 39 кг питательных веществ на 1 га. А. П. Щербаков (1978) подсчитал, что для увеличения урожаев основных сельскохозяйственных культур примерно в 2 раза в почву необходимо внести в среднем 110 кг азота на 1 га (с учетом того, что половина азота, необходимого для получения запланированного урожая, поступает из почвенных запасов). Если допустить, что из почвенных запасов будет усваиваться треть общей потребности растений в азоте, то азота необходимо вносить в среднем 150 кг/га.

В то же время в большей части земледельческих зон нашей страны рекомендации по нормам применения удобрений обычно даются для получения определенного уровня урожая. Они не рассчитаны на систематическое повышение и даже недостаточны для поддержания существующего уровня плодородия почвы. В таких случаях урожай обеспечивается в основном мобилизацией питательных веществ почвы; отсюда и отрицательный баланс основных питательных веществ.

Баланс питательных веществ, например на Кубани, складывался следующим образом (Симакин, Ширинян, 1979). В период 1961—1965 гг. на 1 га вносили по 1,5 ц минеральных и 1,1 т органических удобрений, что обеспечивало восполнение выноса азота только на 18%, фосфора — на 36 и калия — на 20%. В 1968—1975 гг. вносили по 4,5 ц минеральных и 2,5 т органических удобрений. Это восполняло вынос азота и фосфора только на 59%, калия — на 27% (табл. 8).

Наиболее напряженный в эти годы был дефицит калия и азота; в меньшей мере проявился дефицит фосфора. Однако это не снимает проблему удобрения полей Кубани фосфором. Наоборот, $\frac{2}{3}$ посевов нуждаются в применении повышенных доз фосфорных удобрений. По данным агрохимического обследования в 1971—1977 гг. почвы с очень низким и низким содержанием подвижных фосфатов на Кубани занимают 46% всей площади пашни, а со средней обеспеченностью — 38%.

8. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии Краснодарского края в среднем за 1968—1975 гг. (Симакин, Ширинян, 1979)

Показатель	Баланс (в кг/га)		
	азота	фосфора	калия
Внесено в почву с удобрениями:			
минеральными	41,4	21,3	14,6
органическими	8,6	4,7	11,0
Накоплено многолетними бобовыми травами	4,0	—	—
Общий приход	54,0	26,0	25,6
Вынесено с урожаями	91,1	44,2	97,7
Дефицит	37,1	18,2	72,1
Приход по отношению к расходу (в %)	59	59	27

Особенно резкий отрицательный баланс питательных веществ складывается в Сибири (табл. 9).

За 15 лет (1961—1975 гг.) общий вынос элементов питания с урожаем составил 25,5 млн. т, из них в Западной Сибири — 17,8, в Восточной — 7,7 млн. т, что в среднем составило около 970 кг/га пашни. Из почв было отчуждено 19,1 млн. т питательных веществ, или 726 кг/га.

В ряде зон страны, особенно в районах достаточного увлажнения и при орошении, необходимо постоянно совершенствовать рекомендуемые нормы удобрений. Так, в Украинском научно-исследовательском институте орошаемого земледелия изучали баланс азота, фосфора и калия при внесении удобрений в рекомендованных нормах и определяли, является ли норма удобрений, обеспечивающая наиболее высокий урожай в данном опыте, достаточной для компенсации выноса питательных веществ из почвы (Заренцев, 1979).

Исследования проводили в длительном опыте в орошаемых условиях в двух севооборотных клиньях с чередованием культур: сахарная свекла, кукуруза на силос, озимая пшеница + пожнивная кукуруза, люцерна (три года), озимая пшеница. Почва опытного участка темно-каштановая среднесуглинистая. Удобрения вносили в следующих нормах (в сумме за 3 года): под сахарную свеклу $N_{130}P_{90}K_{30}$, кукурузу на силос $N_{150}P_{90}K_{30}$, озимую пшеницу $N_{90}P_{40}K_{30}$, кукурузу на силос $N_{150}P_{90}K_{30}$, озимую пшеницу (вторую) $N_{90}P_{40}K_{30}$, пожнивную кукурузу $N_{120}P_{30}K_{30}$, люцерну $N_{65}P_{100}K_{30}$.

9. Общий баланс элементов питания в Сибири (Жуков, 1980)

Элементы питания	Вынос с урожаем						Возврат						Интенсивность баланса (в %)				
	в 1961—1965 гг.			1971—1975 гг.			в 1961—1965 гг.			в 1971—1975 гг.			в 1961—1965 гг.		в 1971—1975 гг.		
	в тыс. т	в кг/га	общий	в тыс. т	в кг/га	общий	с минеральными удобрениями	в тыс. т	в кг/га	общий	с минеральными удобрениями	в тыс. т	в кг/га	в тыс. т	в кг/га	в тыс. т	в кг/га
N	427,8	22,6	38,2	712,6	38,2	12,9	0,7	67,4	3,6	116,0	6,2	194,7	10,4	16	27		
P ₂ O ₅	162,6	8,6	12,4	231,7	12,4	22,6	1,2	50,4	2,7	73,7	4,0	113,8	6,1	31	49		
K ₂ O	355,4	18,8	20,5	381,8	20,5	16,3	0,9	74,7	4,0	38,4	2,1	122,5	6,6	21	32		
Сумма	945,8	50,0	71,1	1325,5	71,1	51,8	2,8	192,5	10,3	228,1	12,3	431,0	23,1	20	33		

Западная Сибирь

N	196,9	24,2	33,6	263,6	33,6	14,7	1,8	39,3	4,8	84,9	10,8	119,1	15,2	20	45
P ₂ O ₅	73,2	9,0	12,6	99,0	12,6	18,7	2,3	31,3	3,9	25,1	3,2	42,6	5,4	43	43
K ₂ O	158,7	19,5	27,2	213,7	27,2	5,8	0,7	32,3	4,0	13,0	1,7	49,6	6,3	20	23
Σ	428,8	52,7	73,4	576,3	73,4	39,2	4,8	102,9	12,7	123,0	15,7	211,3	26,9	24	37

Восточная Сибирь

N	196,9	24,2	33,6	263,6	33,6	14,7	1,8	39,3	4,8	84,9	10,8	119,1	15,2	20	45
P ₂ O ₅	73,2	9,0	12,6	99,0	12,6	18,7	2,3	31,3	3,9	25,1	3,2	42,6	5,4	43	43
K ₂ O	158,7	19,5	27,2	213,7	27,2	5,8	0,7	32,3	4,0	13,0	1,7	49,6	6,3	20	23
Σ	428,8	52,7	73,4	576,3	73,4	39,2	4,8	102,9	12,7	123,0	15,7	211,3	26,9	24	37

Опыты показали, что при рекомендованных нормах удобрений положительный баланс по азоту складывается только при возделывании в севообороте люцерны и при условии высоких ее урожаев. Причем, как и в других районах страны, в первом минимуме был азот, фосфор же был эффективен на фоне азота. Но применяемые нормы фосфорных удобрений далеко не компенсировали его вынос урожаями сельскохозяйственных культур. Это необходимо подчеркнуть, так как большинство исследователей отмечают накопление фосфора в почве при систематическом применении фосфорных удобрений и обычно складывающийся при этом положительный баланс. Резко отрицательный баланс в этих опытах был и по калию (табл. 10).

10. Баланс основных питательных веществ (в кг/га; Заренцев, 1979)

Вариант опыта	Клин 1			Клин 2		
	вынесено	внесено с удобрениями, семенами	баланс	вынесено	внесено с удобрениями, семенами	баланс
А з о т						
Без удобрений	473	11	—338	494	12	—362
N	824	565	35	1035	657	—192
P	523	11	—356	535	12	—402
NP	868	656	7	1113	657	—273
NPК	857	656	9	—	—	—
Ф о с ф о р						
Без удобрений	349	5	—344	417	6	—411
N	444	5	—439	405	6	—399
P	453	395	—58	407	396	—11
NP	525	395	—130	541	396	—145
NPК	529	395	—134	540	396	—144
К а л и й						
Без удобрений	1302	8	—1294	1065	9	—1054
N	1634	8	—1626	1410	9	—1401
P	1404	8	—1396	1103	9	—1094
NP	1759	9	—1751	1579	9	—1570
NPК	1828	188	—1640	1670	189	—1481

Примечание. Накоплено азота люцерной по схеме опыта соответственно (в кг/га): в клину 1—124, 203, 156, 219, 210; в клину 2—120, 180, 121, 183 (в варианте NPК).

Интересно отметить, что даже при резко отрицательном балансе калия в этом опыте не отмечено резкого уменьшения подвижных форм калия. Это можно объяснить высокими валовыми запасами его в почве, а также переходом под влиянием орошения и других факторов почвенных труднорастворимых запасов калия в доступную для растений форму.

Исследование баланса питательных веществ важно не только с точки зрения определения интенсивности систем земледелия, но и для предотвращения возможных потерь удобрений в окружающую среду. В этом отношении представляют интерес исследования Института агрохимии и почвоведения АН СССР (Башкин, Бочкарев, 1979) по региональному балансу азота в бассейне р. Скниги, правого притока р. Оки, площадью 34 600 га и в Марьяно-Чебургольской оросительной системе Краснодарского края на площади 16 400 га.

Водосборная территория р. Скниги включает в себя в основном районы с применением малых и умеренных доз минеральных удобрений. Исследования показали, что если в 1967 г. поступление азота с минеральными удобрениями составило около 37%, то в 1976 г. — 69%. За изучаемый период поступление азота с минеральными удобрениями увеличилось в 5 раз, и эта статья прихода стала доминирующей в числе основных источников азота. Концентрация общего азота (водорастворимый органический азот, нитраты, аммоний) в поверхностных водах возросла с 2 до 3,5 мг/л, а концентрация нитратного азота в грунтовых водах увеличилась в среднем в 8 раз.

Поступление азота в Марьяно-Чебургольскую оросительную сеть составляло 193 кг/га в год, а общее количество удаляемого из системы азота — 195 кг/га. В условиях орошаемого земледелия при выращивании риса приходные и расходные статьи баланса азота были практически уравновешены. В семилетних исследованиях не обнаружено также заметного увеличения концентрации азота в грунтовых и поверхностных водах в пределах оросительной системы. Однако обращается внимание на низкий коэффициент использования азота (30%) рисом. Поэтому значительные потери азота могут вызвать на этой территории эвтрофикацию природных вод.

В связи с интенсивной индустриализацией поступление некоторых элементов питания растений, помимо

удобрений, во многих районах составляет значительные величины. Так, И. С. Шатилов и др. (1979) отмечают, что в среднем в год (за 1967—1976 гг.) с осадками выпало: окисла серы (SO_4'') 106 кг, хлора 40,2, гидрокарбоната (HCO_3') 25, магния 17, кальция 12,3, натрия 5,3, калия 4,2, азота (аммиачного, нитратного и нитритного) 9,5, фосфора 0,15 кг на 1 га земной поверхности. Количество серы в осадках значительно превышает потребность в этом элементе многих полевых культур. Поступление азота с годовыми осадками за исследованный период колебалось от 6,9 до 11,1 кг/га, калия — от 2,3 до 7,2, кальция — от 4,2 до 36,4, магния — от 2,9 до 37,6 кг/га.

В период интенсивного развития химизации земледелия определение баланса питательных элементов приобретает важное теоретическое и практическое значение. Балансовый расчет позволяет не только планировать уровень урожая сельскохозяйственных культур, но и повышать эффективное плодородие почвы. В ряде земледельческих зон страны благодаря применению минеральных и органических удобрений в сочетании с другими приемами агротехники (особенно травосеяние и сидерация) создается и поддерживается высокое плодородие пахотного слоя почвы.

В свое время В. А. Францесон (1939) отмечал, что при длительном и обильном унавоживании дерново-подзолистой почвы создается новая более плодородная почва со специфическим профилем. Примером искусственного создания высокоплодородных почв в любой зоне являются старые огороды, конопляники, староорошаемые культурные почвы и др.

В опытах на выщелоченном среднесуглинистом черноземе Алтая В. А. Олифер и В. П. Старостенко (1976) изучали баланс питательных элементов. При внесении под яровую пшеницу $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ баланс суммы этих элементов складывался отрицательный; на варианте $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{60}$ возврат элементов в почву повышался со 108 без удобрений до 265 кг/га, т. е. перекрывал вынос их урожаем зерна и соломы. Внесение $\text{N}_{100}\text{P}_{40}\text{K}_{30}$ под кукурузу повышало возврат элементов в почву до 277 кг/га, однако не компенсировало выноса их урожаем зеленой массы (404 кг/га). Положительный баланс элементов питания и устойчиво высокий урожай достигали при сочетании $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{60}$ и 20 т/га навоза.

По данным Л. И. Кораблевой и Т. И. Рындина (1976), при внесении $N_{140}P_{45}K_{145}$ на легких и $N_{180}P_{45}K_{260}$ на тяжелых и пойменных почвах и при получении средних урожаев овощных культур 310 и 600 ц/га отмечалось значительное превышение поступления элементов питания над их выносом. На окультуренных пойменных почвах складывался интенсивный баланс питательных веществ.

Расчет баланса питательных веществ — вопрос непростой, и здесь исследователи допускают много условностей. Известно, например, что поступившие с удобрениями питательные вещества не полностью усваиваются растениями. Часть их теряется при вымывании в грунтовые воды и смыве в реки и водоемы, а также из-за газообразных потерь, прежде всего азота. Часть питательных элементов переходит в труднодоступную для растений форму в результате химического поглощения (ретроградация фосфатов), необменной фиксации аммония и калия и других факторов иммобилизации. В этом случае при расчете допускаются коэффициенты усвоения питательных веществ растениями из почв и удобрений, которые носят условный характер. Они динамичны и изменяются в зависимости от природных условий зоны, погоды, свойств и плодородия почвы, уровня химизации, особенностей агротехники, типа и специализации севооборота и т. д. Однако такие расчеты необходимы, так как позволяют существенно влиять на направление и уровень химизации земледелия в той или иной зоне или в конкретном хозяйстве.

Поэтому баланс и круговорот питательных веществ в земледелии следует рассматривать с учетом научно-технического прогресса, увеличения производства продуктов питания для человека и кормов для животных, а также в связи с проблемой систематического повышения плодородия почвы.

Благодаря установленному балансу питательных веществ представляется возможным совершенствовать систему применения удобрений в севообороте или хозяйстве и давать ей агроэкономическую оценку, определять потребности культур в удобрениях при планируемом урожае высокого качества, регулировать применение удобрений с целью увеличения хозяйственно-полезной части урожая.

Расчет баланса питательных веществ — агрохимическая основа для прогнозирования потребности в удобре-

ниях отдельных земледельческих зон и республик страны, определения степени интенсификации земледелия. Он позволяет дать оценку системы удобрения с точки зрения повышения плодородия почвы, а также влияния интенсивного применения удобрений на природную среду и своевременно разработать меры, предотвращающие ее загрязнение.

В зависимости от поставленной цели и программы исследования применяются различные методы балансовых расчетов. Большое научное и практическое значение представляет изучение баланса в длительных опытах с удобрениями. Они дают возможность дать объективную научную оценку основным статьям прихода и расхода питательных веществ, так как все расчеты проводятся на фактическом аналитическом материале. С одной стороны, в таких опытах точно учитывается многолетнее внесение по ротациям севооборота различных питательных элементов с удобрением и вынос их с урожаями. С другой стороны, длительный опыт с удобрениями приближается к практическим условиям. Можно сказать, что он является прототипом будущих полей колхозов и совхозов; этими данными можно пользоваться не только в научных, но и в практических целях. Для объективной оценки круговорота и баланса веществ в земледелии необходимы данные, полученные в многолетних стационарных полевых опытах с изучением не только умеренных, но и высоких доз удобрений, рассчитанных на перспективу. Эти данные позволяют уточнить, а в ряде случаев существенно изменить представление о поведении питательных элементов в системе почва — растение — удобрение.

Учитывая большое научное и практическое значение этих исследований, мы сделали попытку на основании данных о фактических урожаях и выносе основных питательных веществ растениями, полученных в длительных опытах, дать балансовую оценку различным системам удобрения в зависимости от типа почвы и насыщения севооборотов органическими и минеральными удобрениями (Минеев, Хабарова, Фарафонова, 1979).

В обобщение были включены материалы 42 длительных опытов, из них 25 проведены на дерново-подзолистой слабо- и среднеокультуренной почве, 8 — на серой лесной и 9 — на черноземной. Длительность опытов колебалась от 6 до 17 лет. Баланс фосфора и калия опреде-

ляли по разности между поступлением их с удобрениями и выносом с отчуждаемой продукцией. По азоту учитывали следующие статьи прихода и расхода: $B_N = (N_y + N_c + N_{об}) - (N_v + N_{шт})$, где N_y — азот удобрений; N_c — азот, внесенный с семенами; $N_{об}$ — обогащение почвы биологическим азотом; N_v — вынос азота растениями (основная и побочная продукция); $N_{шт}$ — газообразные потери азота. Величину газообразных потерь азота ($N_{шт}$) (на основании обобщений Н. И. Борисовой и Б. Н. Макарова) принимали в размере 25% дозы азотных удобрений.

Установлено, что насыщение севооборота минеральными и органическими удобрениями привело к значительному повышению продуктивности. По эффективности в зависимости от вида удобрения системы практически не различались (табл. 11).

На дерново-подзолистой почве (содержание P_2O_5 — 3—11 мг/100 г почвы, по Кирсанову) при систематическом (в течение 10 лет и более) применении минеральных и органических удобрений вносилось: азота 18—30, фосфора 15—25 и калия 25—35 кг/га в год. Урожай основной продукции составил 23—26 ц зерновых единиц/га при дефицитном балансе питательных веществ. Внесение азота в среднем 40—55, фосфора 35—50 и калия 60 кг/га в год повышало продуктивность севооборота до 28—35 ц зерновых единиц, но отрицательный баланс азота и калия сохранялся. Положительный баланс всех элементов отмечался только при повышенных дозах удобрений, когда ежегодно вносили (в кг/га): азота 90—160, фосфора 70—90 и калия 90—150.

Систематическое применение таких доз удобрений в севооборотах средней интенсивности (12—20% пропашных) обеспечивало продуктивность гектара севооборотной площади 40—45 ц зерновых единиц.

Применение азота до 200—250, фосфора до 140—180 и калия до 300—350 кг/га не приводило к дальнейшему росту урожая, а в отдельных случаях снижало его. Вынос же азота и калия продолжал расти в результате увеличения концентрации этих элементов в растениях, особенно в побочной продукции.

На серых лесных и черноземных почвах более высокий общий уровень продуктивности севооборотов (38—55 ц/га) обусловлен их естественным плодородием. На серых лесных почвах устойчивый положительный ба-

11. Баланс питательных веществ и продуктивность севооборота в зависимости от насыщения его органическим и минеральными удобрениями (на 1 га севооборотной площади в год)

Число опытов	Длительность опыта (число лет)	Вид удобрений	Питательные вещества (в кг)										Продуктивность (в ц зерновых единиц/га)	
			внесено			вынесено с основной и побочной продукцией			баланс				всего	в том числе основной продукции
			N	P ₂ O ₆	K ₂ O	N	P ₂ O ₆	K ₂ O	N	P ₂ O ₆	K ₂ O			
8	9	Органические	26	13	31	47	25	55	-18	-11	-24	29,6	25,7	
8	16	(навоз)	46	20	45	60	28	64	-8	-8	-19	34,3	29,7	
8	6		70	35	77	56	27	80	+0,7	+8	-3	33,0	30,6	
3	7		148	72	150	80	43	120	+40	+29	+30	42,7	40,1	
7	14	Минеральные	21	21	33	48	22	52	-21	-1	-19	27,1	24,8	
6	7		49	47	60	67	25	87	-24	+22	-27	38,9	34,9	
7	14		73	54	86	76	30	102	-14	+24	-16	39,6	37,7	
7	14		201	139	284	116	37	187	+31	+102	+97	42,5	40,0	
11	17	Навоз+	37	37	55	59	29	72	-18	+8	-17	32,8	29,1	
14	9	+минеральные	62	53	81	73	35	95	-14	+18	-14	41,3	34,1	
6	8	ные	87	70	111	90	40	112	-2	+20	-0,6	47,7	40,6	
11	11		124	89	149	85	39	117	+14	+49	+32	45,5	41,6	
4	13		224	144	340	120	41	194	+49	+103	+146	43,3	41,3	

Дерново-подзолистая почва

Серая лесная почва

3	9	Органические	23	14	21	76	33	68	-44	-19	-47	45,6	38,6
4	8	(навоз)	44	22	49	65	30	68	-28	-8	-19	47,0	38,7
6	8	Минеральные	43	36	47	78	30	71	-40	+6	-24	49,9	39,3
4	8	Навоз+	39	39	42	88	37	84	-43	-4	-41	48,1	41,0
6*	8	+минераль-	61	44	61	82	33	76	-29	+11	-15	53,0	44,3
7	9	ные	88	55	95	88	35	96	-17	+20	-1	58,5	46,3
3	9		120	82	144	93	41	121	+6	+41	+23	60,3	47,9

Черноземная почва

3	6	Органические	34	23	57	72	26	72	-49	-3	-15	39,2	33,0
4	6	(навоз)	21	23	19	60	19	62	-44	+4	-43	31,9	28,9
5	6	Минеральные	49	38	41	68	23	63	-32	+15	-22	35,2	31,9
4	6		67	60	56	124	36	103	-55	+24	-47	52,5	40,8
6	8	Навоз+	43	33	55	99	42	90	-52	-9	-42	54,8	48,7
7	8	+минераль-	61	45	68	108	40	95	-51	+5	-27	56,8	49,9
		ные											

* Баланс фосфора и калия дан по 4 опытам.

ланс фосфора обеспечивался при внесении на 1 га в течение 9 лет по 55 кг P_2O_5 на фоне $N_{88}K_{95}$ при продуктивности севооборота 46,3 ц зерновых единиц/га. Положительный баланс всех элементов наблюдался при дозе $N_{120}P_{82}K_{144}$ и сборе зерновых единиц за ротацию севооборота 47,9 ц/га.

На черноземных почвах изучали сравнительно небольшое насыщение севооборотов удобрениями. Баланс азота и калия во всех случаях был резко отрицательным.

Эти исследования свидетельствуют об одинаковой направленности влияния органических и минеральных удобрений и их сочетаний на продуктивность севооборотов и баланс питательных веществ. Отмечается лишь некоторое преимущество органо-минеральной системы удобрения по сравнению с органической и минеральной. Баланс питательных элементов при всех системах удобрения определялся количеством их, вносимых с удобрениями, и уровнем продуктивности севооборота.

Положительный баланс азота, фосфора и калия был получен в севообороте с продуктивностью 31—40 ц зерновых единиц/га при внесении в среднем на 1 га севооборотной площади $N_{90-120}P_{45-80}K_{100-220}$. Результаты длительных опытов свидетельствуют о том, что при систематическом внесении относительно невысоких доз удобрений на черноземах возможны урожаи в 30—35 ц зерновых единиц/га, но главным образом благодаря мобилизации потенциального плодородия почвы. Баланс всех элементов питания в этом случае дефицитный.

На типичном черноземе Курской опытной станции в течение 15 лет урожаи озимой пшеницы составляли 30—35 ц/га, сахарной свеклы 350—400 ц/га без внесения удобрений, но при высокой агротехнике и полном отсутствии сорняков. Это свидетельствует о высоком потенциальном плодородии почв. Докучаев поэтому назвал чернозем ни с чем не сравнимым богатством России.

Важно также отметить, что при одной и той же дозе питательных веществ с повышением интенсификации севооборотов, т. е. с увеличением удельного веса пропашных культур, в них возрастает вынос питательных веществ. Поэтому система удобрения в севооборотах должна быть дифференцированной по насыщенности их питательными элементами с учетом интенсивности специализированных севооборотов и их планируемой продуктивности.

Следовательно, по данным исследований, проведенных в длительных стационарных опытах с удобрениями, можно заключить, что на дерново-подзолистой и серой лесной почвах в севооборотах со средней насыщенностью пропашными культурами оказались эффективными дозы азота и калия по 90—120, фосфора — 70—90 кг/га севооборотной площади ежегодно. При таком уровне применения удобрений достигается устойчивый положительный баланс фосфора, бездефицитный или положительный баланс азота и калия и обеспечивается устойчивая продуктивность севооборота на дерново-подзолистых почвах в 38—45, а на серых лесных — в 40—50 ц зерновых единиц/га.

На черноземных почвах широко рекомендуемая для колхозов и совхозов средняя доза $N_{40-60}P_{40-60}K_{40-60}$ обеспечивает относительно высокую продуктивность севооборота (45—55 ц зерновых единиц/га) и бездефицитный или положительный баланс фосфора. Однако эти дозы не компенсируют вынос растениями азота и калия. Формирование урожаев на этих почвах идет в значительной мере за счет азота почвы при минерализации почвенного органического вещества.

Для гарантированной высокой эффективности удобрений необходимо знать характер изменения плодородия почв, что можно выявить только в длительных опытах с удобрением культур. Длительные опыты обеспечивают уникальные стандартизированные условия при изучении влияния погоды на сельскохозяйственные культуры, почву и эффективность удобрений. В то же время длительные опыты позволяют проводить глубокие комплексные исследования, изучение основных факторов плодородия, роста и развития растений, формирования урожая культур.

Обобщение известных длительных полевых опытов с удобрениями в Англии позволило решить ряд актуальных вопросов современного земледелия (Cooke, 1976): сравнение действия минеральных и органических удобрений, изменение запасов гумуса, азота, фосфора и калия в почвах в зависимости от севооборота и удобрения, расчет баланса основных питательных веществ, освобождение питательных веществ из почвенных запасов, определение остаточных количеств элементов питания из минеральных удобрений и навоза, расчет баланса второстепенных элементов и микроудобрений, разработ-

ка методов анализа почв, агрономическая оценка предшественников.

Углубленные исследования круговорота и баланса азота, фосфора, калия и других элементов в длительных опытах в различных почвенно-климатических условиях страны позволяют систематически совершенствовать рекомендации по эффективному применению удобрений с целью рационального использования фондов, выделяемых колхозам или совхозам, а также отдельным земельным районам, более обоснованно определять потребность сельского хозяйства в туках на перспективу в целом по стране и отдельным регионам, своевременно принимать необходимые меры по охране окружающей среды от загрязнения.

Для проведения глубоких теоретических исследований с учетом всех статей прихода и расхода большой интерес представляет изучение баланса питательных веществ в лизиметрах. Лизиметрический метод исследования широко используется научно-исследовательскими учреждениями. Он позволяет более глубоко вскрывать закономерности изменения статей баланса и давать им научное объяснение. В этих опытах часто применяют удобрения с мечеными элементами питания. Например, результаты лизиметрических исследований, проведенных ВИУА на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны с применением стабильного изотопа азота ^{15}N , показали, что из внесенного удобрения 30—60% азота используют растения, 15—30% аккумулируется в почве, 10—30% теряется в результате улетучивания газообразных соединений и 1—5% вымывается с лизиметрическими водами (Варюшкина, Кирпанева, 1979).

Для практических целей используют данные по биологическому, хозяйственному и внешнехозяйственному балансам питательных веществ. Биологический баланс достаточно полно охватывает все статьи поступления питательных веществ, вовлекаемых в круговорот, в том числе поступления с корневыми и пожнивными остатками. Его можно использовать при оценке отдельных специализированных севооборотов.

Хозяйственный баланс несколько упрощен. Он основывается на учете выноса питательных веществ с основной и побочной продукцией и компенсации их внесением минеральных и органических удобрений. Обычно этот баланс дает объективную агроэкономическую

оценку системе удобрений в хозяйстве, зоне, республике и т. д.

Внешнехозяйственный баланс учитывает отчуждение питательных веществ с товарной продукцией за пределы хозяйства и поступление их с минеральными удобрениями. Он имеет важное значение при правильном распределении удобрений и в значительной мере определяется специализацией хозяйства. Если хозяйства специализируются на производстве товарной продукции (например, свекле), то баланс будет более дефицитным, чем в хозяйствах, специализирующихся на производстве животноводческой продукции на собственной кормовой базе, где значительная часть питательных веществ возвращается в почву.

В приходную часть баланса питательных веществ чаще всего включают следующие источники поступления питательных веществ: 1) минеральные удобрения, 2) органические удобрения, 3) растительные остатки, 4) посевной материал, 5) биологическую фиксацию клубеньковыми и свободноживущими микроорганизмами, 6) поступление с осадками; в расходную: 1) вынос с урожаем основной и побочной продукции, 2) вынос с растительными остатками, 3) вымывание в грунтовые воды и смыв с поверхности, 4) потери в результате возможных эрозионных процессов, 5) газообразные потери и т. д.

Существуют методики определения каждого источника поступления и расхода питательных веществ. В исследовательских целях количественные величины статей баланса принимаются на основании данных, полученных в эксперименте, а для практических целей чаще всего пользуются справочными данными. Многочисленными исследованиями показано, что довольно часто небольшие статьи расхода (например, потери азота почвы) и поступления питательных веществ (с осадками, благодаря фиксации почвенными микроорганизмами) взаимно погашаются (уравновешиваются).

Хотя статьи баланса хозяйства, зоны, республики носят относительный характер и часто претерпевают существенные изменения в зависимости от природных и хозяйственных факторов, определение баланса питательных веществ имеет важное значение для оценки уровня химизации земледелия. Д. Н. Прянишников (1937) в полемике со сторонниками травополья писал:

«Я вполне допускаю возможность иных построений, иного соотношения между приходными статьями баланса, чем в моем проекте, но что касается авторов, которые считают ненужным самый учет источников азота, фосфора и калия... и думают, что они знают какой-то секрет получения высоких урожаев без внесения соответствующих количеств удобрений (и без знания агрохимии), то об этих авторах можно только сказать, что они напрасно считают себя «материалистами».

Прежде всего рассмотрим особенности баланса и круговорота отдельных питательных элементов в земледелии — азота, фосфора и калия. Особый интерес представляет азот — основной носитель жизни.

Для решения проблемы, связанной с круговоротом и балансом азота в системе почва — удобрение — растение — вода, необходимо развивать исследования по следующим наиболее важным научным направлениям:

количественная и качественная оценка приходо-расходных статей азотного баланса в биосфере;

разработка приемов снижения потерь азота удобрений в окружающую среду, повышение эффективности азотных удобрений;

разработка точных методов по определению размеров азотнакопления симбиотическими и свободноживущими азотфиксаторами;

изучение механизма процессов денитрификации в полевых условиях, количественные показатели этих процессов;

разработка мероприятий по предотвращению загрязнения природных вод остатками азотных удобрений;

разработка методов контроля предельно допустимых концентраций (ПДК) нитратов и нитритов в воде и товарной продукции сельскохозяйственных культур.

Нельзя забывать и о весьма важной роли биологического азота в земледелии не только как важного источника пополнения запасов питательных элементов, но и как фактора охраны биосферы от загрязнения. К сожалению, роль биологического азота в земледелии иногда недооценивается, хотя, по выражению Д. Н. Прянишникова, азот бобовых является даровым азотом. Е. Н. Мишустин и Н. И. Черепков (1979) справедливо указывают, что максимальное использование дарового биологического азота бобовых культур благодаря расширению их посевов и подъему урожайности способ-

ствуется решению проблемы полного удовлетворения населения и животных полноценным, сбалансированным по аминокислотам белком, рационального соотношения биологического и технического азота. По расчетам авторов, исходящих из уровня получаемых урожаев, благодаря деятельности свободноживущих азотфиксаторов азота фиксируется по меньшей мере около 20—25 кг/га в год, а на всей посевной площади нашей страны (220 млн. га)— 4,5 млн. т. Бобовые культуры фиксируют около 3 млн. т азота; следовательно, сумма ежегодного поступления биологического азота составляет около 7,5 млн. т.

Несомненный интерес представляют расчеты Е. П. Трепачева (1979) по соотношению технического и биологического азота в земледелии РСФСР.

Расчеты Е. П. Трепачева показывают, что если для бобовых потребуется азота лишь на 30—35 кг/га меньше, чем для злаковых, то на площади около 30 млн. га это обеспечит экономию в 1 млн. т азота. Если же допустить, что в севообороте после бобовых можно уменьшить дозу на те же 30—35 кг, то это даст еще 1 млн. т азота, а в сумме не менее 2 млн. т. Роль бобовых в охране окружающей среды как раз и состоит в том, что они мало или совсем не требуют азотных удобрений, и тем самым предохраняют реки и водоемы от загрязнения нитратами и в то же время не снижают урожай и качество.

Многочисленные исследования показывают, что внесение минеральных удобрений усиливает мобилизацию азота почвы, а это суживает отношение углерода к азоту (C : N).

Некоторые авторы полагают, что почва представляет собой саморегулирующуюся систему, в которой поддерживается равновесное состояние прихода и расхода минерального азота. При избыточном количестве минерального азота в почве он устраняется из нее в результате денитрификации или вымывания. В этом случае тормозится или полностью исключается процесс биологической азотфиксации (Кудеяров, 1979).

Азот в почве может накапливаться в том случае, если он поступает в форме органического удобрения. Это и наблюдается в длительных стационарных опытах с удобрениями, когда систематическое внесение навоза приводит к накоплению гумуса, а следовательно, и азо-

та в почве. Поскольку большая часть соединений азота наиболее подвижна, то и загрязнение биосферы более вероятно вследствие неправильного применения прежде всего азотных удобрений.

Анализируя баланс азота в почве за пятилетний период внесения его в полевом севообороте, В. И. Никитишен и др. (1979) отмечают, что вымывание нитратов существенно лишь при высоких дозах азотных удобрений. Из 300, 600 и 900 кг азота, внесенных на 1 га за 5 лет, растениями усваивалось соответственно 55,43 и 33%. В пахотном слое почвы закреплялось 40,32 и 29% азота (преимущественно в органической форме). Количество же нитратов, которое мигрировало на глубину 100—300 см, составляло соответственно 4, 19 и 30%. Неучтенные потери составили 2, 39 и 62 кг/га. Поэтому в условиях Нечерноземной зоны во избежание значительных потерь азота в результате вымывания авторы не рекомендуют вносить в полевых севооборотах азота свыше 120 кг/га в год. В то же время обращается внимание на необходимость изыскания приемов повышения эффективности высоких доз азота (150—200 кг/га) путем оптимизации сроков и способов внесения их в почву, внедрения высокопродуктивных сортов, совершенствования агротехники сельскохозяйственных культур (Никитишен, Никитишена, Шабнова, 1979).

Например, в Болгарии в стационарных полевых опытах с удобрениями проводимыми в течение 15 лет в двуполке (кукуруза — пшеница) на различных почвах (карбонатный и выщелоченный чернозем, серая лесная почва, слабоподзоленная коричневая лесная почва), бездефицитный азотный баланс получен при внесении на 1 га в среднем 152 кг азота минеральных удобрений или 111 кг азота минеральных удобрений и 20 т навоза (через год). Это дало возможность получить пшеницы в среднем 42 ц/га, кукурузы 73 ц/га, а за последние 5 лет соответственно 45—60 и 75—90 ц/га (Динчев, 1979). D. Sauegbeck (1979) считает, что специализированные зерновые и свекловодческие хозяйства в настоящее время могут рассчитывать на почти бездефицитный баланс азота только при расходе на 1 га 160—200 кг азота минеральных удобрений при условии снижения их потерь при оптимальных сроках внесения.

Большой научный и практический интерес представляет баланс фосфора в земледелии и его круговорот в

экосистемах. Хотя живой организм и требует его примерно в 10 раз меньше, чем азота, но он является важнейшим биогенным элементом. Фосфор не только источник пищи для растений, но и носитель энергии, входящий в состав различных нуклеиновых кислот и т. д.

При дефиците фосфора резко снижается продуктивность растений. В то же время фосфор не имеет естественных источников пополнения запаса в почве, как, например, азот. Потребление его запасов в почве на создание урожаев восполняется практически только за счет внесенных фосфорных и органических удобрений.

В атмосфере фосфор находится в основном в составе пыли и в небольшом количестве. Поэтому круговорот фосфора более прост, чем круговорот азота; в него вовлечены лишь почва, вода и растения. Однако на доступность фосфора растениям оказывают влияние многие факторы среды.

Потери фосфора происходят в основном при эрозии почвы в составе мелкозема и жидкого стока. Выщелачивание фосфора на почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава обычно не превышает 1 кг/га, и лишь на легких и торфяных почвах вымывается 3—5 кг фосфора с 1 га.

В большей части районов баланс калия не вызывает тревоги. Это объясняется тем, что, во-первых, высокое естественное содержание элемента в почве ряда земледельческих зон не лимитирует урожай, во-вторых, наша химическая промышленность практически полностью обеспечивает сельское хозяйство страны необходимым количеством калийных удобрений и, в-третьих, наша страна располагает большими запасами калия.

Однако уже сейчас в ряде зон применение повышенных доз азота и фосфора приводит к значительному отрицательному балансу калия, а следовательно, снижению урожая. Обобщение практики химизации в Центрально-Черноземной зоне показало, что на первом этапе применения удобрений в большинстве районов в первом минимуме был фосфор. Затем с увеличением масштабов внесения фосфатов отмечался азотный минимум.

В некоторых районах получение высоких урожаев лимитирует калий. Особенно наглядно это явление можно видеть на примере хлопкосеющих районов. Так, в Сырдарьинской области за десять лет внесено на 1 га

231 кг, в Ташкентской — 560 кг K_2O , тогда как вынос K_2O урожаями за это время составил соответственно 1134 и 1402 кг. Это создало дефицит калия в почвах областей. Поэтому в Узбекистане заметно снижаются площади почв с достаточным и высоким уровнем обменного калия. В связи с этим ученые республики правильно считают, что мероприятия, направленные на уменьшение дефицита калия в земледелии Узбекистана, имеют важное значение. Необходимо строго придерживаться рекомендации по применению калийных удобрений.

Естественные потери калия бывают более значительными, чем фосфора. При вымывании могут теряться десятки килограммов калия с 1 га, особенно на легких почвах. Большие потери калия отмечаются в орошаемом земледелии главным образом на почвах, сформированных на лессовых породах (сероземы, черноземы).

На современном этапе химизации сельского хозяйства и в перспективе необходимо определять баланс не только азота, фосфора и калия, но и других элементов, существенно влияющих на урожай и его качество, например кальция, магния, серы, углерода, ряда микроэлементов. Важно учитывать не только вынос этих элементов с урожаями культур, но и все источники поступления.

Рост валовых сборов сельскохозяйственной продукции обеспечивается не только увеличением доз удобрений, но и повышением общей культуры земледелия, применением научно обоснованной технологии выращивания сельскохозяйственных культур, комплекса мелиоративных мероприятий, внедрением новых высокопродуктивных сортов и т. д. Все это не снижает, а повышает роль удобрения как важного фактора интенсивного земледелия.

Потребность нашего земледелия в минеральных удобрениях еще далека от полного удовлетворения. А ведь правильное использование удобрений — это дополнительное производство растениеводческой и животноводческой продукции. Научно обоснованная система применения удобрений базируется как минимум на бездефицитном балансе питательных веществ, ибо она предусматривает систематическое повышение плодородия почв, рост продуктивности сельскохозяйствен-

ных культур, улучшение качества продукции, повышение рентабельности сельскохозяйственного производства.

Благодаря интенсивному применению удобрений и высокой культуре земледелия в ряде районов нашей страны малоплодородные земли превращены в высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья. Например, в Нечерноземной зоне многие хозяйства, освоив научные системы использования удобрений в комплексе с другими приемами агротехники, получают устойчивые высокие урожаи зерновых культур — 40—50 ц/га. А всего лишь 15—20 лет назад на этих землях урожаи составляли 8—10 ц/га. Интенсивное, научно обоснованное применение удобрений коренным образом изменило плодородие кислых подзолистых почв, урожаи на которых стали приближаться к урожаям, получаемым на кубанских черноземах.

Такое высокоэффективное действие удобрений проявляется не только на пашне, т. е. на продуктивности культур в полевых и кормовых севооборотах. Немало примеров, когда естественные сенокосы и пастбища на поймах и суходолах благодаря коренному их улучшению с использованием рациональной системы удобрений превращаются в культурные высокопродуктивные кормовые угодья. На таких угодьях с хорошо развитой дерниной потери питательных веществ из почвы и удобрений минимальны, так как травостой и корневая система растений препятствуют миграции элементов по профилю почвы и смыву их с поверхности с твердым и жидким стоком. В этом случае реки не загрязняются удобрениями и вода в них вполне пригодна для сельскохозяйственного использования.

Высокопродуктивный растительный покров и высокое плодородие почвы — важнейшее условие снижения потерь питательных элементов в окружающую среду. Это объясняется тем, что растения быстро ассимилируют из почвы подвижные формы питательных элементов, предотвращая их вымывание с поверхностным стоком и грунтовыми водами. Роль растительности в круговороте биогенных элементов особенно четко проявляется в районах, где на водосборной площади уничтожаются деревья и кустарники.

Р. Риклефс (1979) приводит пример, что при полной расчистке площади небольших водосборных бас-

сейнов в лесу Хаббард-Брук (США) количество воды в ручьях увеличилось в несколько раз вследствие уничтожения деревьев с их транспирационной поверхностью; потери катионов возросли в 3—20 раз по сравнению с потерями в сходных ненарушенных системах. Особенно резко изменился азотный режим водосборного бассейна. Растения ассимилировали азот почвы настолько быстро, что ежегодный прирост общего азота в лесу достигал 1—3 кг/га. На обнаженном же водосборном бассейне чистая потеря азота в виде нитратов (NO_3) возросла до 59 кг/га в год.

Удобрения следует рассматривать как важнейший фактор улучшения окружающей среды. Повышая плодородие почвы, они способствуют более интенсивному развитию растений, получению большего количества сельскохозяйственной продукции, улучшают ее качество, препятствуют развитию эрозии почвы, а следовательно, делают окружающую среду более чистой, а угодыя продуктивнее.

УДОБРЕНИЕ И БАЛАНС ГУМУСА В ПОЧВЕ

Роль гумуса в повышении плодородия почвы трудно переоценить. Он является источником многих питательных элементов для растений, улучшает физические и химические свойства почвы, характеризуясь большей емкостью поглощения, чем глинистые минералы почвы. Удерживает от миграции по профилю почвы многие катионы, что важно в предотвращении загрязнения ими грунтовых вод. Гумус усиливает биологическую активность почвы. Он может поглощать токсические вещества и тяжелые металлы, попадающие в почву, и тем самым затруднять их поступление в грунтовые воды и в растения. Это имеет важное значение с точки зрения качества сельскохозяйственной продукции и кормов, а также охраны окружающей среды. В данном случае гумус почвы выполняет санитарно-гигиеническую роль.

О важной роли гумуса как фактора плодородия почвы свидетельствуют многие данные. Т. Н. Кулаковская (1978) отмечает, что увеличение содержания гумуса на 0,1% способствует увеличению суммы поглощенных кальция и магния на почвах, связанных по гранулометрическому составу, на 0,10—0,18 мэкв, а на легких — до 0,31—0,37 мэкв на 100 г почвы. Емкость

поглощения соответственно возрастает на 0,6 мэкв на суглинках и 0,3—0,4 мэкв на 100 г почвы на супесях и песках. Анализ экспериментальных данных позволил прийти к заключению, что высокий урожай сельскохозяйственных культур с наименьшими колебаниями по годам на легких почвах можно получить при содержании гумуса в пределах 1,8—2,1%. На суглинистых почвах Латвийской ССР максимальный урожай зерна озимой пшеницы был получен при содержании гумуса в почве 2—2,5%.

Интенсивное земледелие должно предусматривать не только бездефицитный баланс гумуса, но и расширенное его воспроизводство в почве. А это возможно при рациональном сочетании органических и минеральных удобрений с учетом специализации севооборота и конкретных почвенных и климатических условий.

Экспериментальные данные показывают, что активная часть гумуса составляет только долю от общего запаса. В различных типах почв эта часть различная (Ehwald, 1974).

В зависимости от степени интенсификации земледелия (удельный вес пропашных, зерновых, бобовых трав в севообороте, наличие чистого пара, применения минеральных удобрений, орошения и т. д.) и типа почвы содержание гумуса в почве может ежегодно уменьшаться в среднем на 0,5—1 т/га. Вот почему важно постоянно заботиться о внесении в почву органического удобрения, которое при правильных дозах часто существенно увеличивает содержание гумуса в почве, компенсируя его неизбежные потери при минерализации органического вещества почвы. Для положительного баланса гумуса соответствующими агротехническими приемами важно обеспечить в почве новообразование гумусовых веществ в количестве не меньше его ежегодной минерализации или превышающем последнюю.

Если минеральные удобрения улучшают круговорот и баланс биогенных элементов, то органические удобрения являются не только важным источником питательных элементов для растений, но и пополняют запас гумуса в почве — этого важного показателя ее потенциального плодородия. Гумус как источник питательных элементов содержит почти весь связанный углерод почвы, 80—90% азота и серы и около 50% фосфора в органической форме. Он является источником CO_2 для

фотосинтеза, а также основным фактором биогенности почвы.

Реутилизация органических отходов в сельском и лесном хозяйстве позволяет выправить нарушения в биогеохимическом круговороте углерода, азота, фосфора, других биофилов, улучшить санитарное состояние окружающей среды, ослабить явления эвтрофикации гидросферы и локальный дефицит кислорода в водах. Внесение органического углерода улучшит азотный баланс почв, поскольку каждый грамм углерода помогает фиксировать от 15—20 до 20—40 мг атмосферного азота (Dhaq, 1972). Значительно облегчится и положение с фосфором, сырьевые запасы которого в мире ограничены. Отходы животноводства в Англии в настоящее время могут обеспечить всю пахотную площадь страны азотом в размере примерно 75 кг/га, фосфором — 25 кг/га и калием — 75 кг/га. Эти придержки приняты в Англии для планирования потребности в удобрениях на 2000 г., когда намечается удвоить в среднем валовую продукцию земледелия. Использование органических отходов и особенно навоза позволит Англии ограничиться к 2000 г. лишь удвоением производства азотных удобрений и не увеличивать производство фосфорных и калийных минеральных удобрений (Coone, 1971).

Следовательно, и экологически, и экономически использование органических отходов в качестве удобрения весьма выгодно. В то же время рациональное использование органических отходов животноводства и птицеводства должно базироваться на оптимальном соотношении числа животных и площади удобряемых почв. Для удобрения полевого гектара следует использовать навоз от 2—3 дойных коров, или 5 телок, или 25 свиней, или от 250 индеек, или 2500 кур. Большая концентрация животных приводит к избытку органических веществ, азота, фосфора и сопровождается загрязнением местности и воздуха (Ковда, 1976).

Можно привести следующие расчеты из отечественной практики. На свиноводческом комплексе по выращиванию и откорму 108 тыс. голов годовой выход экскрементов составляет около 110 тыс. т с содержанием 792 т азота, 517 т фосфора и 231 т калия. Для использования такого количества экскрементов при среднегодовой дозе ежегодно вносимого удобрения, эквивалент-

ной 200 кг/га азота, необходимо 4000 га сельскохозяйственных угодий. Такая доза бесподстилочного навоза не ухудшает качество урожая и поедаемость кормов. При удобрении этой площади средний радиус транспортировки экскрементов от фермы до поля составляет в разных областях от 3,6 до 5,5 км. При ежегодном применении больших количеств бесподстилочного навоза на одних и тех же участках ухудшается санитарное состояние почвы, загрязняются фильтрационные грунтовые и поверхностные воды.

Для изучения степени загрязнения окружающей среды при внесении очень высоких доз бесподстилочного навоза в разных странах мира проводятся длительные опыты. Например, в ФРГ в одном из таких опытов после пятнадцатилетнего внесения полужидкого свиного навоза в среднем по 133 т/га ежегодно (1000 кг/га общего азота, 800 кг/га P_2O_5 и 470 кг/га K_2O) содержание фосфатов в почвенном профиле в слоях 0—30 и 60—90 см увеличилось соответственно в 4 и 2 раза, калия — в 1,8 и 1,6 раза, микроэлементов (Mn, Zn, Cu, B) — в 2,2 и 1,1 раза, нитратов — в 1,6 и 1,9 раза по сравнению с неудобрявшимися участками. В фильтрационных водах на глубине 1,5—3 м содержание нитратов увеличивалось в 10 раз. Загрязнение поверхностных водоемов усиливалось при внесении бесподстилочного навоза на склонах, в мокрую или замерзшую почву, не способную впитывать (Семенов, Платонова, 1977).

По данным длительных стационарных опытов с удобрениями в нашей стране, использование бедных гумусом дерново-подзолистых и сероземных почв без удобрений приводит к снижению содержания гумуса на 30—40%. Систематическое же внесение органических удобрений стабилизирует и даже повышает содержание гумуса в почве. По данным А. В. Соколова и др. (1963), убыль гумуса в почве можно приостановить при ежегодном внесении 8—20 т/га навоза (в зависимости от темпов минерализации органического вещества). Т. Н. Кулаковская (1978) считает, что для поддержания в дерново-подзолистой почве стабильного уровня содержания гумуса необходимо ежегодно вносить 10—17 т/га подстилочного навоза в сочетании с минеральными удобрениями.

В длительных опытах, проведенных в зарубежных странах (ГДР — Лаухштедт; ПНР — Скерневицы), при

внесении невысоких доз навоза наблюдалась стабилизация гумуса в почве. Во Франции (Гриньон), Дании (Асковская опытная станция) при ежегодном внесении 10 т/га навоза содержание гумуса несколько снижалось. В Галле (ГДР) ежегодное внесение 12 т/га навоза в течение 75 лет повысило накопление гумуса, а на Ротамстедской опытной станции (Великобритания) внесение навоза в высоких дозах (35 т/га ежегодно) увеличило содержание гумуса в почве на 32—43% (Минеев, Шевцова, 1978).

Действие минеральных удобрений на содержание гумуса в почве слабее, чем действие навоза. По данным Jürgens-Gschwind (1979), в длительных опытах Лимбургерхофской опытной станции в ФРГ минеральные удобрения увеличивают содержание гумуса благодаря азоту, который резко повышает надземный урожай и массу корней. Эффективность минеральных удобрений возросла от ротации к ротации. Содержание гумуса возросло на 0,3% к контролю. При внесении N₅₀₋₁₀₀ количество растительных остатков увеличилось на 11—78%, в зависимости от вида культуры и нормы азота. Под озимым рапсом с внесением N₁₀₀ масса корней была на 8,5 ц/га больше, чем по варианту РК, а это соответствует 5 т/га навоза.

В 80-летнем опыте в Геттингене изучали действие минеральных удобрений на урожай культур и плодородие почвы (Timmermann, Welte, 1976). Схема опыта на «поле Е» включала восьмипольный севооборот (рожь, яровая пшеница, ячмень, зеленый горошек, фасоль, конские бобы, картофель, кормовая свекла) с наложением восьмерной системы удобрения. Содержание гумуса мало изменялось во времени, причем и на контроле за 55 лет количество гумуса оставалось на том же уровне, что и в исходной почве (табл. 12).

В английских опытах получен оригинальный материал о влиянии удобрений на содержание азота и гумуса в почве (Cooke, 1976). Азот и углерод накапливаются при внесении органических удобрений и запахивании растительных остатков однолетних культур или многолетних трав. В опытах с пшеницей в Бродбоке на контроле в почве оставалось еще 0,10% азота после 100 лет монокультуры, и эта величина была сравнительно постоянной в течение длительного времени. По НК накапливалось несколько больше азота и углерода благо-

12. Влияние удобрений на содержание гумуса

Год, пункт	Содержание гумуса (в %) по							
	K	N	P	KNP	O	KN	KP	NP
1899 (Бен)	2,05	2,05	2,05	2,02	2,02	2,06	1,96	2,00
1920 (Бернш)	2,01	2,00	2,01	2,04	2,04	2,01	1,90	1,99
1954 (фон Рейхенбах)	2,40	2,25	2,12	2,12	2,02	2,03	1,95	2,22

13. Влияние удобрений на содержание азота (в %) в длительных опытах с бессменной культурой

Ежегодное внесение	Бродбок (пшеница)		Хусфилд (ячмень)	
	1865 г.	1944 г.	1882 г.	1946 г.
Контроль — без удобрения	0,105	0,106	0,098	0,103
НРК	0,117	0,121	0,110	0,115
Навоз	0,175	0,236	0,213	0,272
Навоз (только в 1952—1971 гг.)	—	—	0,180	0,151

даря приросту растительных остатков, содержащих эти элементы (табл. 13).

В обоих опытах органическое вещество быстро накапливалось в почве в первые годы ежегодного внесения навоза в дозе 35 т/га. В Бродбоке в 1914 г. содержалось 0,25% азота, в 1944 г. — 0,24%. В Хусфилде в 1913 г. было 0,27% азота, столько же азота осталось в 1946 г.

На агрохимической и агрофизической опытной станции в Жембло (Бельгия) в длительных опытах изучали химические и физические аспекты плодородия почв, эффективность органических и минеральных удобрений. Установлено, что агротехнические приемы восстановления плодородия почвы (внесение соломы в сочетании с жидким навозом, внесение навоза в начале ротации севооборота, заделка соломы и зеленого удобрения) позволили повысить содержание гумуса и азота. Опыты с обогащением почвы гумусом и питательными элементами проводили на фоне различных систем обработки почвы, включая варианты нулевой и минимальной обработки (лушение). На контроле (без удобрения) содержание гумуса под озимой пшеницей было 1,36% (общего азота 0,09%), при внесении подстилочного навоза —

1,75% (общего азота 1,07%), а под ячменем — 1,40% (0,09%) и 1,80% (1,05%).

На легкой подзолистой почве ПНР в течение 52 лет сравнивали действие навоза и NPK на плодородие почвы (Fotyma, Maskowion, 1979). Максимальное содержание углерода и азота было по навозу (табл. 14).

14. Влияние удобрения на содержание углерода и азота

Вариант опыта	Содержание углерода (в %)			Содержание азота (в %)	
	Скирпивиц (через 50 лет)	Личин (через 16 лет)	Ласковец (через 16 лет)	Чилиц (через 13 лет)	Чилиц (через 13 лет)
Контроль — без удобрения	—	0,45	0,64	0,80	0,082
Стойловый навоз	1,33	0,48	0,75	1,05	0,093
NPKCa	1,06	0,58	—	—	—
NPK	1,03	0,48	0,71	0,84	0,084
Стойловый навоз+NPK	—	0,64	0,75	0,99	0,087

Для агрономической оценки стойлового и жидкого навоза был проведен длительный опыт, в котором оба удобрения имели эквивалентное содержание органического углерода и общего азота. На контроле вносили NPK 380 кг/га в год. Влияние обоих видов навоза на плодородие почвы и урожай культур было одинаковым (табл. 15).

15. Сравнение эффективности жидкого и стойлового навоза

Вариант опыта	Сумма урожаев (в тыс. кормовых единиц/га)	Содержание в почве (в %)		Содержание (в мг/100 г почвы)		
		общего азота	органического углерода	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Контроль — без удобрения	24,2	0,070	0,964	6,4	5,3	5,6
NPK	22,7	0,080	1,042	10,0	15,7	5,2
Стойловый навоз	26,7	0,081	1,102	9,1	7,2	6,2
Жидкий навоз ¹	27,7	0,072	1,950	6,9	12,1	5,8
Жидкий навоз ²	26,3	0,078	1,050	8,3	18,2	5,7

Примечания. ¹ С учетом содержания общего азота в стойловом навозе. ² С учетом содержания органического углерода в стойловом навозе.

Практикуемая система удобрений в Швейцарии (Vocau, 1979) предусматривает достаточное пополнение запасов питательных элементов с положительным балансом, но не в избыточных нормах, которые могут вызвать загрязнение окружающей среды и потери элементов из сельскохозяйственного круговорота. С органическими удобрениями вносится до 72% N, 50% P₂O₅ и 82% K₂O. Расширяется внесение городских отходов, с которыми поставляется в почву около 5% фосфора, и они являются хорошим источником этого элемента.

Существенным источником органического вещества и элементов питания являются пожнивные остатки и солома, к которой добавляют по 5 кг азота на 1 т соломы. Коммунальные и хозяйственные отбросы допускается использовать только в компостированном виде. Они являются полным удобрением. Особое внимание надо обращать на наличие вредных примесей, особенно тяжелых металлов. Содержание последних в компостах достигает: кадмия 10 мг/кг, цинка 2300, меди 900, никеля 100 и свинца 1400 мг/кг сухой массы.

В 60-летних опытах на моренной почве в Мойштаде, Фолле и Аше (Норвегия) изучалось действие органических и минеральных удобрений на урожай культур и плодородие почвы (Uhlen, 1976). В шестипольном севообороте половину севооборотной площади занимали бобово-злаковой травосмесью. Вносили три дозы минеральных удобрений, навоз и навоз + NPK. Сумма осадков в Мойштаде 530 мм, Фолле — 850, Аше — 785 мм. Агрохимические свойства почвы при минеральном удобрении были следующие:

	углерода (в %)	азота (в %)	подвижного фосфора (в мг/кг)	обменного ка- лия (в мг/кг)	pH	ила (в %)
в Мойштаде	2,9	0,31	30	50	6,3	15
в Фолле	4,3	0,34	60	70	5,9	25
в Аше	3,2	0,29	50	80	5,8	25

На всех вариантах удобрения отмечался положительный баланс органического углерода и общего азота в почве, а также значительное увеличение содержания подвижных форм питательных элементов при устойчивом уровне pH (табл. 16).

16. Влияние удобрений на содержание углерода, общего азота и подвижных форм фосфора, калия, магния

Вариант опыта	Содержание (в %)				Содержание подвижных форм элементов (в мг/кг)			рН
	азота	углерода	углерод азот	фосфора	калия	магния		
Мойштад								
Контроль — без удобрения	0,314	2,75	8,3	10	48	45	6,3	
НРК — обычная доза	0,315	2,83	9,0	28	50	34	6,3	
НРК — повышенная доза	0,343	3,00	8,8	41	83	34	6,7	
Навоз, делянка Е	0,345	3,12	9,1	26	72	83	6,4	
Навоз, делянка F	0,354	3,38	9,6	30	72	93	6,3	
Аш								
Контроль	0,272	3,01	11,1	16	47	67	5,6	
Навоз	0,285	3,16	11,1	23	53	83	5,7	
Навоз+НРК	0,294	3,28	11,2	46	76	77	5,8	
Фолл								
Контроль	0,320	—	—	28	83	—	5,8	
НРК	0,350	—	—	61	72	—	5,9	
Навоз+НРК	0,370	—	—	71	74	—	5,9	

Примечание. За 49 лет опыта на делянке Е навоза было внесено 735 т/га, на делянке F — 858 т/га.

В почве закреплялось 25—30% внесенного азота и 17% внесенного органического углерода. Повышенные дозы минеральных удобрений обеспечили такой же прирост углерода и азота, как и при систематическом внесении навоза (опыт в Мойштаде).

Длительный опыт в Аскове (Дания) показал, что при выравнивании количества питательных элементов в навозе и минеральных удобрениях действие последних было сильнее, чем навоза.

Содержание общего азота достоверно возрастало при внесении одинарной и полуторной норм навоза и эквивалентных норм минерального удобрения (табл. 17).

В Японии на рисовых полях (Matsumo et al., 1976) по органическим удобрениям значительно возрастало содержание органического углерода и азота, а также емкость поглощения и нитрификационная способность почвы (табл. 18).

17. Влияние удобрений на агрохимические свойства почв в Аскове
(Kofoed, Nemming, 1976)

Показатель	Контроль без удобрений	NPK		Навоз	
		1 норма	1,5 нормы	1 норма	1,5 нормы
Суглинистая почва					
Гумус (в %)	2,16	2,44	2,48	2,61	2,82
Общий азот (в %)	0,106	0,120	0,122	0,131	0,142
Песчаная почва					
Гумус (в %)	1,22	1,43	—	1,62	—
Общий азот (в %)	0,058	0,068	—	0,077	—

18. Агрохимические показатели рисовой почвы

Вариант опыта	pH	Общий углерод (в %)	Общий азот (в %)	Общий углерод общий азот	Емкость поглощения (в экв/100 г почвы)	Нитрификационная способность (в мгNO ₃ /кг почвы)
Контроль — без удобрения	5,8	2,25	0,203	11,1	15,3	86
Минеральные удобрения	5,6	2,89	0,245	11,8	17,1	148
Органические удобрения	6,3	3,78	0,325	11,6	17,7	223
Сидерат	6,8	2,95	0,286	10,3	15,7	155

Многолетние стационарные опыты показывают, что применение одних минеральных удобрений в большинстве случаев приводит к снижению содержания гумуса в почве и в лучшем случае (при их оптимальных дозах и соотношении) стабилизирует его содержание на определенном уровне. Особенно четко это проявляется при длительном интенсивном использовании плодородия почвы, например, в районах хлопководства. Орошение, интенсивная обработка почвы, монокультура хлопчатника как пропашной культуры приводят к интенсивной минерализации гумуса почвы даже на фоне систематического применения минеральных удобрений (табл. 19).

Минеральные удобрения несколько снижают темпы расхода гумуса почвы вследствие запашки большего ко-

19. Баланс органического углерода и общего азота в почве стационарного опыта (Разыков и др., 1980)

Вариант опыта	Баланс (в кг/га)			
	за 45 лет		в среднем за год	
	углерода	азота	углерода	азота
Контроль — без удобрения	—11 886	—2 478	—264	—55
НРК	—8 190	—1 134	—182	—25
Навоз	+558	—90	+13	—2
Севооборот+НРК	—4 032	—294	—89	—6

Примечание. Масса пахотного слоя почвы на 1 га составляет 4,2 тыс. т.

личества растительных остатков. Даже при сочетании минеральной системы удобрения с хлопково-люцерновым севооборотом (при схеме три поля люцерны, семь — хлопчатника) полная компенсация потерь гумуса не была обеспечена.

Кроме того, исследования показали, что с потерями гумуса наблюдается ухудшение его качества, водно-физических, химических и биологических свойств почвы, отмечается интенсивное увеличение поражения хлопчатника вилтом, сокращение периода устойчивости к этому заболеванию новых сортов. Все это приводит к снижению эффективности минеральных удобрений по сравнению с органическими. Для повышения их эффективности важно обеспечить по крайней мере бездефицитный баланс органического вещества в почве.

В хлопкосеющих районах важнейшими путями улучшения баланса гумуса в почве являются следующие: повсеместное внедрение хлопково-люцерновых севооборотов, глубокая запашка растительных остатков, способствующая повышению коэффициента их гумификации, а также заметному снижению поражаемости хлопчатника вилтом, посевы промежуточных культур, которые в период произрастания, а также после запашки их остатков заметно улучшают плодородие почвы (Разыков и др., 1980).

Органические удобрения являются важным источником пополнения запаса гумуса в почве во всех сельскохозяйственных районах страны. Корневые и пожнивные остатки сельскохозяйственных культур также способствуют накоплению гумуса в почве. Это в значительной

степени зависит от вида культуры, способа уборки и т. д. Например, севообороты с многолетними травами способствуют большему накоплению гумуса в почве, чем без многолетних трав, пропашные культуры обеспечивают интенсивную минерализацию гумуса почвы и оставляют после себя небольшое количество корневой массы для пополнения запаса гумуса.

По данным длительных стационарных опытов с удобрениями, выполненных в нашей стране и за рубежом, наблюдаются практически одинаковые урожаи при внесении минеральных удобрений и навоза, если они применяются в эквивалентном количестве основных питательных веществ. Это объясняется тем, что полевые культуры при хорошем минеральном питании обогащают почву органическим веществом не менее чем на 40—45 ц/га. Если органического вещества в корнях и жнивье в 2—3 раза больше, чем в навозе, и оно представляет хороший энергетический материал для микробов, то это эффективно в оструктуривании почвы.

Важное значение имеет рассредоточенность корней по всему объему почвы общей длиной (не считая корневые волоски) в десятки миллионов метров на 1 га. Разложение микробами этой густой сети корней (ее гумификация) является, очевидно, решающим механизмом создания структуры почвы (Баранов, 1976).

Не нужно забывать также, что органические остатки культур играют важную роль в пополнении запасов азота, фосфора и калия в почве. По данным Jürgens-Gsehwind (1979), растительные остатки в этом отношении эквивалентны 5 т/га перепревшего навоза.

Заслуживают внимания исследования, выполненные во ВНИИ сахарной свеклы (Черепанов, 1979). В десятипольном севообороте изучали влияние минеральных удобрений на накопление в почве основных питательных элементов с пожнивными и корневыми остатками. С повышением доз минеральных удобрений в почву поступало больше азота, фосфора и калия с пожнивными и корневыми остатками. Содержание азота было наиболее высоким в корневых и пожнивных остатках клевера (1,58—1,83%), в корневой системе гороха (1,33—1,60%), сахарной свеклы (1,45—1,78%) и озимой пшеницы (1,03—1,60%). Высокое содержание фосфора было также в растительных остатках клевера (0,51—0,74%), гороха (0,37—0,50%), сахарной свеклы (0,47—0,52%),

а калия — в пожнивных остатках клевера, вико-овсяной смеси и сахарной свеклы.

В обобщенном виде данные по накоплению в почве азота, фосфора и калия с пожнивными и корневыми остатками в зависимости от степени насыщенности севооборота минеральными удобрениями представлены в таблице 20.

20. Поступление азота, фосфора и калия в почву с растительными остатками культур в десятипольном севообороте (среднее за 3 года)

Вариант насыщенности севооборота удобрениями	Поступление (в кг/га)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрения:			
по севообороту	269,1	84,6	136,9
на 1 га пашни	26,9	8,5	13,7
5 ц/га стандартных ту-			
ков:			
по севообороту	323,1	104,3	203,5
на 1 га пашни	32,3	10,4	20,4
7,5 ц/га стандартных ту-			
ков:			
по севообороту	360	124,7	243,4
на 1 га пашни	36,0	12,5	24,3

Приведенные данные показывают, что минеральные удобрения увеличили поступление в почву азота, фосфора и калия примерно в 1,5 раза по сравнению с неудобренным севооборотом. Исходя из того, что в 1 т навоза в среднем содержится 5 кг азота, 2,5 кг фосфора и 6 кг калия, подсчитано, что с растительными остатками культур севооборота вносится такое количество азота, фосфора и калия, которое содержится в 5,4—7,2 т; 3,4—5 и в 2,3—4 т навоза.

Об этом же свидетельствуют и многолетние исследования, выполненные в Молдавии (табл. 21).

Минеральные удобрения способствуют значительно большему поступлению в почву корневых и пожнивных остатков. Кроме того, растительные остатки всех возделываемых культур значительно богаче питательными элементами, чем навоз, поэтому в почву с ними поступает большее количество питательных веществ. Например, по лучшему варианту минеральных удобрений в почву в севообороте с корневыми и пожнивными остат-

ками ежегодно дополнительно поступает не менее 1,5 ц/га органического вещества.

Многолетние бобовые за счет корневых остатков накапливают следующее среднее количество общего сухого вещества: люцерна — 65 ц/га, красный клевер — 45, клеверо-злаковые травы — 55 ц/га, что соответствует 140 кг/га азота, 100 и 80 кг/га. Однолетние бобовые накапливают 10—15 ц/га сухого вещества корней (Асмус, Херрман, 1978).

На повышение содержания гумуса в почве оказывает влияние не только подстилочный навоз, но и торф, зеленое удобрение, различные виды органических компостов, солома как в чистом виде, так и в сочетании с бесподстилочным навозом и т. д.

Вопрос о количестве органических веществ, которое необходимо внести в почву, чтобы восстановить затраты гумуса, представляет большой научный и практический интерес. Оно зависит от специализации севооборота, почвенно-климатических условий и вида органического удобрения.

Расхода гумуса почвы на создание того или иного количества урожая определяют по потреблению культурой азота и CO_2 . Поскольку в гумусе содержится в среднем 5% азота, то расходование на создание урожая, например, 100 кг азота приводит к минерализации двадцатикратного количества гумуса, т. е. 2 т/га. Так как в почве имеются минеральные формы азота (1—2% от общего содержания), то они расходуются на создание урожая в первую очередь, а «активная» часть гумуса пополняет минеральные формы азота в почве.

Асмус и Херрман (1978) на основе обобщения данных 30 длительных опытов приводят следующие ориентировочные данные о потребности разных почв в органическом веществе в зависимости от урожайности и структуры посевных площадей (табл. 22).

Приведенные в таблице 22 данные следует рассматривать как ориентировочные, требующие уточнения в конкретных условиях.

Поскольку ценность различных органических удобрений неодинакова с точки зрения пополнения запасов гумуса в почве, Коленбрандер (1969) приводит следующие коэффициенты гумификации органических веществ — количество гумуса, образуемое из одной части внесенного органического вещества (табл. 23).

21. Влияние минеральных удобрений на поступление в почву основных элементов питания, содержащихся в корневых и пожнивных остатках (среднее за 5 лет*; Кордуняну, 1978)

Вариант опыта	Поживные и корневые остатки (в ц/га)	Содержание элементов питания в пожнивных и корневых остатках (в %)		Поступление элементов питания с пожнивными и корневыми остатками (в кг/га)		Дополнительные поступления за счет минеральных удобрений (в кг/га)			
		азота	фосфора	калия	азота	фосфора	азота	фосфора	калия
Горох — овес									
Контроль — без удобрений	35,8	1,10	0,32	1,60	39,7	10,0	40,7	—	—
N ₆₀	44,3	1,22	0,33	1,55	56,5	12,6	49,8	16,8	2,6
P ₆₀	46,6	1,18	0,40	1,59	54,7	12,7	52,0	15,0	2,7
N ₆₀ P ₆₀	47,3	1,22	0,37	1,58	55,2	12,2	54,2	15,5	2,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	52,3	1,28	0,41	1,63	64,4	15,3	62,0	24,7	5,3
Озимая пшеница									
Контроль — без удобрений	36,3	0,95	0,20	0,68	39,2	6,3	23,0	—	—
N ₆₀	36,6	1,05	0,20	0,75	41,0	6,6	24,0	1,8	0,3
P ₆₀	41,8	0,98	0,21	0,77	41,4	7,7	28,1	2,2	1,4
N ₆₀ P ₆₀	42,0	1,05	0,23	0,74	42,1	8,0	23,7	2,9	1,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	43,4	1,05	0,20	0,68	46,4	7,9	26,0	7,2	1,6

Сахарная свекла

Контроль — без удобрений

38,0	1,65	0,29	2,39	61,7	9,9	151,7	—	—
44,9	1,73	0,30	2,33	58,8	12,6	157,2	24,1	2,7
40,5	1,65	0,38	2,51	71,3	15,3	152,0	9,6	5,4
50,7	1,68	0,37	2,20	94,6	17,1	171,2	32,9	7,2
52,4	1,65	0,38	2,01	100,4	18,9	200,0	38,7	9,0

N₆₀P₆₀N₆₀P₆₀N₆₀P₆₀K₆₀

Кукуруза

Контроль — без удобрений

23,3	0,93	0,16	1,20	25,9	4,0	28,4	—	—
32,5	1,08	0,17	1,46	37,4	5,8	44,9	11,5	1,8
29,8	1,03	0,25	1,50	30,5	6,9	39,5	4,6	2,9
32,4	1,15	0,19	1,46	35,7	7,6	48,8	9,8	3,6
34,6	1,13	0,23	1,48	40,1	8,1	50,8	14,2	4,1

N₆₀P₆₀N₆₀P₆₀N₆₀P₆₀K₆₀

65 * Средние данные из опытов, проведенных на серых лесных землях, выщелоченном и обыкновенном черноземе.

22. Ориентировочные данные о потребности почв в сухом органическом веществе удобрений (в пересчете на навоз) для обеспечения простого воспроизводства органического вещества почвы

Структура посевных площадей (в %)			Потребность в сухом органическом веществе (в ц/га) на			
зерновые	пропашные, кукуруза	многолетние кормовые	супеси	легком суглинке	тяжелом суглинке	черноземе
80	20	0	15	22	22	15
80	0	20	8	10	10	8
70	30	0	20	25	25	20
70	20	10	15	20	20	15
60	20	20	10	15	15	10
60	10	30	0	0	0	0
50	40	10	18	22	22	18
50	30	20	10	15	15	10
40	40	20	12	15	15	12
40	20	40	0	0	0	0
30	50	20	15	18	18	15
30	40	30	5	10	10	5
30	30	40	0	0	0	0
20	60	20	15	20	20	15
20	40	40	0	0	0	0

23. Коэффициент для оценки различных органических веществ в связи с их действием на повышение содержания гумуса (Асмус, Херрман, 1978)

Материал	Коэффициент гумификации	Процентное отношение к навозу
Зеленая масса	0,20	40
Корни	0,35	70
Солома	0,35	70
Навоз	0,50	100
Торф	0,85	170

Н. Ф. Ганжара (1978) ожидаемые запасы гумуса предлагает рассчитывать по формуле

$$St = (S_0 + K_r \cdot A \cdot t) \cdot (1 - K_m),$$

где St — запасы гумуса (в т/га) через время t лет;

S_0 — исходные запасы гумуса (в т/га); K_r — коэффициент гумификации свежих органических веществ в долях единицы (за единицу принимается A); A — количество посту-

пающих в почву свежих органических веществ (в т/га);
 t — время (в годах), для которого рассчитывается запас гумуса;

K_m — коэффициент минерализации гумуса в долях единицы (за единицу принимается величина — $S_0 + K_r \cdot A \cdot t$).

Для расчета баланса органических веществ в практических целях важно определить уровни внесения органических удобрений для стабилизации и повышения запасов гумуса в почве. Устанавливается это обычно в длительных стационарных опытах с удобрениями.

Исследования по разработке эффективной системы удобрения для стабилизации содержания или воспроизводства гумуса в почве проведены в различных зонах нашей страны и за рубежом.

А. К. Леонтьев (1978) изучал баланс гумуса на типичном черноземе при разной насыщенности удобрениями зернопропашного севооборота в Воронежской области. Им установлено, что наиболее эффективной с экономической точки зрения оказалась минеральная система удобрения (7,4 ц/га стандартных удобрений) при соотношении $N : P_2O_5 : K_2O$ — 2 : 1 : 1, повысившая продуктивность севооборота на 30% при оплате 1 ц удобрений 2 ц зерновых единиц. Однако эта система удобрений не уменьшала потерь гумуса по сравнению с неудобренной почвой. При органо-минеральной (5 т/га навоза и 3,2 ц/га туков) системе удобрений потери гумуса снизились в 2 раза. Внесение соломы один раз в 3 года в количестве 4 т/га на фоне минеральных удобрений давало такой же эффект, как и внесение 5 т/га навоза в среднем за 1 год. Коэффициент гумификации растительных остатков колебался по вариантам опыта в пределах 15—19%. По расчетам автора, для поддержания запасов гумуса на стабильном уровне система удобрения данного севооборота должна включать ежегодное внесение 40 т навоза и 8 ц минеральных удобрений на 1 га.

По многолетним данным Почвенного института им. В. В. Докучаева, на мощном черноземе Курской опытной станции при высоком запасе гумуса (700—750 т/га) в метровом профиле и низком коэффициенте минерализации, снижение содержания гумуса без внесения удобрений может быть достоверным только в случае длительного интенсивного использования. Так, за 10 лет сельскохозяйственного использования мощного

чернозема содержание гумуса в почве без внесения удобрений уменьшалось на 0,15%. При внесении за 10 лет 40 т/га навоза и $N_{400}P_{500}K_{300}$ содержание гумуса достоверно не изменилось. Высокое насыщение почвы органическими удобрениями (20 т/га ежегодно) повышает содержание гумуса на 0,4% в пахотном слое почвы (Музычкин, 1978). Минерализация гумуса в этих опытах составила под зерновыми культурами 0,8—1% от валового запаса в слое почвы 0—40 см, под сахарной свеклой — 1,7—2%, под клевером первого года пользования — 0,4%.

По данным Украинского НИИ почвоведения и агрохимии с бессменными культурами (Чесняк, 1978), потери гумуса из корнеобитаемого слоя почвы в среднем за год составили под яровыми зерновыми 0,5—0,6 т/га, озимой пшеницей 0,7, горохом и кукурузой 1, сахарной свеклой 1,5 т/га. При увеличении (на 10%) насыщения севооборотов пропашными культурами среднегодовые потери гумуса увеличивались на 0,2—0,4 т/га.

В Левобережной и Центральной лесостепи УССР в севооборотах с насыщением пропашными культурами на 40—50% бездефицитный баланс гумуса обеспечивается применением в среднем за год навоза в норме 7 т/га в сочетании с минеральными удобрениями в дозе 4 ц/га. Положительный баланс гумуса в этих зонах обеспечивается применением навоза 8 т/га и минеральных удобрений 5 ц/га, а в Западной лесостепи соответственно 9 т/га и 8 ц/га.

Степень гумификации навоза на почвах Полесья составила (Захарченко и др., 1978) 20—22%, на черноземах — около 30%. На легких почвах Полесья ежегодные потери гумуса под овсом составили 1,6—2,2%, под картофелем — 3,5—4,3%, под кукурузой — 3,8—5%, под озимыми — 2%; на черноземах под овсом и ячменем — 0,7—0,8%, под кукурузой — 1,1—1,3% от исходного содержания. Для восполнения потерь гумуса и создания положительного его баланса на легких почвах Полесья следует вносить навоза 10—12 т/га в севооборотах с многолетними травами и 15—18 т/га в севооборотах, предельно насыщенных пропашными культурами. На черноземах для создания бездефицитного баланса гумуса в севооборотах, насыщенных пропашными до 40—50% и с полем многолетних трав, навоза следует вносить 7—10 т/га.

Систематическое внесение физиологически кислых минеральных удобрений на черноземах усиливает мобилизацию питательных элементов, находящихся в труднодоступной для растений форме, а также подвижность органического вещества почвы, что на определенном этапе приводит к повышению ее эффективного плодородия.

Однако интенсивная минерализация гумуса не может продолжаться длительное время. Необходимы агрономические и мелиоративные меры, направленные на создание бездефицитного баланса гумуса. Это позволит не только сохранить, но и повысить плодородие почвы. В этой связи отмечается (Гринченко и др., 1979), что окультуривание почв приводит к увеличению содержания активного коллоидного гумуса, особенно в пахотном слое, отличающемся высокой биогенностью. Повышение в окультуренных почвах подвижного коллоидного гумуса указывает на необходимость внесения кальцийсодержащих соединений (известь, гипс, фосфорит и др.) для насыщения коллоидного комплекса обменным кальцием и для закрепления гумуса. Использование этих химических мелиорантов необходимо наряду с применением органических и минеральных удобрений, посевом трав и других приемов окультуривания почвы.

При усиливающейся интенсификации земледелия создание условий для предотвращения потерь и увеличения содержания в почве гумуса и обменного кальция имеет важное значение в комплексе приемов окультуривания почв и повышения их плодородия.

На основании многолетних исследований и передового опыта предлагаются следующие ежегодные нормы навоза на каждый гектар севооборотной площади для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почвах Украины: в степной зоне — 7—8 т/га, лесостепной — 10—12, Полесье — 12—14, Предкарпатье и Закарпатье — 15—18 т/га.

За последние годы учеными научно-исследовательских институтов агрохимического профиля (ВИУА, ЦИНАО, ВНИИПТИХИМ, ВНИИПТИОУ) Почвенного института им. В. В. Докучаева и Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева обобщен большой экспериментальный материал по трансформации гумуса в почве.

Установлено, что почвы под зерновыми культурами

ежегодно теряют гумуса 0,4—1 т/га, под пропашными — в 1,5—3 раза больше. Максимальная минерализация гумуса происходит в чистых парах. При прочих равных условиях минерализация гумуса возрастает на почвах легкого механического состава и при орошении.

В таблице 24 представлены усредненные показатели минерализации гумуса по зерновым и пропашным культурам, парам, размеры восполнения потерь гумуса за счет пожнивных и корневых остатков при существующих уровнях урожайности и коэффициентах гумификации навоза. Коэффициенты гумификации растительных остатков зерновых культур и многолетних трав приравнены к коэффициенту гумификации стандартного навоза, а пропашных в 2 раза меньше.

В ряде случаев из-за отсутствия достаточного экспериментального материала для аналогичных условий приняты ориентировочные данные, требующие уточнения опытным путем.

При существующих структуре посевных площадей и урожайности сельскохозяйственных культур потери гумуса при его минерализации не восполняются поступлением органического вещества с корневыми и пожнивными остатками. Для поддержания бездефицитного баланса гумуса необходимо максимально использовать все имеющиеся ресурсы местных органических удобрений.

В настоящее время при достигнутом уровне внесения органических удобрений складывается положительный баланс в Белоруссии, Прибалтийских республиках и в Северо-Западном районе РСФСР. Приближается баланс гумуса в почве к бездефицитному и на Украине. В республиках Средней Азии потери гумуса восполняются внесением органических удобрений лишь на одну треть, еще меньше в Казахстане. Резко отрицательный баланс гумуса в земледелии отмечается в степных районах РСФСР (Поволжье, Западная Сибирь и др.), а также в Центральных районах Нечерноземной и Центрально-Черноземной зонах.

Для поддержания бездефицитного баланса гумуса в конкретных почвенно-климатических условиях, а также с учетом оптимизации севооборотов научно-исследовательскими учреждениями на основе результатов длительных опытов рекомендованы следующие нормы удобрений (табл. 25).

24. Усредненные показатели минерализации гумуса по группам культур, восполнение потерь его за счет пожнивных и корневых остатков и коэффициент гумификации навоза (обобщенные данные научно-исследовательских учреждений)

Республика, экономический район	Ежегодная минерализация гумуса в почве (в т/га)			Восполнение гумуса в почве за счет пожнивных и корневых остатков (в т/га)			Коэффициент гумификации
	под зерновыми	под пропашными	в чистом пару	зерновых	пропашных	многолетних трав	
РСФСР							
Северо-Западный	1,0	1,5	1,7	0,4	0,2	0,6	20
Центральный	1,0	1,5	1,7	0,4	0,2	0,6	20
Волго-Вятский	1,0	1,5	1,7	0,4	0,2	0,5	20
Центрально-Черноземный	0,7	2,0	2,2	0,5	0,25	0,8	30
Поволжский	0,5	2,0	2,2	0,4	0,2	0,6	25
Северо-Кавказский	0,7	2,5	2,8	0,7	0,35	0,8	25
Уральский:	—	—	—	0,3	0,15	0,5	—
нечерноземная часть	1,0	1,5	1,7	—	—	—	20
черноземная часть	0,5	1,3	2,0	—	—	—	30
Западно-Сибирский	0,4	1,5	1,7	0,3	0,15	0,4	20
Восточно-Сибирский	0,5	2,0	1,7	0,3	0,15	0,5	25
Дальневосточный	0,8	1,5	2,0	0,3	0,15	0,5	20
УССР							
Донецко-Приднепровский	0,7	2,0	2,5	0,6	0,3	0,7	25
Юго-Западный	0,8	2,0	2,2	0,5	0,25	0,9	20
Южный	0,7	1,5	2,5	0,5	0,25	0,5	15
Белорусская ССР	1,0	2,0	2,2	0,5	0,25	0,8	20
Узбекская ССР	0,6	3,5	4,0	0,25	0,2	1,8	23 *
Казахская ССР	0,4	1,5	1,7	0,2	0,1	0,3	15
Грузинская ССР	0,9	3,0	3,3	0,2	0,3	0,6	20
Азербайджанская ССР	0,9	3,0	3,3	0,6	0,3	0,7	15
Литовская ССР	1,0	2,0	2,2	0,6	0,3	0,6	20
Молдавская ССР	0,7	2,0	2,2	0,6	0,3	0,9	25
Латвийская ССР	1,0	2,0	2,2	0,5	0,25	0,6	20
Киргизская ССР	1,0	3,0	3,3	0,4	0,2	1,2	15
Таджикская ССР	1,0	3,5	4,0	0,2	0,2	1,2	20 *
Армянская ССР	0,9	3,0	3,3	0,6	0,3	0,8	20
Туркменская ССР	1,0	3,5	—	0,4	0,2	1,1	25
Эстонская ССР	1,0	2,0	2,2	0,6	0,3	0,7	20

* Средневзвешенное для орошаемых и неорошаемых земель.

25. Нормы удобрений, рекомендуемые для поддержания бездефицитного баланса гумуса

Почва	Зона, район	Норма навоза (в т/га) из расчета на год		Норма минеральных удобрений (в ц/га)	Источник
		в севообороте			
		без трав	с травами		
Дерново-подзоли- стая:					
суглинистая	Центральный рай- он Нечернозем- ной зоны	—	Не менее 10	Рекомендуемые средние нормы	Почвенный инсти- тут им. В. В. До- кучаева, ВИУА им. Д. Н. Пря- нишникова ДАОС (НИУИФ)
сулесчаная	—	—	12—15	То же	
Дерново-подзоли- стая:					
сулесчаная	Владимирская об- ласть	—	10 (люпин)	»	ВИУА
легкосуглини- стая	Калининская об- ласть	об- 15	—	НРК (эквивалент- но навозу)	ВИУА
тяжелосугли- нистая	Московская об- ласть	об- 12	—	То же	ВИУА

Дерново-подзоли- стая:									
суглинистая	БССР	—	8—9	»	»	БелНИИИПА			
супесчаная		—	12—13	»	»				
Дерново-подзоли- стая суглини- стая	Предуралье	—	10—12	Средние дозы		Пермская с.-х. опытная станция			
Легкие дерново- подзолистые (песчаные и лег- копесчаные)	Украинское Полесье	15—18 для се- вооборотов, предельно на- сыщенных пропашными (для восста- новления по- терь и созда- ния положи- тельного ба- ланса)	10—12	—		Украинский НИИ земледелия			
Серые лесные	Владимирское ополье	—	Семипольный севооборот с травами — 10	Не менее 5		Владимирская с.-х. опытная станция			
Серые лесные	Сумская область	—	40	—		ВНИИ лубяных культур, ВИУА,			
Серые лесные	Западная Сибирь	—	Семипольный севооборот с двумя полями трав и па- ром — 3	Средние дозы		Томская с.-х. опытная станция			

Почва	Зона, район	Норма навоза (в т/га) из расчета на год		Норма минеральных удобрений (в ц/га)	Источник
		в севообороте	без трав с травами		
Темно-серые	Кемеровская область	Четырехполь- ный зернопро- пашной — 5	—	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	Марнинская опыт- ная станция
Черноземы типич- ные мощные	Курская область	20% пропаш- ных — 4	—	—	Почвенный инсти- тут им. В. В. До- кучаева
Мощные чернозе- мы	Центральная вобережная раина	Зернопропаш- ной с 50% сахарной свеклы — 6—8	—	4	Украинский НИИПА им. А. Н. Соко- ловского
		40—50% про- пашных — 7	—	—	Средние дозы
		9—10	—	—	Без минеральных удобрений
	Западная Лесо- степь	40—50% про- пашных — 8	—	5	Без минеральных удобрений
		10—11	—	—	Без минеральных удобрений

Орошаемые мицеллярные черноземы и черноземы каштановые	УССР	11—13	—	5	Украинский НИИПА им. А. Н. Соколовского
Чернозем		6	—	Оптимальные дозы	Краснодарский НИИСХ
Черноземы карбонатные	Молдавская ССР	Зернопропашной — 7—10	—	Без минеральных удобрений	Молдавский СХИ, Молдавский НИИ почвоведения им. Н. А. Динмо
Черноземы выщелоченные	Поволжье:				НИИСХ Юго-Востока
	лесостепная часть	Зернопропашной и зерновой — 4,4	—	$N_{60}P_{40}K_{40}$	То же
Южные черноземы	степная часть	Зернопропашной — 1,5	—	$N_{30}P_{20}K_{10}$	
Темно-каштановые	сухая степь	1,6	—	$N_{12}P_{30}K_{10}$	» »
Поливные черноземы и темно-каштановые (без засоления)	Нижнее Поволжье	20	Девятипольный, люцерна (2 года) — 8	Рекомендуемые дозы	Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Поволжский опорный пункт

Почва	Зона, район	Норма навоза (в т/га) из расчета на год		Норма минеральных удобрений (в ц/га)	Источник
		в севообороте			
		без трав	с травами		
Черноземы южные карбонатные	Целиноградская область	Зернопропаш- ной — 2,5—5	—	Рекомендуемые дозы	ВНИИ зернового хозяйства
Черноземы типич- ные и обыкно- венные	Восточный Казах- стан	Зернопропаш- ной — 10	—	Без удобрений	Восточно-Казах- станская опыт- ная станция
Черноземы выще- лоченные и опод- золенные	Красноярский край	5	Десятипольный	P ₄₅ K ₁₅ и N ₃₀ — под рожь	Омский СХИ
Сероземы орошае- мые	Узбекская ССР	Монокультура хлопчатни- ка — 30	—	Без минеральных удобрений	ВНИИ хлопковод- ства

ПУТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВОЗМОЖНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ УДОБРЕНИЯМИ

Отмечая исключительно важную роль агрохимических средств в увеличении производства продуктов питания для человека и кормов для животных, улучшении качества продукции, а в целом и в повышении рентабельности сельскохозяйственного производства, нельзя не отметить, что при неправильном использовании они могут оказывать и негативное действие на урожай и окружающую среду. В последние годы этот вопрос усиленно обсуждается в нашей стране и за рубежом. Усилия ученых многих стран сейчас направлены на разработку комплекса мер по предотвращению загрязнения биосферы минеральными удобрениями. В промышленно развитых капиталистических странах, где ежегодно применяются высокие дозы минеральных удобрений, их влияние на окружающую среду приобретает все более опасный характер. Проблема охраны окружающей среды носит глобальные масштабы и имеет международное значение.

А. Виноградов (1973) пишет: «Огромное количество удобрений и других агрохимических средств, которые в мире вносятся в почву, вероятно, до одной трети вымываются из почвы и попадают в мелководья, пруды, озера и, наконец, во внутренние и приконтинентальные моря. В прудах и озерах благодаря привносу в них питательных веществ, прежде всего соединений фосфора, а также связанного азота и т. д., бурно развивается цветение синезеленых водорослей, накапливаются органические вещества, что в конечном счете приводит к заболеванию водоемов».

Аналогичные мысли высказывают И. Герасимова и М. Будыко. Они считают, что возрастающее применение различных минеральных удобрений и других химиче-

ских средств в сельском, лесном и других отраслях хозяйства наряду с положительным эффектом нарушает природные циклы круговорота веществ и энергии, способствует явлениям эвтрофикации водоемов и тем самым отрицательно влияет на способность окружающей среды сохранять и поддерживать свои естественные свойства и возобновлять используемые ресурсы.

В постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР (декабрь 1978 г.) «О дополнительных мерах по усилению охраны природы и улучшению использования природных ресурсов» указывается, что охрана природы и рациональное использование природных ресурсов в условиях быстрого развития промышленности, транспорта, сельского хозяйства и вовлечения в эксплуатацию все большего количества естественных ресурсов является одной из важнейших экономических и социальных задач Советского государства. В этом документе отмечается также, что на местах пока еще не везде обеспечено осуществление эффективных мер по охране земель, защите от загрязнения вод и воздушного бассейна, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов. Особое внимание должно быть уделено мерам по рекультивации земель, борьбе с эрозией почв, которая сейчас наносит большой ущерб сельскому хозяйству.

В этой связи нельзя не согласиться с высказываниями ряда ученых о том, что отношение людей к защите окружающей среды и разумному использованию ее ресурсов, к сожалению, долгое время было таким, как у большинства людей к собственному здоровью, на которое обращают внимание только тогда, когда поправить его очень трудно, а иногда и невозможно (Зайцев, Цыганков, 1979).

Основными путями, предотвращающими загрязнение окружающей среды удобрениями, на наш взгляд, являются следующие:

совершенствование организационных форм, технологии транспортировки, хранения, тукосмешения и внесения удобрений;

соблюдение технологии внесения удобрений в севообороте и под отдельные культуры;

улучшение химических, физических и механических свойств удобрений.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ, ХРАНЕНИЯ И ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Невозобновляемость природных ресурсов минерального сырья обязывает с особым вниманием и бережливостью относиться к их использованию. А между тем многочисленные исследования показывают, что при горной добыче природных фосфатов в недрах остается 25—50% сырья. В процессе первичного и вторичного обогащения фосфоритных руд (промывка, дробление, размол, флотация и др.) теряется 30—40% добытых руд. При флотационном обогащении апатито-нефелиновых руд Хибинских месторождений теряется до 6—8% фосфатов. При механических и химических операциях переработки природных фосфатов на суперфосфат, фосфорную кислоту, концентрированные удобрения теряется приблизительно еще 5—6% фосфора. Большие потери (10—15%) уже готовых удобрений отмечаются при их транспортировке, хранении и внесении в почву (Вольфович, 1979). Следовательно, борьба за рациональное использование сырья и удобрений и сохранение чистоты природной среды должна проводиться в цепи природные ресурсы — завод — поле.

Существенный недостаток транспортировки удобрений заключается прежде всего в перевалочной системе от завода до поля. Транспортные организации и отделения Госкомсельхозтехники перевозят их автосамосвалами общего назначения, что приводит к значительным потерям. Специальных же автосамосвалов, предназначенных для перевозки минеральных удобрений, а также для заправки разбрасывателей удобрений, выпускается пока недостаточно.

Серьезные недостатки имеются и в хранении минеральных удобрений. Складские емкости не соответствуют объемам удобрений, поставляемых сельскому хозяйству. Средняя же вместимость складов в хозяйствах небольшая, не позволяющая осуществить комплексную механизацию по подготовке удобрений к тукосмешению и внесению. Промышленностью еще не налажен серийный выпуск специальных установок для тукосмешения, поэтому хозяйства в ряде случаев используют сделанные на местах приспособления или вносят каждый вид удобрения отдельно. Все это приводит к непроизводи-

тельному расходованию минеральных удобрений, их потерям, а в итоге — к загрязнению окружающей среды.

По данным Новосибирского НИИЖТ, за 1966—1970 гг. потери при хранении на станции назначения составили 2,8% общей массы. Институт ГипроНИИСельхоз потери на этапе завод — поле определил в размере 15—20%, Белорусский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения — около 15%.

Исследованиями Ленинградского филиала ЦИНАО, проведенными в Северо-Западной зоне, показано, что потери при выгрузке незатаренных удобрений (0,11%) обусловлены утечкой их между вагоном и рампой. Среднезональные потери при выгрузке затаренных и незатаренных удобрений составляют 0,08%. Потери вследствие неудовлетворительного состояния транспорта и дорог составляют 0,13—3,6%. В значительной мере они зависят от способа затаривания: при перевозке россыпью — 1,98—3,6%, в бумажных мешках — 1,07—2,6%.

Потери удобрений зависят также и от условий хранения: при хранении в приспособленном помещении они составляют 2,55%, а вне помещения — 11,1%. В 1974 г. общие потери удобрений при транспортировке и хранении по Северо-Западной зоне составили 213,3 тыс. т (Фролов, Иванова, 1977).

Исследованиями ЦИНАО (Осипов и др., 1976) показано, что потери при выгрузке удобрений из вагонов в склад в 2—2,5 раза меньше, чем при выгрузке в машины (табл. 26).

26. Потери гранулированного суперфосфата при выгрузке из вагонов

Место выгрузки	Удобрение	Разгрузка	Потери (в %)
В автомашины	Затаренное	Ручная	0,17
		Механизированная	0,02
	Незатаренное	Ручная	0,59
		Механизированная	0,15
В склад	Затаренное	Ручная	0,08
		Механизированная	0,04
	Незатаренное	Ручная	0,22
		Механизированная	0,07

Опытные перевозки удобрений в Краснодарском крае из прирельсового склада (или вагонов) до хозяйства на расстояние 30—34 км показали, что средние размеры потерь затаренного суперфосфата в 2,5 раза меньше, чем незатаренного (0,43 и 1,10%).

Нужно также иметь в виду, что при погрузочно-разгрузочных работах, транспортировке и хранении в хозяйствах незатаренного гранулированного суперфосфата происходит некоторое изменение его гранулометрического состава по сравнению с исходным, в частности увеличение доли мелких фракций. Это приводит к большей сегрегации тукосмесей, неравномерному внесению и снижению эффективности удобрений.

По Житомирской области (Осипов и др., 1976) приводятся следующие данные о потерях затаренных и незатаренных удобрений при доставке их со склада в поле (табл. 27).

27. Потери удобрений при доставке со склада в поле

Этапы работ	Потери массы удобрений (в %)	
	затаренных	незатаренных
Погрузка удобрений вручную в автомашины ГАЗ-51	—	0,4
Перевозка удобрений в поле	—	1,3
Выгрузка удобрений на обочину поля	0,4	2,1
Загрузка сеялок вручную	1,6	0,7
Припосевное внесение удобрений	0,2	0,2
Всего	2,2	4,7

По данным Р. А. Бетехтиной и В. И. Шапова (1982), распределение потерь удобрений было следующее (в % от общей массы по этапам): в пути следования — 1,4, при погрузочно-разгрузочных работах — 4,8, при хранении на складах — 2,8. Межведомственные испытания разных типов вагонов по перевозке минеральных удобрений показали, что потери при погрузочно-разгрузочных работах колеблются от 100 до 600 кг/вагон. ВНИИМСХ в течение 4 лет выявлял фактические потери удобрений. Удобрения транспортировали до прирельсовых складов в крытых железнодорожных вагонах (по действующей технологии) и в саморазгружающихся вагонах типа «Хоппер» (по предложенной институтом технологии).

Средние потери удобрений при выгрузке из крытого вагона в склад составили 1010—1145 кг, в том числе оставалось в вагоне 260—300 кг. При выгрузке удобрений из склада в автотранспорт на каждые 60 т удобрений потери составляли 500 кг. Потери затаренных удобрений колебались в пределах 70—184 кг/вагон. В среднем при принятой технологии складской переработки потери незатаренных и затаренных удобрений составляли соответственно 2,51—2,74 и 0,11—0,30%. Потери в крытых вагонах были 0,43—0,50%.

При приемке удобрений из вагонов типа «Хоппер» в склад (бестарная доставка) потери составили 187—218 кг/вагон (0,4—0,5%). При выгрузке удобрений из накопительных бункеров приемного устройства потери практически отсутствовали. Общие потери незатаренных удобрений при перегрузочных операциях были в 3 раза меньше по сравнению с приемом из крытых вагонов общего назначения (табл. 28).

28. Средние потери минеральных удобрений при погрузочно-разгрузочных работах (Горбалетов и др., 1977)

Удобрение	Потери (в %) при использовании технологии	
	действующей	новой
Гранулированный суперфосфат	2,05	0,70
Калийная соль	2,44	2,08
Фосфоритная мука	2,62	0,13
Карбамид	—	0,54

Требует совершенствования и технология внесения удобрений разбрасывателями. В опытах ВИУА внесение основного полного минерального удобрения с неравномерностью 50% снижало урожай зерновых культур на 6—7%. По данным НИУИФ, при неравномерном (70—80%) внесении суперфосфата урожай озимой пшеницы снижался по сравнению с равномерным на 20% и более (табл. 29).

Опыты показали, что уже при неравномерности 20—25% от средней нормы увеличивается пестрота хлебостоя, растягиваются сроки созревания на 3—6 дней, уменьшается продуктивная кустистость, снижается выравниваемость зерна.

29. Влияние неравномерного распределения простого суперфосфата на урожай озимой пшеницы (Останин, 1971)

Вариант опыта	Степень неравномерности (в %)	Урожай зерна (в ц/га)	Прибавка урожая (в ц/га)	Потери урожая зерна	
				в ц/га	в %
Фон — НК	—	22,5	—	—	—
Суперфосфат внесен:					
равномерно	—	32,8	10,3	—	—
неравномерно	25	30,4	7,9	2,4	7,6
»	50	27,7	5,2	5,1	15,8
»	100	28,0	5,5	4,8	14,9

Заслуживают внимания результаты исследований влияния неравномерного внесения удобрительных смесей, составленных из разных форм удобрений. Смесей вносили двухдисковым центробежным разбрасывателем.

Из данных таблицы 30 видно, что эффективность тукосмесей, приготовленных из разных форм удобрений, неодинакова. Влияние неравномерности внесения удобрений на их эффективность было различным. Общим для всех видов тукосмесей явилось то, что они в основном распределялись в полосе 6 м. За пределами 3 м от центра с каждой стороны количество удобрений резко уменьшалось.

Однако тукосмесь, приготовленная из аммиачной селитры, простого суперфосфата и хлористого калия на десятиметровой полосе, не давала существенных различий в прибавке урожая пшеницы. Разница в массе тукосмеси, в составе которой была мочевины и двойной суперфосфат, на отдельных делянках достигала почти трехкратной величины, а прибавка урожая колебалась от 3,4 до 8,4 ц/га. Такие же различия были и при использовании тукосмеси, в состав которой входили аммиачная селитра и двойной суперфосфат. В полосе 10 м разница по массе тукосмеси на отдельных делянках была более чем двукратной, прибавки урожая колебались от 4,1 до 8,3 ц/га.

Отрицательное действие неравномерного распределения удобрения наиболее четко проявляется при высокой их эффективности. В этой связи особенно велики потери урожая при неравномерном распределении оптимальных и максимальных доз удобрений.

30. Распределение тукомеси по ширине захвата центробежного разбрасывателя и урожай озимой пшеницы (Останин, Злобина, 1976)

Расстояние от центра прохода разбрасывателя (в м)	Дозы $N_{aa} + P_c + K_x$ (в кг/га)			Урожай зерна (в ц/га)	Прибавка (в ц/га)	Дозы $N_m + P_{дс} + K_x$ (в кг/га)			Урожай зерна (в ц/га)	Прибавка (в ц/га)	Дозы $N_{aa} + P_{дф} + K_x$ (в кг/га)			Урожай зерна (в ц/га)	Прибавка (в ц/га)			
	Смеси	N	P_2O_5			K ₂ O	Смеси	N			P_2O_5	K ₂ O	Смеси			N	P_2O_5	K ₂ O
—	—	—	—	17,4	—	—	—	—	15,9	—	—	—	—	14,9	—			
6—7	15	1	2	16,9	-0,6	5	1	1	16,9	0,8	12	2	3	15,3	0,4			
4—5	395	37	48	20,9	3,5	174	30	29	19,3	3,4	163	29	35	20,1	5,2			
2—3	753	82	76	21,5	4,1	464	73	76	23,3	7,4	421	73	75	23,1	8,3			
1	676	76	61	22,2	4,8	512	80	83	23,1	7,2	432	71	76	22,7	7,8			
2—3	761	84	75	21,5	4,1	485	73	80	24,1	8,4	454	80	77	23,2	8,3			
4—5	415	36	53	22,3	4,9	193	40	27	20,3	4,4	217	47	37	19,0	4,1			
6—7	24	2	3	19,4	2,0	12	3	1	17,8	1,9	22	4	7	14,5	-0,4			

Примечание: N_{aa} —аммиачная селитра; P_c —простой суперфосфат; $P_{дф}$ —ддяммофос; $P_{дс}$ —двойной суперфосфат; K_x —хлористый калий; N_m —мочевина; $P_{дс}$ —двой-

И. Ф. Сендряковым и др. (1977) проведен анализ экспериментальных данных по размерам потерь урожая сельскохозяйственных культур в опытах, выполненных различными научно-исследовательскими учреждениями страны. Отрицательное влияние неравномерного внесения особенно резко проявляется при использовании азотных удобрений. Так, внесение аммиачной селитры в дозах азота 60—80 кг/га с неравномерностью 40—60% снижает урожай ячменя на 4,6—4,8% (Гродненская сельскохозяйственная опытная станция), яровой пшеницы — на 5,7% (Пермская сельскохозяйственная опытная станция), озимой пшеницы — на 4% (Белорусская сельскохозяйственная академия). Увеличение неравномерности до 70—80% приводило к потере урожая зерновых культур на 10,5—10,8%, что составляет 4—4,5 ц зерна с 1 га.

Расчеты, по данным Белорусской СХА, Гродненской опытной станции, НИИСХ Северного Зауралья, показывают, что потери урожая ячменя при внесении нитроаммофоски в дозах НК по 60—80 кг/га с неравномерностью 60—80% достигали 12,5—14,4% (4,7—5,1 ц/га), картофеля — 6,7% (15 ц/га), сахарной свеклы — 5—6% (20 ц/га).

В производственных условиях фактическая неравномерность внесения удобрений нередко превышает допустимую и достигает 75—80%. В таких случаях снижение урожая зерновых культур от неравномерного внесения удобрений составляет 10—15%.

По данным ВИУА (Сендряков и др., 1980), на основании обобщения около 200 опытов Географической сети установлено, что потери урожая зерновых культур при неравномерном распределении удобрений возрастают с увеличением их доз. Так, при внесении N_{30-40} с неравномерностью 70% снижение урожая озимой пшеницы составляло 1,8%, а при внесении N_{120} с той же неравномерностью — 8,7% к урожаю в варианте с равномерным внесением азотных удобрений. При высокой эффективности азотного удобрения урожай ячменя при внесении N_{120} с неравномерностью 70% снижался на 10,9%, а при средней эффективности удобрения — на 6,5%. Недобор зерна при неравномерности внесения фосфорного удобрения 70% в большинстве случаев не превышал 3%. При высокой же эффективности фосфора (карбонатные почвы, дерново-подзолистые с низким со-

держанием подвижного фосфора) потери урожая зерновых достигли 7%.

При высокой эффективности полного удобрения внесение его на 1 га в дозах 60—90 кг каждого элемента с неравномерностью 70% приводит к недобору 12,5—14,5% урожая зерна ячменя, а с неравномерностью 50% — 7,5—8,5% (Сендряков, Овчинникова, Главацкий, 1980).

Минимальные потери сельскохозяйственной продукции (0,5—0,8%) наблюдались при внесении удобрений с неравномерностью 5—20%. Однако имеются экспериментальные данные, которые констатируют и более высокий недобор урожая от такой неравномерности внесения туков. Техничко-экономические расчеты показывают, что оптимальный показатель неравномерности внесения удобрений находится в пределах 12,5—15% (Сендряков, и др., 1977).

Агротехнические требования к туковым сеялкам и разбрасывателям неравномерность внесения удобрений допускают до 25%. Так, по расчетным данным Гольмана и Матеса, при неравномерности 20% потери урожая зерновых колебались от 0,6 до 11,5%, при неравномерности 30% — от 1,3 до 17,5%. По данным А. И. Останина и Л. С. Злобиной, потери урожая овса, озимой пшеницы и картофеля при неравномерности 20—25% находились в пределах 4—5%.

Влияние неравномерности внесения минеральных удобрений на урожай пшеницы выявлено в опытах, проведенных в 1971—1975 гг. в Чехословакии (Podany P. et al., 1977). Удобрения вносили разбрасывателем ДО-32, установленным на автомобиле (табл. 31).

По данным, полученным в ФРГ, при неравномерности внесения минеральных удобрений 20—30% потери урожая зерновых составляли 0,6—1,2 ц/га; они возрастали с увеличением доз удобрений. При одних и тех же дозах отрицательное действие неравномерности внесения удобрений в большей мере проявлялось при использовании более концентрированных удобрений (табл. 32).

В ЧССР в 1975 г. при средней по стране неравномерности внесения удобрений около 40% зерновых недобрали 406 тыс. т, сахарной свеклы — 573 тыс. т.

Для равномерного внесения минеральных удобрений важное значение имеет выравненность их гранулометрического состава. Оптимальный с точки зрения усвое-

31. Зависимость урожая озимой пшеницы от неравномерности внесения удобрений

Производственная зона	Неравномерность внесения (в %)	Ширина захвата (в см)	Урожай		Потери урожая	
			в ц/га	в %	в ц/га	в %
Свекловичная	7,0	6	66,8	100,0	—	—
	14,6	12	56,8	86,0	10,0	15,0
	40,7	18	56,4	84,4	10,4	15,6
	70,1	24	55,8	83,5	11,0	16,5
	102,0	36	54,2	81,1	12,6	18,9
Кукурузная	7,0	6	47,1	100,0	—	—
	14,6	12	46,8	99,4	0,3	0,6
	40,7	18	45,9	97,4	1,2	2,6
	70,1	24	44,7	94,9	2,4	5,1
	102,0	36	42,5	90,2	4,6	9,8
Картофельная	7,0	6	58,9	100,0	—	—
	14,6	12	58,4	99,2	0,5	0,8
	40,7	18	56,1	95,2	2,8	4,8
	70,1	24	54,3	92,2	4,6	7,8
	102,0	36	51,0	86,6	7,9	13,4

32. Влияние точности внесения азотных удобрений на урожай озимой пшеницы (Синдяшкина и Могиндовид, 1980)

Точность внесения	Внесено азота (в кг/га)	Нитрат аммония		Мочевина	
		урожай зерна (в ц/га)	потери урожая (в ц/га)	урожай зерна (в ц/га)	потери урожая (в ц/га)
—	—	24,4	—	24,4	—
Высокая	50	35,1	—	34,9	—
Средняя		33,6	1,5	31,3	3,6
Низкая		30,1	5,0	28,1	6,8
Высокая	100	41,5	—	41,0	—
Средняя		35,4	6,1	33,1	7,9
Низкая		31,4	10,1	25,8	15,2

ния питательных веществ растениями размер гранул азотных, фосфорных и сложных удобрений находится в пределах 1,5—3 мм. Гранулы такого размера удобны при распределении их и туковыми сеялками, и разбрасывателями.

Что касается влияния размеров гранул на равномерность внесения, единой точки зрения у исследователей нет. По данным Э. П. Базегского и Б. А. Главацкого, равномерное смешивание удобрений достигается только

в том случае, если различия в средних размерах гранул не превышают 1 мм. А. М. Щербаков (1968) для центробежных разбрасывателей рекомендует размер гранул от 1 до 3 мм. По данным зарубежных исследований, наиболее равномерно распределяются удобрения, размер гранул которых составляет 1,5—4,2 мм. I. Quade отмечает, что гранулированные удобрения должны иметь преобладающий размер частиц 2—3,5 мм. Smitt считает, что крупные гранулы (3—4 мм) можно рассеивать центробежным разбрасывателем более равномерно, чем мелкие. По данным А. Mehring, L. Cumings, наоборот, равномерный рассев получается при размере гранул 1,6 мм. В исследованиях Е. Kerstin желаемый результат был получен при величине гранул 0,5—1,5 мм. Гранулы размером 4—5 мм распределялись менее равномерно (Останин, Злобина, 1976). В исследованиях Э. Ф. Филиппова (1967) удобряемую поверхность наиболее равномерно покрывали гранулы размером 1—2 мм.

Невыравненность гранулометрического состава приводит к расслоению (сегрегации) компонентов при тукосмешении, транспортировке и хранении удобрительных смесей. Исследования (Грачев, Бабенко, 1970) показали, что при сегрегации удобрений 29—42% среднее снижение урожаев составляло 20—40%. При расसेве сухих удобрительных смесей центробежным разбрасывателем (без перекрытия) удобрения распределяются неравномерно не только по общей дозе, но и по отдельным питательным элементам. Основное нарушение происходит вследствие недостаточно равномерного распределения азотного компонента, который из-за небольшого размера гранул распределяется равномерно лишь на первых трех метрах ширины захвата разбрасывателя. При снижении доли азотного компонента до 66%, несмотря на завышенную дозу общего количества внесенной удобрительной смеси (105% от нормы), урожай уменьшался на 20—22%. Для равномерного распределения удобрительных смесей по площади с учетом компонентного состава гранулы азотных удобрений должны быть на 1—1,5 мм больше гранул фосфорных и калийных удобрений.

Равномерность рассева минеральных удобрений машинами центробежного типа зависит не только от выравниваемости гранул в удобрительных смесях, но и от соблюдения точного расстояния между проходами ма-

шины, оптимальной ширины ее захвата, форм и качества удобрений в смесях и других условий.

Существующие сеялки, особенно центробежные разбрасыватели, неравномерно распределяют удобрения по ширине захвата. При внесении гранулированного суперфосфата (размер гранул 2—3 мм) на метровую полосу, непосредственно примыкающую к середине разбрасывателя РУМ-3, приходилось 20,8 г удобрения на 1 м², на вторую метровую полосу — 25,2 г, на третью — 10, на седьмую — 5,3 г и т. д. (Синягин, 1974).

В настоящее время в производственных условиях фактическая неравномерность внесения удобрений разбрасывателями 1-РМГ-4, РУМ-3, КСА-3 и НРУ-0,5, как правило, в 2—3 раза превышает допустимые значения (25%). Особенно неудовлетворительно вносятся смеси, приготовленные из удобрений с неоднородным гранулометрическим составом. Это снижает коэффициент использования элементов питания из удобрений растениями, увеличивает потери, приводит к непроизводительному их расходованию и загрязнению окружающей среды.

Для повышения качества внесения минеральных удобрений необходимо создание и внедрение машин, обеспечивающих поверхностное их внесение с неравномерностью не более 15%, а также высокопроизводительных машин для локального способа применения основных норм минеральных удобрений.

Значительные потери удобрений возможны при внесении удобрений с помощью авиации, так как часть их сносится в лесополосы, овраги, водоемы и т. д. Во время работы самолетов специалистами хозяйств должны быть приняты меры более точной сигнализации и строгого контроля за качеством работ.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

Потери минеральных удобрений могут быть обусловлены нарушением технологии их применения в севообороте и под отдельные культуры. Многообразие почвенно-климатических условий в нашей стране требует дифференцированного подхода к разработке научных основ технологии применения удобрений с учетом особенностей климата, свойств и плодородия почвы, специализации растениеводства, использования высокопродуктив-

ных сортов и т. д. Важно правильно определить дозы и соотношения питательных элементов, выбрать оптимальные формы удобрений, сроки и способы их внесения. Все это позволит повысить коэффициент использования питательных элементов удобрений сельскохозяйственными растениями на создание растениеводческой продукции, а следовательно, снизить их потери в окружающую среду.

В настоящее время накоплено много отечественных и зарубежных данных по размерам возможных потерь питательных веществ в окружающую среду и их снижению.

На потери питательных элементов из почвы большое влияние оказывают такие труднорегулируемые факторы, как количество осадков и гранулометрический состав почв. Интенсивность вымывания отдельных питательных элементов в зависимости от гранулометрического состава почв при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$, по обобщенным данным, показана в таблице 33.

33. Средние количества вымываемых атмосферными осадками питательных веществ удобрений и почвы

Элемент	Количество вымываемых питательных веществ (в кг/га пашни) на почвах	
	суглинистых	супесчаных
Азот	1—6	14—18
Калий	7	10—12
Кальций	50	70—120
Магний	3—7	10—15
Сера	14	25

Нечерноземная зона нашей страны довольно часто рассматривается как зона с потенциально возможным вымыванием значительных количеств питательных элементов. Это объясняется тем, что почвы зоны отличаются промывным водным режимом (годовая сумма осадков 600—650 мм, а испаряемость 450—500 мм), значительным внутрипочвенным стоком, особенно в весенний паводок и после уборки урожая осенью, большим удельным весом почв легкого гранулометрического состава с преобладающей кислой реакцией. Кроме того, в хозяйства зоны поступает много минеральных удобрений как важное условие повышения плодородия

низкопродуктивных земель. В Белоруссии в годы с избыточным увлажнением вымывание азота на легких почвах достигает 60 кг/га, на супесчаных — 20—25, на суглинистых — 10 кг/га. В годы с нормальным увлажнением эти показатели снижаются примерно вдвое (Кулаковская, 1978).

Вымывание питательных веществ увеличивается из почв более плодородных, из легких парующих (получающих повышенные нормы удобрений), а также при увеличении количества атмосферных осадков или норм оросительной воды и т. д. Например, в штате Иллинойс (США) из хорошо дренированной почвы вымывалось азота 80 кг/га, калия 1,3, кальция 62, серы 18 кг/га, а из плохо дренированной соответственно 7; 0,7; 12 и 2 кг/га (Kurtz, 1970).

Из основных питательных веществ больше всего теряется азота. Из обобщенных данных по балансу азота (с помощью ^{15}N) видно, что этот элемент усваивается растениями в полевых условиях примерно на 40%, в отдельных случаях на 60—70%, иммобилизуется в почве на 17,7—32,6%. Большая его доля включается в состав трудногидролизуемых гумусных веществ. Потери азота в результате улетучивания различных газообразных соединений составляют в среднем 10—30% от внесенного.

Особенно существенно возрастают потери азота при увеличении количества осадков. Так, по данным голландских исследователей, каждый миллиметр осадков вызывает ежегодные потери азота 0,5 кг/га. В условиях ФРГ при выпадении 374 мм, 615 и 779 мм осадков из песчаной почвы вымывалось азота соответственно 33 кг/га, 41 и 56, из глинистой — 21 кг/га, 23 и 62 кг/га (Yung, 1972). В лизиметрических опытах ФРГ в годы с недостаточным количеством осадков вымывание азота зимой составляло 11 кг/га, летом — 1 кг/га, при среднем увлажнении соответственно 16 и 7, а в годы с обильными осадками — 46 и 14 кг/га (Панников, 1980). В опытах с одинаковым севооборотом при ежегодном внесении N_{80} из супесчаной почвы азота вымывалось в среднем за 9 лет 35, а из суглинистой — 22 кг/га.

Потери фосфора показаны в таблице 34.

В пятнадцатилетних лизиметрических опытах в ФРГ из супесчаной почвы калия терялось в год 57 кг/га, из суглинистой — 22 кг/га. В другой серии опытов из поч-

34. Ежегодные потери фосфора с инфильтрационной водой в зависимости от почвы и удобрений (средние за 15 лет; Могиндовид, Глезина, 1978)

Почва	рН	Потери фосфора (в кг/га)		
		без удобрений	НРК	НРК+навоз
Суглинок	7	4,9	—	4,9
Средний суглинок	5	5,4	4,0	3,6
Песок	4	7,6	7,8	7,4
»	7	9,6	12,2	12,3

вы под паром в подпочву вымывалось в среднем за 6 лет 22 кг/га K_2O , а в звене севооборота картофель — овес — 16 кг/га. В засушливые годы потери кальция от вымывания составляли более 200 кг/га в год, при обильных осадках — 300, а при очень неблагоприятных условиях — даже 636—874 кг/га. Из внесенного с удобрениями кальция за длительный период в подпочву просачивалось около 25% этого элемента. Ежегодные потери магния от вымывания в зависимости от количества инфильтрационной воды составляли около 15—30 кг/га.

Исследованиями, проведенными во Франции, установлено, что каждый миллиметр зимних осадков увеличивает глубину вымывания нитратов, оставшихся после лета, на песчаных почвах на 7 мм, на суглинистых — на 3, на глинистых — на 2 мм. По данным Хегборга, азот в форме нитратов передвигается вниз по профилю почвы с каждым миллиметром осадков в среднем на 0,5—1 см, на песчаных почвах это передвижение идет на 50% быстрее, чем на глинистых. При выпадении 120 мм осадков около 20 мм удерживалось в почве и около 100 мм проникало до уровня грунтовых вод. Максимальная концентрация азота наблюдалась на глубине 40 см, незначительная его часть оставалась в пахотном слое, остальная переместилась до глубины 70 см (Хвощева, 1979). Полесской опытной станцией Украинского НИИ земледелия получены следующие данные при определении количества питательных веществ, вымываемых инфильтрационными водами за пределы корнеобитаемого слоя из удобренных и неудобренных легких дерново-подзолистых почв (табл. 35).

При внесении за 7 лет опыта N_{345} суммарные потери этого элемента на рыхлопесчаной почве составили

35. Ежегодные потери питательных веществ из дерново-подзолистых легких почв в результате вымывания (в среднем за 6 лет)

Почва	Количество фильтрата за год (в л/м ²)	Потери (в кг/га)			
		N	P	K	Ca
Рыхлопесчаная	115	26,8	0,006	1,70	47,0
Связнопесчаная	58	13,9	0,005	2,27	60,6
Супесчаная	83	16,8	0,040	2,36	47,2

Примечание. Количество кальция показано в среднем за 5 лет.

161 кг/га, на связнопесчаной — 83 кг/га, на супесчаной почве при внесении за 5 лет N₂₈₀ — 84 кг/га.

С помощью ¹⁵N установили, что в фильтрационных водах преобладает азот почвы. Так, в год внесения азотных удобрений этот элемент практически не вымывался за пределы корнеобитаемого слоя почвы. А, по средним данным за 3 года, потери азота составили на рыхлопесчаных и связнопесчаных почвах соответственно 12,5 и 5,7%, на супесчаных в сумме за 3 года они не превышали 1% от внесенного количества. Фосфаты не вымывались за пределы метрового слоя почвы. Потери калия составляли 1,7—2,3 кг/га. В отдельные влажные годы они возрастали до 4,5—7,5 кг/га. Потери кальция, по сравнению с потерями других питательных элементов, были наиболее высокими — 47—60 кг/га. В этих опытах не известковали почву, а кальций вносили в составе удобрений. Если пренебречь процессами превращения кальция в почве и условно принять, что с удобрениями его вносили ежегодно на песчаных почвах 111, на супесчаных — 102 кг/га, то окажется, что на связнопесчаных почвах вымывалось 54%, на супесчаных — 46%, на песчаных — 37%. Небольшое вымывание кальция из песчаных почв объясняется незначительным содержанием в них обменного кальция.

По данным исследований, в Нечерноземной зоне фосфор практически не вымывается из почвы и не загрязняет природные воды. Как показали опыты, из темносерых почв даже при внесении фосфора в дозе 120 кг/га под зерновые не обнаружено его вымывания. На легких почвах с промывным водным режимом вымывание фосфора возможно. По данным отечественных и зарубеж-

ных исследователей, с 1 га неорошаемых сельскохозяйственных угодий может вымываться не более 0,8 кг фосфора, на легких почвах этот показатель обычно больше.

Зарубежными и отечественными длительными опытами установлено, что систематическое применение органических и минеральных удобрений и их смесей обуславливает постепенное обогащение фосфором почвенного профиля (Гинзбург, 1981).

Вымывание калия характеризуется более значительными величинами, чем фосфора. Это объясняется большим содержанием этого элемента в почве и большой его подвижностью. Размер вымывания калия зависит от разновидности почв (оно увеличивается с облегчением гранулометрического состава почв), содержания гумуса, наличия его подвижных форм, количества осадков и т. д. По данным ВИУА, на дерново-подзолистых длительно удобрявшихся почвах вымывание калия не ограничивалось пахотным слоем, а распространялось за пределы корнеобитаемого слоя. Потери его в два с лишним раза превышали накопление в пахотном слое (Паников, Минеев, 1977).

Исследованиями, выполненными в Польше, показано, что потери калия в дренажные воды колеблются от 5 до 30 кг/га; на легких почвах они составляют 24—67%, на легких суглинках — 3—22, на тяжелых — 2—15% от внесенной нормы (Lavartka, 1975). В Эльзасе (Франция) вымывание калия составило: на легких почвах 20—70, суглинистой 10—20, глинистой 10 кг/га. На легких почвах Ланды вымывание калия под орошаемой кукурузой без удобрений было 44 кг/га, а в варианте $N_{200}P_{200}K_{200}$ — 65 кг/га (Cottenie, 1977).

По данным английских опытных учреждений, вымывание калия варьировало в широких пределах (в кг/га): в Харвуде — 1—6, Саксмандхеме — 8, Бродбоке — 91, Вуберне — 46—156. Концентрация калия в грунтовых водах составляла 4—19 мг/л (Cooke, 1976). В английском длительном опыте на легкой почве из внесенного количества калия за пределы полуметрового слоя почвы было вымыто 70%, вынесено культурами 23%, закреплено в обменной форме 7% (Кук, 1970).

Из катионов первое место по загрязнению грунтовых и природных вод занимает кальций. Имеются многочисленные данные об усиленном вымывании этого элемента, особенно в условиях интенсивного применения удоб-

рений. Например, в ФРГ годовые потери кальция составляют 231—238 кг/га.

В длительных опытах, проведенных в Англии, ежегодные потери кальция с дренажными водами составляли 127—1016 кг/га в зависимости от количества осадков, разновидности почвы и содержания в ней кальция; концентрация кальция в дренажной воде достигала 120—150 мг/л (Cooke, 1976). В среднем за год в дренажные воды его вымывалось 186 кг/га.

На почвах Франции потери кальция достигают ежегодно 200—400 кг/га; на легких суглинках под орошаемой кукурузой без удобрений они составили 44 кг/га, а при внесении $N_{200}P_{200}K_{200}$ — 261 кг/га, т. е. внесение NPK вымывание кальция в подпочву увеличило в 6 раз (Шконде, Благовещенская, 1979).

В результате вымывания теряется также большое количество магния. Однако вымывание его из почвы в 10 раз меньше, чем кальция. Потери этого элемента составили (в кг/га): в ГДР 6—15, в ФРГ от 5—30 до 12—72, в Англии 13—54 (Cooke, 1976). Во Франции на неудобренном участке кукурузы магния вымывалось 7 кг/га, при внесении $N_{200}P_{200}K_{200}$ — 94 кг/га, т. е. в 13 раз больше (Duthil, 1976). Потери магния на кислых почвах бывают значительно больше, чем на известкованных. Концентрация магния в грунтовых водах Ротамстеда составляет 6—11, а в водоеме — 10—11 мг/л (Wiklander, 1977).

По данным исследований, проведенных в Белоруссии, вымывание магния из легких почв без удобрения составляло 24—28 кг/га, а при внесении удобрений и извести вымывание возрастало до 87 кг/га (Кулаковская, 1978).

Грунтовые и природные воды загрязняет и сера, круговорот которой сходен с круговоротом азота, поскольку процессы нитрификации и сульфификации протекают обычно параллельно. Образующиеся сульфаты легко вымываются в дренажные и грунтовые воды. Сера, как и азот, может закрепляться в органической форме. В кислой анаэробной среде она связывается соединениями железа, алюминия, бария и стронция; в нейтральных и щелочных почвах связывается в форме гипса (Hargrave et al., 1977; Lachlan, 1975). В Западной Европе серы из почвы вымывается в среднем 15 кг/га, в ФРГ — 13—21, Швеции — до 23, Норвегии — 30—

40 кг/га. Вымывание сульфатной серы в ФРГ на песчаных почвах достигало 363, на суглинистой карбонатной — 349 кг/га; зимой вымывалось 55% на песчаной и 78% на суглинистой почве (от общей суммы годовых потерь серы).

В опытах, проведенных в Австралии, в промывные воды попадало до 90% внесенной с удобрениями серы. Наибольшее вымывание серы отмечено при внесении суперфосфата (Lachlan, 1975).

В Саксмандхеме (Англия) концентрация серы в грунтовых водах составляла 22—62 мг/л, а в водоеме — 54—58 мг/л. В Лонг-Айленде концентрация серы в грунтовой воде была на удобренном луге 93 мг/л, на неудобренном — 29, на смежном участке пашни — 51—65, под лесом — 46 мг/л (при ПДК 17 мг/л). Ежегодное вымывание серы в грунтовые воды было следующим (в кг/га): в Саксмандхеме до 400, в Вуберне — 522—1871, на опытном поле Хорвуд до 357 (Quaterly Revien, 1978). Эти данные свидетельствуют о том, что загрязнение грунтовых природных вод серой создает серьезную проблему качества водных источников.

Большие потери питательных веществ наблюдаются в условиях орошения. Несовершенство оросительных систем часто сопряжено с необходимостью сбрасывать избыток оросительной воды в реки и водоемы, а вместе с ней теряется и большое количество питательных элементов, особенно при повышенных дозах удобрений.

Исследования Новочеркасского гидрохимического института, проведенные на орошаемых массивах Северного Кавказа, где для удобрения применяли суперфосфат, сульфат аммония, аммиачную селитру и мочевины, показали, что суперфосфат практически не вымывается из почвы. Азотные удобрения вымывались в значительных количествах. В грунтовые воды они попадали в основном в форме нитратов, концентрация которых повышалась до 20 мг/л (что в сотни раз выше, чем в оросительной воде), NH_4 — до 0,2 мг/л. При удобрении сульфатом аммония и мочевиной вода в коллекторах содержала NO_3 до 3,5—10 мг/л, NH_4 —1,6—2,7 мг/л. Балансовые расчеты показали, что на Пролетарской оросительной системе с коллекторными водами выносятся ежегодно 16% азота, на Старо-Теречной — 22%. Потери питательных веществ возрастают пропорционально проточности систем (Запорий, 1978).

А. С. Демченко и др. (1976) отмечают, что при внесении удобрений концентрация азота в коллекторных водах, сбрасываемых с орошаемых массивов, составляет в летний период 10 мг/л и более, что в десятки и даже сотни раз больше, чем фоновые величины. Максимальные концентрации азота наблюдаются в периоды внесения удобрений. Заметный вынос азота наблюдался также и в осенние месяцы, что свидетельствует о миграции части удобрений в грунтовые воды и затем в коллекторную сеть. Вынос удобрений обычно находится в обратной зависимости от времени, прошедшего от их внесения до начала сброса воды с полей. В течение вегетационного периода с коллекторными водами выносятся до 22% азота от общего поступления его на поля с удобрениями и оросительной водой (табл. 36).

36. Вынос азота коллекторными водами с орошаемых массивов, удобренных сульфатом аммония (Демченко и др., 1976)

Время внесения удобрений	Площадь орошаемого участка (в га)	Вынос азота	
		в %	в кг/га
Перед посевом культуры	500	1,26	0,5
	500	1,23	0,8
Подкормка	70	14,3	2,2
	70	12,7	4
	500	17,4	1,5
Вегетационный период	1200	22,3	19,0
	500	14,4	15,6

Как показали исследования, 30—40% общего выноса азота с поверхностным стоком с неорошаемых водосбросов, представленных супесчаными почвами, составляет 1,04 кг/га, суглинистыми — 3,98 кг/га, или соответственно 1,1 и 3,8% от среднего количества внесенных на поле удобрений.

Большую роль в снижении потерь питательных элементов в окружающую среду (особенно азота) играют гумус почвы, органические удобрения и запаханные растительные остатки. Органический азот в составе гумуса и растительных остатков не теряется из почвы, постепенно минерализуясь, он служит источником питания растений в течение вегетации. Велика биохимическая роль гумуса в почве. Органическое вещество создает химические связи между углеродом и азотом,

причем аккумуляция органического азота не превышает 10% от общего углерода.

При внесении органического удобрения или минерального азотного удобрения вместе с соломой или другим органическим веществом, способным вызвать иммобилизацию азота, снижается процесс нитрификации и миграции азота в подпочву. Для борьбы с загрязнением вод нитратами наиболее важным фактором является правильное соотношение между количеством органических и минеральных удобрений.

В штате Нью-Йорк изучали потери минерального азота из суглинистой почвы под различно удобренными культурами в севообороте с запашкой растительных остатков в почву, сжиганием остатков и оставлением поверхности почвы без обработки. При высоких дозах удобрений потери азота были в 4 раза больше, чем при низких. После сжигания растительных остатков потери азота были также в 4 раза выше, чем при запашке корней и остатков в почву. Практически весь смываемый азот был представлен нитратной формой (Klausner, 1974).

Некоторые руководители хозяйств и специалисты необходимость сжигания стерни объясняют улучшением обработки почвы, борьбы с вредителями и болезнями и т. д. Однако тот ущерб, который наносится сжиганием послеуборочных остатков, нельзя оправдать. Еще классики отечественного земледелия неоднократно указывали на необходимость полного использования всех растительных остатков.

На экспериментальной ферме университета штата Калифорния (США) в опыте с кукурузой был проведен анализ поступления и потерь азота (Fried et al., 1978; табл. 37). Потери азота в результате выщелачивания составили 5,7 кг/га.

37. Ежегодное внесение и потери азота

Внесение азота (в кг/га)		Потери азота (в кг/га)	
Естественные поступления	7,7	Вынос с урожаем	119,1
Внесение с удобрениями	89,6	Денитрификация	13,9
Содержание азота в воде для орошения	41,4		
Всего	138,7	Всего	133,0

Размер выщелачивания азота зависит прежде всего от количества внесенного азота и вынесенного урожаем. Его можно регулировать дозами внесения азотных удобрений.

В США по специальной программе с помощью математического моделирования проведен анализ возможных экономических ситуаций при различных методах ограничения использования удобрений. Оказалось, что норма азотных удобрений до 112 кг/га под кукурузу, сорго и пшеницу в целом по стране не приведет к необходимости увеличивать площади под этими культурами. Расширение площади пашни (на 16%) потребуется при снижении дозы азота до 56 кг/га; это приведет к серьезному экономическому ущербу (Хвощева, 1979).

Во избежание возможного негативного действия удобрений на окружающую среду важную роль играет совершенствование технологии их применения с учетом требований возделываемой культуры и климатических условий. В практике нередки случаи, когда удобрения применяют в значительно больших нормах, чем необходимо для получения планируемого уровня урожаев. В ряде подмосковных хозяйств в течение нескольких лет средняя доза азотных удобрений на 1 га пашни составляла 150 кг/га и более, а общая сумма питательных веществ — 400—500 кг/га. Такие дозы экономически не оправданы, а с точки зрения охраны окружающей среды нежелательны. Высокими нормами удобрений нельзя компенсировать вред, причиняемый нарушением технологии их применения (Ковда и др., 1980).

Внесение повышенных доз ($N_{170}P_{170}K_{170}$ и $N_{340}P_{340}K_{340}$ в расчете на 3 года) в Белорусской ССР вызвало резкое увеличение концентрации почвенного раствора не только в результате поступления элементов с удобрениями, но и из-за усиления подвижности элементов удобреной почвы. Потери питательных веществ резко возрастали с увеличением доз минеральных удобрений: они были также более высокими на почвах легкого гранулометрического состава и при внесении всей нормы минеральных удобрений осенью (табл. 38).

На орошаемом культурном пастбище в пойме р. Москвы в вариантах N_{450} и N_{600} травы не полностью использовали азот удобрений и разница между количеством внесенного азота и выносом его урожаем травостоя за сезон составляла 50—215 кг/га. Общая убыль

38. Вынос элементов питания из почвы
в зависимости от доз удобрений (Юшкевич, 1972)

Вариант опыта	Вынос (в кг/га) из почвы					
	суглинистой			супесчаной		
	NO ₂ -N	K ₂ O	CaO	NO ₃ -N	K ₂ O	CaO
Контроль — без удобрений	4,8	4,0	35,8	8,1	2,7	51,2
N ₁₇₀ P ₁₇₀ K ₁₇₀	12,4	11,6	92,6	24,6	12,6	117
N ₃₄₀ P ₃₄₀ K ₃₄₀ весной	24,0	18,6	150	53,9	27,2	254
N ₃₄₀ P ₃₄₀ K ₃₄₀ осенью	27,8	23,2	180	72,3	29,4	247

Примечание. Фосфора вымывалось 0,1 кг/га.

нитратов из гумусового горизонта (0—30 см) на легко-суглинистой почве в варианте N₄₅₀ составила 48,2%, в варианте N₆₀₀ — 35,2%, а на тяжелосуглинистой почве соответственно 23,3 и 21,8%. Таким образом, применение очень высоких доз азотных удобрений на культурных пастбищах способствовало накоплению значительных количеств минерального азота в виде нитратов, которые в течение осенне-весеннего периода мигрировали по почвенному профилю (Филимонов, Руделев, 1979).

Сравнительное изучение азотного баланса на водосборной территории одного из притоков р. Оки показало, что при пятикратном увеличении доз минеральных удобрений содержание нитратов в грунтовых водах за 10 лет повысилось в 10 раз (Кудеяров, Башкин, 1978). В стационарных опытах, проведенных в Молдавии, при ежегодном внесении N₁₂₀ содержание нитратов в лизиметрических водах возрастало в 1,5—2 раза, а в некоторых случаях — в 14—40 раз (Синкевич, 1978).

В ГДР (Kramer et al., 1977) изучали влияние доз удобрений на загрязнение поверхностных и грунтовых вод на песчаных и суглинистых почвах (табл. 39).

С увеличением дозы удобрений повышалась концентрация азота в инфильтрационной воде преимущественно в нитратной форме. При длительном применении высокие дозы ведут к увеличению запаса в почве легкогидролизуемых органических фракций, и при благоприятных условиях нитрификации концентрация нитратов может превысить ПДК — 50 мг/л. Избыток элементов питания, внесенных в почву с удобрениями, должен рассматриваться как потенциальный источник их вымывания. По вымыванию питательных элементов

39. Влияние дозы удобрений и разновидности почвы на вымывание и вынос азота

Почва	Год	Норма азота (в кг/га)	Вымывание азота		Вынос азота	
			всего (в кг/га)	в том числе удобрений (в %)	всего (в кг/га)	в том числе удобрений (в %)
Песчаная	1973		6,8	20,7	135,0	33,9
	1974	80	39,4	11,9	85,5	22,7
	1973		3,9	0,1	173,0	46,6
	1974	160	82,6	26,0	98,3	51,9
	1973		18,0	55,3	363,0	58,0
	1974	450	135	50,0	262,0	71,4
Суглинистая	1973		18,0	1,4	97,9	38,2
	1974	80	30,7	7,2	88,5	28,3
	1973		1,4	0,4	161,0	49,5
	1974	160	32,2	9,9	129,0	39,2
	1973		8,1	0,1	404,0	67,2
	1974	450	77,1	41,8	318,0	69,5

культуры в этих опытах располагались в следующем порядке: овощи > корнеплоды > зерновые > кормовые травы (табл. 40).

На основании результатов исследований сделан вывод, что в районах, где существует риск вымывания азота, предпочтение следует отдавать севооборотам с чередованием зерновых и кормовых культур. Такие севообороты способствуют пополнению запасов гумуса за счет соломы и растительных остатков, благодаря чему накапливаются легкогидролизуемые органические соединения.

По сводным данным ГДР, вымывание азота в зависимости от культуры и нормы азотного удобрения характеризуется следующими величинами (табл. 41).

Потери фосфора от вымывания составляют обычно около 1 кг/га. На крупнозернистых песчаных почвах при выщелачивании илстой фракции потери фосфора могут достигать 10—15 кг/га.

Много внимания изучению влияния применения минеральных удобрений на окружающую среду уделяется в Чехословакии. Исследованиями установлено, что наибольшее загрязнение водных источников наблюдается при внесении нитратной формы азота, которая не фиксируется почвой и интенсивно вымывается не только из пахотного слоя, но и из всего почвенного профиля. Ин-

40. Вымывание азота из почвы, занятой разными культурами, в зависимости от нормы удобрения

Культура	Норма азота (в кг/га)	Концентрация нитратов (в мг/л)	Вымывание азота (в кг/га)
1972 г.			
Шпинат	630 ¹	288	81
Сельдерей	315 ²	221	82
Ранний картофель	450 ¹	240	77
	225 ²	208	63
Кормовые травы (укоренившиеся)	240	3	1
	120	20	10
1973 г.			
Овес (с подсевом красного клевера)	480 ³	264	61
	340 ³	266	56
Кормовые травы (посев)	345	264	45
	173	267	40
Картофель	140	29	2
	70	17	2
1974 г.			
Клевер луговой	—	178	33
	—	127	28
Кормовые травы (укоренившиеся)	375	74	20
	250	28	7
Сахарная свекла	545 ⁴	225	71
	430 ⁴	206	68

Примечание. Из них: ¹ 270 кг азота в виде стойлового навоза; ² 135 кг в виде стойлового навоза; ³ 380 кг в виде торфа; ⁴ 200 кг в виде стойлового навоза.

41. Размер вымывания азота в зависимости от культуры и нормы азотного удобрения (Шконде, Благовещенская, 1979)

Культура	Норма азота (в кг/га)	Потери азота (в кг/га)	Концентрация азота в дренажной воде (в мг/л)
Луг	175	20	11
Зерновые	64	43	17
Пропашные	128	68	38
Овощные	270	82	51

тенсивность этого процесса зависит от дозы удобрения, физических свойств почвы, количества и интенсивности атмосферных осадков и т. д. Так, за 2 года при внесении азота в дозе 270 кг/га в слое почвы 50—100 см накопи-

лось 8% нитратов, при дозе 720 кг/га — 14%, при дозе 1620 кг/га — 20%. Фосфор терялся в основном в результате поверхностного смыва почвы в количестве до 10 кг/га. Калий вымывался из почвы в минимальных количествах, что не представляло большой опасности с точки зрения загрязнения вод или ухудшения почв. Поэтому на тяжелых почвах, где миграция калия практически исключена, чешские ученые рекомендуют разовое внесение калийных удобрений в запас на 3—4 года.

О том, что нарушение технологии применения удобрений, особенно чрезмерно высокие их дозы, приводит к значительной миграции питательных элементов, в том числе и фосфора, по профилю почвы свидетельствуют также исследования, выполненные в ФРГ (Best, Strauch, 1975). Установлено, что перемещение фосфора, содержащегося в жидком навозе, в более глубокие слои песчаных почв может происходить уже при содержании в пахотном слое 60 мг P_2O_5 на 100 г почвы. За 15 лет из пахотного слоя на глубину 60—90 см переместилось около 1000 кг P_2O_5 /га. Возможность миграции фосфора в более глубокие слои почвы установлена также и на глинистых почвах при содержании фосфора в лактатной вытяжке 100 мг/100 г почвы. Фосфор жидкого навоза быстрее перемещается по профилю почвы, чем фосфор минеральных удобрений (табл. 42).

42. Содержание фосфора в различных слоях почвы при внесении разных доз минеральных удобрений и жидкого навоза (Vetter, Klasink, 1975)

Слой почвы (в см)	Содержание фосфора (в мг P_2O_5 /100 г почвы) при внесении			
	800 кг P_2O_5 /га		1000 кг P_2O_5 /га	
	с минераль- ными удобрениями	с жидким навозом	с минераль- ными удобрениями	с жидким навозом
0—30	12	10	8	14
30—60	4	5	17	17
60—90	1	7	1	12

В ВИУА (Васильев и др., 1981) изучали влияние ежегодного применения возрастающих доз бесподстилочного навоза в травяно-пропашном кормовом севообороте на миграцию нитратов по профилю дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (табл. 43).

43. Влияние ежегодного внесения возрастающих доз бесподстилочного навоза на продуктивность севооборота и накопление нитратов в почве и подстилающей породе

Вариант опыта	Внесено азота за 5 лет (в кг/га)	Урожай всех культур в среднем за 5 лет	Прибавка урожая	Вывос азота (в кг/га)	Использование азота удобрений (в %)	Обнаружено нитратов в слое 0—45 см (в кг/га)	
		в ц зерновых единиц/га				осенью 1977 г.	весной 1978 г.
Контроль — без удобрений	—	168	—	315	—	106	126
Навоз: 1 доза	616	232	64	477	25	Не определяли	
2 дозы	1232	286	118	615	24	266	248
3 »	1848	306	138	667	19	Не определяли	
4 »	2464	307	139	690	15	»	»
5 доз	3080	323	155	760	14	478	449
НРК, эквивалентная двум дозам навоза	1232	340	172	880	46	588	502
Навоз, 1 доза + НРК, эквивалентные одной дозе навоза	1232	327	159	796	39	Не определяли	

Из данных таблицы 43 следует, что внесение неоправданно высоких доз удобрений создает реальную опасность загрязнения грунтовых вод нитратами. Так, на варианте с пятью дозами навоза (N₃₀₈₀) нитраты были обнаружены на глубине 9 м, в то время как на контроле нитратов не было во всем профиле. На удобренных делянках в верховодке нитратного азота содержалось 30—32 мг/л.

За последние годы накоплено немало экспериментальных данных, свидетельствующих о больших потерях питательных элементов в окружающую среду в результате нарушения технологии применения органических удобрений, особенно бесподстилочного навоза. Основным путем предотвращения загрязнения биосферы является научно обоснованная технология использования навоза (дозы, сроки, способы внесения и заделки) в комплексе с другими приемами агротехники. В США (Jongeng, Mutchler, 1976) был проведен опыт по определению потерь питательных элементов из навоза от молочного скота в зависимости от сроков его внесения под кукурузу и люцерну (табл. 44).

44. Потери питательных элементов в стоке талых вод со вспаханной почвы под кукурузой и из-под люцерны

Вариант опыта	Потери (в кг/га)				
	общего N	NH ₄ -N	NO ₃ ⁺ +NO ₂ ⁻ -N	общего P	ортофосфатов
К у к у р у з а					
Контроль — без удобрения	2,5	1,1	3,2	0,2	0,1
Навоз внесен:					
осенью с заашкой	2,1	0,9	2,8	0,6	0,4
на мерзлую почву	4,9	2,0	0,3	1,6	1,0
весной на снег	5,3	1,0	0,1	0,6	0,2
Л ю ц е р н а					
Контроль — без удобрения	1,6	0,6	1,6	Следы	Следы
Навоз внесен:					
осенью	9,1	6,3	0,1	4,1	2,4
весной	22,4	11,3	0,2	4,3	1,3
осенью и весной	31,6	16,7	0,2	6,2	1,3

В стоке с делянок под люцерной терялось до 20% азота и 16% ортофосфорной кислоты, содержащихся в навозе, а в стоке с делянок под кукурузой терялось не более 3% азота и 4% ортофосфатов. Авторы приходят к выводу, что удобрение навозом по мерзлой почве не представляет угрозы загрязнения, если его вносить после вспашки. Правильное применение навоза по мерзлой почве может быть также эффективным средством снижения эрозии почвы и потерь с талой водой весной.

В Великобритании изучали влияние различных доз коровьего навоза, вносимого на пастбище, на состав дренажных вод (табл. 45). Навоз был внесен в марте 1972 г. Состав его: 15,6% сухого вещества, 2,15% N, 1,02% P и 2,03% K. В течение двух месяцев после внесения навоза нитраты в почве не накапливались. В течение лета и осени в профиле почвы азота накапливалось до 250 кг/га. Максимальная концентрация в результате выщелачивания была в слое 40—60 см через 12 месяцев после внесения навоза.

По мере увеличения норм внесенного навоза концентрация нитратов в дренажной воде возрастала. Максимальной она была в первый месяц исследований (декабрь 1972 г.). В дальнейшем разница в концентрации

45. Влияние различных доз навоза на содержание нитратов в дренажной воде (Burford et al., 1975)

Дата	Содержание нитратов (в мг/л) при внесении навоза в дозе (в т/га)					
	0	150	300	450	500	
1972	6 декабря	4	7	10	20	27
	7 »	7	9	15	26	43
	8 »	7	12	14	18	56
	10 »	6	10	12	16	59
	12 »	7	17	23	31	61
1973	23 »	7	8	12	14	14
	24 »	11	4	17	28	16
1974	7 января	12	12	17	11	26
	8 »	11	6	15	22	24
	9 »	6	10	7	16	22
	11 »	10	4	12	18	17
	12 »	8	9	8	10	24
	13 »	6	7	—	20	22

азота между контролем и унавоженными деланками была менее значительной.

В ФРГ установление допустимых норм удобрений в сельском хозяйстве контролируется законодательными органами. Нарушение норм внесения жидкого навоза считается в том случае, если на 1 га сельскохозяйственных угодий приходится более трех единиц удобрения от крупного рогатого скота. При использовании твердого навоза эти нормы увеличиваются на 50%. За единицу органического удобрения принимается его количество от крупного рогатого скота, в котором содержится не больше 80 кг N и 70 кг P₂O₅. Эта единица соответствует примерно выходу навоза от одной коровы, или от трех телят в возрасте до 3 месяцев, или от двух племенных свиноматок с приплодом и т. д. Чтобы не превышать нормы внесения навоза, для переработки его излишков используют специальные установки: сушилки, отстойники, хранилища для жидкого навоза с покрытием фольгой и т. д. (Best, Strauch, 1975).

Важную роль в повышении эффективности удобрений и предотвращении потерь питательных веществ в окружающую среду играют сроки и способы внесения. Не всегда потребность той или иной культуры в питательных веществах можно удовлетворить разовым вне-

сением всей нормы удобрений. Возникает необходимость в дробном внесении туков в оптимальные сроки с учетом требований культуры, погодно-климатических условий, свойств почвы и удобрений.

Для каждой почвенной разновидности в определенных климатических условиях свойственны свои уровни накопления подвижного минерального азота. Например, в Западной Сибири практически отсутствует промывной водный режим почв и вымывание нитратов там несущественно. Многочисленными полевыми опытами установлена одинаковая эффективность как осенних, так и весенних сроков внесения азотных удобрений под зерновые культуры. Это объясняется тем, что в эти периоды нитратные и аммонийные ионы не вымываются за пределы слоя почвы 0—30 см.

Потери нитратов можно регулировать сроками и способами внесения удобрений в сочетании с комплексом приемов противоэрозионной обработки почвы. Нельзя не согласиться с рядом авторов в том, что загрязнение природных вод минеральными соединениями азота при интенсивном применении удобрений не является неизбежным следствием химизации земледелия, а есть результат нарушения научно обоснованных приемов внесения их в почву.

Институт агрохимии и почвоведения АН СССР (Никитишен и др., 1979) в течение ряда лет (1972—1977) в стационарном полевом опыте на серой лесной почве Калужской области изучал действие и последствие азотного удобрения в связи с миграцией нитратов по профилю почвы. Было установлено, что поведение нитратов в профиле почвы при интенсивном внесении азотного удобрения определяется взаимодействием двух противоположно направленных потоков влаги: нисходящего, наиболее выраженного в осенний и ранневесенний периоды, и восходящего, вызываемого промерзанием и эвапотранспирацией. Последние ограничивали вымывание нитратного азота в глубокие горизонты почвы и попадание в грунтовые воды, залегающие на глубине 10—12 м. Многие исследователи отмечают, что накопление нитратов в водоисточниках более вероятно в результате смыва азотного удобрения при слишком ранней азотной подкормке озимых культур и многолетних трав, а также при осеннем поверхностном внесении азота.

Мерами, предотвращающими миграцию элементов во внутрипочвенный слой, являются внесение азотных удобрений весной перед посевом, дробное их применение в период вегетации, введение занятых паров, посев промежуточных культур и т. д. Многочисленными исследованиями с ^{15}N установлено, что значительные газообразные потери азота наблюдаются в том случае, когда поле не занято растениями, а также при поверхностном внесении удобрений.

В лизиметрических опытах О. Ю. Зардалишвили со среднесмытой перегнойно-карбонатной почвой было внесено азота 90 кг/га. Потери его из почвы, не занятой растениями, составили 53%, а занятой кукурузой — 7,2—17,3%. Приближение сроков внесения удобрений к периоду интенсивного потребления азота растениями существенно снижает его потери. На перегнойно-карбонатной почве азот вносили в три приема: N_{10} в рядки, N_{30} в первую подкормку и N_{50} во вторую; на бурой лесной почве: N_{10} в рядки, N_{20} в первую подкормку, N_{30} во вторую. При таком дробном внесении удобрений потери азота на перегнойно-карбонатной почве снизились на 10,1% и составили 7,2%, урожай кукурузы повысился на 9 ц/га. На бурой лесной почве потери азота сократились на 7,7% и составили всего 5,2%, урожай увеличился на 5,1 ц/га.

На сенокосных угодьях непроизводительные потери азота удобрений можно снизить до минимума, а коэффициент использования азота резко повысить при внесении соответствующих доз азота после каждого укоса травостоя.

Исследованиями, выполненными в США, выявлено, что в условиях орошения потери азотных удобрений можно значительно сократить, если их вносить дробно с поливной водой. Коэффициент использования азота при этом увеличивается, а вымывание его уменьшается. В опытах с кукурузой на песчаных почвах в зоне Великих Равнин при внесении азота перед посевом в дозе 168 кг/га урожай зерна при орошении составил всего лишь 30 ц/га. Внесение той же дозы с поливной водой в несколько приемов почти удвоило урожай зерна (56,4 ц/га). При дозе 252 кг/га в тех же вариантах урожай зерна достиг соответственно 74,6 и 79 ц/га, а при дозе 336 кг/га — 81,5 и 80,8 ц/га. В последнем случае разницы в урожае практически не было, что свидетель-

ствуется о том, что такое повышение дозы азота не оправдано вследствие возрастания потерь от его вымывания, особенно при внесении всего количества удобрений в один прием. При внесении удобрений с помощью дождевальной установки вымывание азота при дозе 168 кг/га составляло 0—68 кг/га, при 252 кг/га — 43—47, при 336 кг/га — 104—130 кг/га. При разовом внесении их перед посевом в тех же нормах потери азота были соответственно 16—91 кг/га, 99—137 и 158—194 кг/га (Хвощева, 1979).

Потери азота от вымывания зависят также от формы удобрений. На легких почвах с промывным режимом в условиях достаточного и повышенного увлажнения, а также в районах орошения азотные удобрения целесообразнее применять в аммонийной и амидной формах и приближать сроки их внесения к посеву культур или к фазам наибольшего потребления ими азота.

Исследования баланса азота с помощью ^{15}N , выполненные в Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева (Дехтярева, 1976), показали, что нитратный азот использовался всеми культурами лучше, чем аммоний. Потери азота удобрений и превращение его в органическую форму под всеми культурами наблюдались в основном в первый месяц вегетации (табл. 46).

46. Баланс ^{15}N удобрения (в % от внесенных) в среднем за 2 года

Культура	PK+(NH ₄) ₂ SO ₄			PK+NaNO ₃		
	использовано растениями	осталось в почве	потери	использовано растениями	осталось в почве	потери
Гречиха	64,2	16,1	19,7	70,0	4,6	22,8
Райграс	63,1	15,2	21,6	66,3	6,5	27,2
Просо	60,5	15,4	24,0	74,1	8,5	17,7

По данным норвежских ученых (Brackke, Vjog, 1977), удобрение лесов со значительными интервалами (5—20 лет) и большими разовыми дозами приводит к временной перегрузке ими экосистемы и повышает опасность вымывания питательных веществ. В Швеции при

дозах нитрата аммония 115—175 кг в питьевой воде обнаруживали до 40 мг/л нитратов (при ПДК 50 мг/л). При использовании мочевины вымывание было незначительным, так как она быстро гидролизуется. По данным лизиметрических исследований, при использовании нитратно-аммонийного удобрения в течение трех лет из слоя 0—40 см вымывалось около 90% нитратов, а при использовании аммонийного удобрения — только 17%.

Особое место в комплексе агрономических приемов, направленных на предотвращение потерь удобрений в окружающую среду, является структура посевных площадей, т. е. специализация севооборота, подбор культур с учетом агропроизводственной классификации почв (особенно их гранулометрического состава), дренированности, эрозионной опасности, плодородия и т. д. Нужно стремиться к тому, чтобы поверхность почвы была максимальное время закрыта растительностью. В связи с этим во всех земледельческих зонах важно строго соблюдать соотношение в севообороте пропашных культур и культур сплошного посева, применять посев однолетних и многолетних трав, поукосных и пожнивных культур и т. д.

По данным М. А. Бобрицкой и др. (1965, 1972), при наличии растительного покрова (зерновые и бобовые культуры) потери азота составляли 0—0,48% от внесенной дозы, а без растительного покрова (пар) возрастали до 1,26—9,74%. Отмечается, что существенные потери азотных удобрений возможны лишь на легких песчаных почвах, содержащих менее 20% физической глины (частиц 0,01 мм). Потери азота в результате вымывания в зависимости от форм азотных удобрений зависели от наличия растительного покрова. В почве под культурами различий в потерях азота в зависимости от форм удобрений не наблюдалось, а без растительного покрова нитратные формы азота приводили к значительно большим потерям, чем аммонийные.

В результате четырехлетних наблюдений ВИУА установлено, что величина потерь азота от вымывания зависит от типа культуры и формы удобрения. Она была наибольшей при возделывании льна и внесении селитры, наименьшей — в опыте с травами. Основное количество вымытого азота представлено азотом почвы, доля же азота удобрений составляла 4% от внесенной дозы (Кореньков и др., 1979).

По данным Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии (Юшкевич, 1977), возделывание пропашных культур на торфяно-болотных почвах приводило к значительным потерям питательных веществ (табл. 47).

47. Вымывание питательных веществ из осушенной торфяно-болотной почвы на глубине 0,5 м (Минский тепличный комбинат)

Вариант опыта	Вымывание (в кг/га)					
	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	NO ₃ -N	подвижного гумуса
Многолетние травы:						
без удобрений	49,5	15,9	0,7	2,4	7,4	38,5
по P ₉₀ K ₁₈₀	93,5	26,7	1,1	4,9	6,7	69,7
Полевой севооборот — озимая рожь по P ₉₀ K ₁₈₀	183,0	49,4	5,7	4,9	43,2	131,0
Овощной севооборот — свекла по P ₉₀ K ₁₈₀	561,0	146	2,5	5,2	141	203,0

На торфяно-болотной почве, занятой овощным севооборотом, потери кальция и магния достигали 707 кг/га, полевым — 230, многолетними травами — 120 кг/га. Вымывание водорастворимого гумуса изменялось от 203 кг в овощном севообороте до 70 кг под травами, азота нитратного — от 141 до 7 кг.

О том, что пожнивные культуры существенно снижают потери питательных веществ в результате вымывания, подтверждают многолетние исследования, выполненные в Швейцарии (Jäggle, 1978). Опыты проводили в течение 6 лет на двух почвах: буроземе с плохой водопроницаемостью и известковой бурой почве с нормальной водопроницаемостью. Варианты опыта следующие: 1) основная культура/пар; 2) основная культура/рапс на зеленое удобрение; 3) основная культура/рапс на зеленое удобрение+солома; 4) основная культура/рапс на зеленое удобрение+александрійский клевер; 5) основная культура/александрійский клевер на зеленое удобрение+солома. Чередование культур в севообороте было следующее: овес, яровая пшеница, кукуруза на зерно, яровая пшеница, овес, кукуруза на зерно. Пожнивные культуры высевали после всех сельскохозяйственных культур, за исключением кукурузы на

зерно, после которой до уборки последующей яровой культуры поле оставляли под паром. Потери питательных веществ в результате вымывания показаны в таблице 48.

Потери калия были незначительными, а потери фосфора вовсе не обнаружены. Возделывание пожнивных культур значительно снижало потери нитратного азота. Судя по потерям кальция, известкование эффективно только при равномерном дробном внесении достаточных его доз.

В исследованиях, выполненных в США (1959), показано, что из парующей почвы вымывалось больше питательных элементов, чем из почвы под растениями: азота соответственно 76 и 6 кг/га, серы 52 и 42, калия 77 и 62, магния 65 и 41, кальция 413 и 116 кг/га.

Многолетними исследованиями на Лимбургергофской опытной станции (ФРГ) установлено, что растительный покров, интенсивность развития корневой системы, продолжительность вегетационного периода в сильной степени влияли на потери питательных элементов. Например, из почвы под луговыми травами вымывалось азота менее 10 кг/га, в то время как на виноградниках ежегодные потери этого элемента из-за вымывания составляли 60—80 кг/га. На гумусированной песчаной почве вымывание калия под зерновыми и пропашными культурами составляло 53—58 кг/га, а под садовыми культурами и лугопастбищными угодьями — 47 и 43 кг/га.

На основании анализа экспериментальных данных и передовой практики земледелия можно отметить ряд общих положений, которые следует учитывать при разработке и внедрении эффективной технологии применения удобрений.

Необходимо соблюдать оптимальные нормы внесения удобрений в севообороте и под каждую сельскохозяйственную культуру. Агрохимической наукой разработано несколько способов определения оптимальных норм удобрений, но все они сводятся в основном к балансовым расчетам с учетом планируемой урожайности, эффективного плодородия почвы, предварительной заправки почвы удобрениями, коэффициентов использования питательных элементов из почвы и удобрений, последствия удобрения в севообороте, биологических особенностей культуры и сорта и других показателей.

48. Потери питательных веществ (в кг/га) с инфильтрационной водой (с 1 октября по 21 марта)

Период	Бурозем					Известковая бурая почва				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Всего за 6 лет	202	0,2	0,2	75,8	71,7	282	1,2	2,7	110	81,9
В среднем за первое зимнее полугодие	67,4	0,1	0,1	25,3	23,9	94	0,4	0,9	36,6	27,3
Кальций										
Всего за 6 лет	1629	987	949	1306	1345	1780	982	941	1362	1207
В среднем за первое зимнее полугодие	513	320	316	435	448	593	327	314	454	402
Магний										
Всего за 6 лет	31,3	20,4	18,6	25,6	625,4	66,2	35,9	34,3	51,2	47,4
В среднем за первое зимнее полугодие	10,4	6,8	6,2	8,5	8,5	22,0	12,0	11,4	17,1	15,8

Расчетные нормы удобрений должны быть достаточно проверенными в конкретных условиях путем постановки полевых опытов на местах. Не следует увлекаться внесением завышенных норм удобрений. Как правило, это не оказывает положительного влияния на урожай и качество продукции, но приводит к значительным непроизводительным затратам питательных элементов и потерям их в окружающую среду.

Системы удобрения должны предусматривать оптимальное соотношение питательных элементов с учетом требований культуры, наличия подвижных форм питательных элементов в почве и особенностей климата. Эти соотношения определены Географической сетью опытов и изложены в рекомендациях по эффективному использованию удобрений по зонам страны. На практике довольно часто допускаются нарушения соотношения питательных элементов в применяемых удобрениях. Это приводит к снижению урожая, ухудшению качества продукции, к большим потерям биогенных элементов удобрений и почвы.

Сроки внесения удобрений необходимо увязывать с биологическими особенностями культур, главным образом периодичностью питания, свойствами почвы, климатическими особенностями зоны, а также формами применяемых удобрений. На легких почвах, особенно в районах достаточного увлажнения, предпочтение следует отдавать дробному внесению удобрений в процессе вегетации культуры. Это относится прежде всего к азоту. Внесение азотных удобрений под предпосевную обработку почвы весной и в подкормку растений дает лучшие результаты, чем внесение их осенью под зябь. На более тяжелых почвах, особенно при недостаточном увлажнении, не только фосфорные и калийные, но и азотные удобрения рекомендуется вносить осенью в основном под зяблевую вспашку. Исключением является припосевное (припосадочное) внесение удобрений, которое практически повсеместно дает положительный эффект.

Периодическое внесение фосфорных и часто калийных удобрений (2—3 года в севообороте) допускается на суглинках и других тяжелых почвах. Вносить удобрения лучше под интенсивные культуры севооборота, что повышает окупаемость питательных элементов. На дерново-подзолистых, серых лесных почвах, оподзо-

ленных черноземах и других с повышенной кислотностью для периодического внесения целесообразно использовать фосфоритную муку, преципитат, томасшлак и другие слаборастворимые формы. Хлорсодержащие калийные удобрения нужно вносить с учетом специализации севооборота, так как хлор в повышенных количествах снижает качество продукции культур, чувствительных к хлору.

Осушенные, особенно торфяно-болотные, почвы лучше использовать под культуры сплошного посева или под высокопродуктивные луга. Размещение на этих почвах пропашных культур приводит к усиленной мобилизации естественного плодородия, нерациональному его использованию, а применение чрезмерно высоких доз удобрений — к значительным потерям питательных элементов прежде всего в грунтовые воды. На этих почвах необходимо двойное регулирование влаги (осушительно-оросительная система).

В условиях орошения особенно важно соблюдать научно обоснованные нормы, сроки и формы внесения удобрений. Это позволяет повышать коэффициент использования питательных элементов сельскохозяйственными культурами и снижать их потери со сбрасываемыми коллекторными водами.

При разработке и внедрении систем удобрения в севообороте важно учитывать его специализацию и стремиться к тому, чтобы пашня максимальное время в году была занята культурными растениями. Лишь в засушливых степных районах целесообразно оставление чистых паров. Эффективно применение пожнивных и промежуточных посевов. Это существенно снижает потери питательных элементов в грунтовые воды, смыв их с поверхностными водами, а также газообразные потери азота в атмосферу.

ЗАЩИТА ПОЧВ ОТ ЭРОЗИИ И СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Для сохранения и воспроизводства природных ресурсов в современной земледелии наиболее актуальной проблемой является охрана и правильное использование почв, повышение их плодородия и борьба с потерями питательных элементов почвы и удобрений. В рам-

ках международной программы по охране окружающей среды изучаются биогеохимические циклы важнейших биогенных элементов с целью управления их круговоротом в природе и земледелии (Ковда, 1981).

Нарушение технологии возделывания сельскохозяйственных культур приводит к потерям питательных веществ не только удобрений, но и почв в результате смыва, развития водной и ветровой эрозии. Все это наносит большой ущерб не только земледелию, но и окружающей среде.

Образно характеризуют эрозию почв П. Дювиньо и М. Танг (1963): «Эрозия точит все континенты, распространяясь по Земле как проказа. Каждый год проливные дожди, низвергающиеся на незащищенные почвы, смывают в реки, а оттуда в море миллионы тонн земли, которая утрачивается безвозвратно».

В результате эрозии и стока поверхностных вод теряется наиболее плодородная тонкодисперсная фракция почвы, богатая гумусом и питательными элементами. Эрозия почв является серьезной проблемой современного земледелия практически во всех странах мира. Колоссальный ущерб она наносит сельскому хозяйству США, где эрозии подвергнуто около 40% пашни. Потери от эрозии почв в США в шестидесятых годах оценивались (Wadleigh, 1971) следующими цифрами: смыв мелкозема водоразделов 4 млрд. т/год (в том числе с сельскохозяйственных и лесных массивов 75%). В этих выносах содержалось 0,1% N, 0,15% P₂O₅, 0,5% K₂O; общая потеря питательных веществ достигала 50 млн. т/год. Это количество превышало мировое производство удобрений в шестидесятых годах (Ковда, 1976).

В этой стране накоплен большой опыт по защите почв от эрозии. Вся территория разбита на округа по охране и правильному использованию почв (Soil Conservation districts). Для каждого округа разработана дифференцированная система почвозащитного земледелия, контроль за ее выполнением возложен на специалистов Службы охраны и правильного использования почв (Soil Conservation Service). Полувековая практика деятельности указанной службы и округов вполне себя оправдала. Комитетом по охране среды установлены размеры допустимых потерь почвы при водной эрозии в пределах 2,5—12 т/га. Тем не менее в штате Айова

общие потери почвы в 1974 г. под влиянием эрозии достигали 100—150 т/га, а на крупных склонах — 500 т/га. По мере снижения степени облесенности территории потери почвы от водной и ветровой эрозии увеличиваются. Так, малооблесенные почвы южных штатов в большей степени эродированы (в штате Айова потери почвы в среднем 55—75 т/га). В среднеоблесенных восточных штатах эрозионные потери почвы снижены до 2 т/га.

Исследованиями, выполненными в штате Висконсин, установлено, что в твердом стоке содержалось в 2,7 раза больше азота, в 3,4 раза — подвижного фосфора и в 19 раз больше обменного калия по сравнению с их наличием в оставшейся почве (Шконде, Благовещенская, 1979).

В штате Висконсин загрязнение вод фосфором происходит в основном за счет сточных вод (59%), муниципального стока (10%), стока сельских земель (21%), стока других земель (6%), осадков и грунтовых вод (4%) (Thompson, Troesch, 1978).

Из 146 млн. га пахотных угодий США 21% являются загрязнителями вод твердым стоком, до 34% — пестицидами, 4% — отходами животноводства и до 3% — избытком солей (Kladivko, Nelson, 1979). Эрозия сопровождается значительной потерей гумуса. В опытах, проведенных на суглинистой почве, смыв гумуса составил 1,05—1,25 т/га, причем в твердом стоке его содержалось в 1,5—2 раза больше, чем в оставшейся почве (H. Vargous, V. Kilmer, 1969).

При ветровой эрозии (дефляции) теряется наиболее ценная часть почв — мелкозем. В США дефляцией охвачено 28 млн. га. За последние 30 лет в Великих Равнинах подвергалось дефляции 0,4—6 млн. га земель с потерей почвенной массы до 33 т/га. На легких почвах штата Оклахома дефляция снижала урожай пшеницы на 2,7 ц/га, сорго — на 3,1 ц/га (Kimberlin et al., 1977; Lules, 1977).

Большие беды пыльные бури причиняют земледелию и в нашей стране. Наиболее сильно они развиты на Кубани, в Центрально-Черноземной зоне, Северном Казахстане, на Алтае. Отмечены случаи, когда с пыльными бурями сносился весь пахотный слой почвы и растения погибали. Введенная в нашей стране почвозащитная система земледелия для эрозионноопасных районов

направлена на предотвращение эрозии и получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

В Великобритании ежегодный смыв почвы на склоне крутизной до 5° составляет почти $100 \text{ м}^3/\text{га}$ (Tomlinson, 1971). В Эйфеле (Франция) смыв почвы при крутизне склона 6° равен $120 \text{ м}^3/\text{га}$, а при 13° — $190 \text{ м}^3/\text{га}$.

Исследованиями бельгийских ученых установлено, что за последние 150 лет ежегодный смыв достигал $15 \text{ т}/\text{га}$, что превышает допустимый — $11 \text{ т}/\text{га}$ (Bolline, 1977). Годовой смыв почв на черноземах Болгарии составляет $3,7$ — $4,5 \text{ т}/\text{га}$, в зависимости от крутизны склона.

В Индии из-за эрозии ежегодно теряется 6 млрд. т почвы с площади 91 млн. га, или $66 \text{ т}/\text{га}$; вследствие интенсивной эрозии и дефляции 40 тыс. га полностью выходит из состава сельскохозяйственных угодий (Шконде и Благовещенская, 1979).

В результате водной эрозии из почвы и вносимых удобрений теряется огромное количество питательных элементов. Наибольшая доля потерь приходится на азот; теряются как минеральные его формы, так в составе гумуса и других органических соединений. Ученые США отмечают, что существенным источником потерь азота из почвы является смыв его поверхностными водами, который достигает ежегодно в среднем под лесом $0,8$ — $3,4 \text{ кг}/\text{га}$ в год, на пастбищах — 6 — 8 , под пшеницей — 6 , под хлопчатником — 13 , при чередовании кукуруза — пшеница — 18 , под цитрусовыми культурами — $64 \text{ кг}/\text{га}$.

Внесение удобрений, особенно в повышенных дозах, усиливает потери питательных веществ. Например, в штате Луизиана (США) без внесения удобрений под райграс с поверхностным стоком минерального азота терялось лишь $3 \text{ кг}/\text{га}$, а при внесении азота в дозе 100 — $200 \text{ кг}/\text{га}$ потери его возрастали в 2 — $2,5$ раза (Dunigan, 1977).

Концентрация элементов зависит не только от уровня удобрённости полей, но и от типа и свойств почв, количества выпадающих осадков, количества сточных вод и других факторов. Поэтому трудно определить долю участия сельского хозяйства в загрязнении питательными элементами рек и других природных водных источников.

Например, Davidson и Lloyd (1977) отмечают, что за последние 20 лет среднегодовые количества азота в реках сельскохозяйственных и городских районов Англии увеличились незначительно.

Все это подтверждает, что на загрязнение природных водных источников отдельными химическими элементами, особенно азотом, влияет сложный комплекс факторов, требующий более глубокого и обстоятельного исследования.

Фосфор теряется в основном из-за эрозии и поверхностного смыва. Например, в США на твердый сток приходится 95% общих потерь фосфора. На суглинистой почве под зерновыми культурами смывалось 11 т/га твердой фазы, с которой терялось 22 кг/га валового фосфора (Baggow, Kilmer, 1969). В среднем же по стране ежегодные потери фосфора составляют 6 кг/га в год. В Великобритании теряется 15 кг/га фосфора (Tomlinson, 1971). Это объясняется тем, что там вносится много фосфора и примерно половина валового запаса этого элемента представлена остаточными фосфатами длительно вносимых удобрений.

Потери калия в США от водной эрозии достигают 40—50 млн. т. В Эльзасе (Франция) потери этого элемента в результате смыва составляли на легких почвах 20—70 кг/га, на суглинистых — 10—20, на глинистых — до 10 кг/га. На целинной почве смывалось 22 кг/га, а на старопахотной — 16 (Kradel, 1972). В результате эрозии и смыва почвы теряется много и других макро- и микроэлементов.

В. А. Ковда (1976) считает, что с точки зрения защиты океана, морей, озер, рек от загрязнения взвешенным и растворимым материалом наиболее целесообразным является максимальная «биологизация» поверхности суши, т. е. закрытие ее живым растительным покровом, закрепление почв корнями и дерниной, увеличение синтеза растительной биомассы и содержания гумуса в почвах. Сброс городских и промышленных отходов в водоемы должен быть прекращен. Эти отходы следует использовать в виде специальных компостированных удобрений.

Преградой эрозии могут служить правильно подобранные культуры и противоэрозионные севообороты. Так, в Канаде максимальный смыв почвы под пропашными культурами был 9,1 т/га, под соей — 7,6, под мо-

нокультурой кукурузы — 6,7 т/га. На севооборотной площади ежегодные потери под кукурузой составляли 3,7 т/га, под зерновыми — 3,4, под травами — 2,6, на постоянных пастбищах — 0,4 т/га (Veiet, 1976).

В исследованиях, проведенных в США, при внесении фосфора 56 кг/га на участке крутизной 6° дождевание 63 мм/ч обусловило смыв почвы в черном пару 16 т/га, по дискованной дернине — 2,7 т/га; в смытой почве содержалось соответственно 16,5 и 4,7 кг/га подвижного фосфора (Dunigan, 1977). Максимальные потери калия в этой стране также отмечены на парующих почвах, под пропашными культурами и на полях с нерегулируемым поверхностным стоком. Если на распаханном и незасеянном участке потери калия достигали 1600 кг/га, то под многолетними травами — только 3 кг/га (Barrous, Kilmer, 1963).

В нашей стране интересные исследования проведены Грузинским научно-исследовательским институтом почвоведения, агрохимии и мелиорации (Зардалишвили, 1976). В опытах, где нарушалась агротехника, потери азота вследствие ветровой эрозии достигали 115—120 кг/га. При обычной агротехнике они составляли 75—80 кг/га. При проведении части противоэрозионных мероприятий (глубокая пахота, перекрестный посев, глубокая заделка семян и т. д.) потери азота сокращались до 45—50 кг/га. На участках, занятых посевом многолетних трав, потерь азота практически не наблюдалось.

В этом институте изучали влияние и водной эрозии на потери питательных веществ. Так, на бурой лесной почве потери мелкозема вследствие водной эрозии составляли 50—60 т/га, а в отдельные (с ливнями) годы — 150—200 т/га и более. После проведения противоэрозионных мероприятий (водоотводящие каналы, водозадерживающие канавы и борозды, обработка земли и посев в поперечном направлении и др.) смыв почвы уменьшался до 16—28 т/га. Потери азота без противоэрозионных мероприятий составляли 52 кг, а в отдельные годы — 75—86 кг/га. Там же, где проводились противоэрозионные мероприятия, они составляли всего лишь 7—12 кг/га. Под посевом многолетних трав сток отсутствовал и потерь азота практически не было. На перегнойно-карбонатных почвах без проведения противоэрозионных мероприятий потери азота составляли

32 кг/га, проведение же всего комплекса противоэрозионных мероприятий исключало потери азота.

Проблема эрозии и охраны почв в виноградарстве Швейцарии тесно увязана с системой удобрения и агротехникой этой культуры. На отлогих склонах возделывание виноградной лозы осуществляют на террасах. Для максимального использования солнечной радиации их делают контурными — располагают по горизонталям. Уничтоженные механическим способом сорняки оставляют на поверхности в качестве мульчи и органического удобрения. Основное внесение удобрений способствует сохранению гумуса почвы, ослабляет процесс эрозии, уменьшает потери элементов питания растений. Несмотря на это, при эрозии терялось 2,5—10 мм почвы в год. На легких почвах глубина промоин достигала 50—60 см. На опытных делянках крутизна склона 10—44%, почва в парующем состоянии, покрыта компостом (мульча) и засеяна травой. Контрольная делянка была необработанной и обнаженной (без мульчи и трав).

Во время сильных ливневых дождей в результате эрозии терялось почвы 15—20 т/га. Защищенная же почва теряла мелкозема лишь 0,08—0,15 т/га. Потеря питательных элементов на защищенной почве была также незначительной. При сильном ливне потери почвы и питательных элементов на открытой почве могут составить 50%, на защищенной они не превышают 5%. Установлено также, что на покрытой почве при внесении $N_{70}P_{70}K_{180}$ практически не наблюдалось потерь питательных элементов независимо от крутизны склона. На открытой же почве терялось по 7% калия и фосфора и 6% азота от внесенной нормы. На защищенной почве потери азота снизились в 2 раза, фосфора — в 11 раз, калия — в 10 раз. Для предотвращения водной эрозии в виноградниках Швейцарии рекомендуется покрывать почву торфом, засевать культурой, не конкурирующей с виноградной лозой (ячмень и др.). Эффективно также размещение рядов растений поперек склона, контурное террасирование.

Проблема загрязнения поверхностных вод азотом в результате стока на сельскохозяйственных землях была исследована в ФРГ Геттингенским университетом (Welte, Timmermann, 1979). Содержание нитратного и аммонийного азота в жидком стоке колебалось в значительных размерах. В среднем за 2 года общего азота содер-

жалось 2,60—19,87, нитратного 1,06—18,69, аммонийного 1,18—1,54 мг/л. Сток составил 9,4—14,7% от суммы выпавших осадков. Концентрация азота в дренажной воде была (в мг/л): общего на пашне 6,89, на пастбище 1,51, в том числе нитратного соответственно 6,77 и 1,38, аммонийного 0,12 и 0,13. Из приведенных данных видно, что существенно загрязнял воды нитратный азот.

В засушливый год потери азота с дренажными водами были 2 кг/га, а в дождливый год они достигли 7 кг/га. Средние многолетние потери составили около 6 кг/га. Содержание общего азота в ключевой воде на четырех водоразделах варьировало в пределах 0,98—8,92 мг/л, в том числе нитратного 0,86—8,82, аммонийного 0,05—0,17 мг/л. На участках под растительным покровом в течение вегетационного периода вымывания азота не было. Количество азота, внесенного весной с минеральными удобрениями, обычно полностью использовалось на образование урожая.

Результаты определения величины инфильтрации и вымывания азота за три зимних и три летних периода под посевами культур и под чистым паром, полученные в ФРГ, приведены в таблице 49.

49. Средние величины инфильтрации воды и вымывание азота (в кг/га) при разных дозах азота

Период, месяцы	Делянки под культурами						Делянки под паром					
	Инфильтрация воды (в мм)	без удобрения	N ₀₀	N ₁₅₀	N ₉₀ (компост)	N ₁₈₀ (компост)	Инфильтрация воды (в мм)	без удобрения	N ₀₀	N ₁₅₀	N ₉₀ (компост)	N ₁₈₀ (компост)
Зимний период (ноябрь—апрель)	72	3,9	4,9	7,8	9,3	10,6	145	63	95	100	120	101
Летний период (май—октябрь)	9,5	0,1	0,1	0,2	0,2	0,15	58	27	45	40	50	29
За полный годовой период	81,5	4,0	5,0	8,0	9,5	10,8	203	90	140	140	170	130

Под культурами потери азота при обеих дозах и формах азотных удобрений были небольшими с тенденцией увеличения по вариантам с компостами. Под паром потери азота были значительными (90 кг/га в год) даже без внесения удобрений. Максимальное вымывание азота 130—170 кг/га отмечалось на участках с компостными удобрениями. Опыты показали, что основное количество азота вымывается в зимний период. Это обстоятельство является причиной непопулярности осенне-зимнего внесения азотных удобрений.

Многочисленными исследованиями агрохимиков ФРГ (Welte, 1979) установлено, что в грунтовых и поверхностных водах накапливаются в первую очередь азот и фосфор, а также органические соединения, поступающие из навоза и удобрений. При внесении удобрений потери питательных элементов путем вымывания могут происходить при поверхностном стоке, эрозии и дренажном стоке. Более 90% потерь азота приходится на вымывание нитратов в зимний период. Летом азот теряется лишь из парующей почвы. Мощный растительный покров является лучшей мерой против вымывания нитратов.

Под растительным покровом даже на склонах поверхностный сток не возникает. В зимний период значительная часть вымываемого азота приходится на минерализуемый гумус почвы. Потери азота и загрязнение грунтовых вод бывают более заметными при внесении подстилочного навоза, экскрементов, жидкого навоза, осадка сточных вод, компостов и т. д. Применение соломы в качестве удобрения связывает азот в органическую форму и уменьшает его потери из почвы. Дробное внесение азотных удобрений по фазам развития растений предотвращает потери азота.

Фосфаты чаще всего теряются при эрозии почвы. Потери водорастворимых фосфатов с поверхностным смывом обычно небольшие. При береговой эрозии в воды попадает часть фосфора из окружающего почвенного покрова. Величина вымываемого фосфора на различных участках составляет в среднем 0,2 кг/га. Накопление фосфатов в грунтовых и поверхностных водах зависит от почвенно-климатических условий, структуры посевной площади, характера использования почвы, интенсивности осадков и их распределения. Высокая фиксирующая способность глинистых и суглинистых почв

обуславливает низкое содержание фосфора в почвенных и грунтовых водах.

Органические удобрения (твердые и жидкие) также являются серьезными загрязнителями грунтовых вод. Амины в жидком навозе и осадках сточных вод, а также аммиак, попадая в водоемы и реки, могут вызывать отравление рыб. Существенное загрязнение речных и озерных вод обуславливают нерегулируемые водопой животных.

Все это диктует настоятельную необходимость значительно расширять изучение всех возможных потерь питательных веществ из почвы и разрабатывать эффективные меры, предотвращающие загрязнение окружающей среды.

Причин развития эрозионных процессов много. Основными из них являются: нерегулируемые ливневые осадки и паводковые стоки, вырубка лесов, распашки целинных и залежных земель без учета возможного развития эрозии и пагубных ее последствий, ненормированная пастьба скота, нарушение агротехнических мероприятий (усиленная механическая обработка, монокультура, неправильный подбор культур в севооборотах на склоновых землях, сжигание стерни и т. д.), отсутствие элементарных противоэрозионных мероприятий (залужение склоновых земель, контурная вспашка, посадка приовражных лесополос, приемы задержания талых вод и т. д.). Там, где применяются прогрессивные агротехнические и противоэрозионные мероприятия, ущерб земледелию от эрозии значительно снижается.

В комплекс мероприятий по борьбе с эрозией и потерями питательных веществ из почвы включаются следующие приемы:

система противоэрозионной обработки почвы — безотвальная плоскорезная, минимальная, полосная, контурная, гребнистая, ячеистая, чизелевание почвы и т. д.;

внедрение террасного, полосного земледелия и противоэрозионных севооборотов;

содержание эродированных почв под растительностью. В связи с этим большое значение имеет использование пожнивных посевов, а также уплотненные посевы почвозащитных культур в междурядьях, основных (пропашных) культур. Этот прием особенно эффективен на легких почвах;

залужение участков, сильно подверженных эрозии;

правильный выбор форм, доз, сроков и способов внесения и заделки удобрений, предотвращающих потери питательных веществ при смыве и выщелачивании из почвы;

применение полимеров-структурообразователей.

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ И КАЧЕСТВА УДОБРЕНИЙ

Несовершенство химических, физических и механических свойств минеральных удобрений может явиться причиной негативного влияния их на окружающую среду. Использование удобрений без учета их свойств может привести к значительным непроизводительным потерям питательных элементов. Например, поверхностное внесение мочевины на лугах и пастбищах, а в ряде случаев и на посевах озимых зерновых культур часто приводит к существенной потере азота. Это происходит вследствие того, что под действием фермента уреазы, выделяемого уробактериями, мочевина быстро аммонифицируется и превращается в углекислый аммоний: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Это соединение непрочное и на воздухе быстро разлагается с образованием бикарбоната аммония и газообразного аммиака: $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 = \text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{NH}_3$.

При благоприятных условиях на богатых гумусом почвах процесс превращения мочевины в углекислый аммоний происходит в течение 2—3 дней. На нейтральных и щелочных почвах без осадков потери азота в виде аммиака возрастают. Заделка же мочевины в почву (под вспашку, предпосевную культивацию, в рядки при посеве и т. д.) весьма эффективна. В этом случае по эффективности она не уступает другим формам азотных удобрений. Для поздних же подкормок пшеницы с целью улучшения качества зерна — это лучшая форма азотного удобрения.

В исследованиях, проведенных в Болгарии, улетучивание аммиака отмечалось только при поверхностном внесении мочевины. Оно возрастало на легких и высококарбонатных почвах с увеличением дозы мочевины. Решающим фактором, определяющим величину потерь азота мочевины, является температура. При 0—4 °С потерь практически не было, при 7—8 °С — незначительные, а при более высоких температурах существен-

но возрастали. Среднее соотношение потерь при 7—8, 20 и 30 °С составляло соответственно 1 : 7, 2 : 14,4. Существенное влияние на величину потерь оказывало содержание влаги в почве. Максимальные потери были при низкой влажности почвы. С повышением влажности от 30—40 до 80% ПВ потери снижались. На низкокарбонатных почвах самые большие потери наблюдались при внесении мочевины, на высококарбонатных — сульфата аммония. Смешивание мочевины с почвой или покрытие ее слоем почвы 5—6 см значительно снижало потери азота мочевины (Иванов, 1979).

Заслуживают внимания результаты исследований потерь аммиака из азотных удобрений путем улетучивания, выполненных в Индии (Basdeo, V. R. Jaugwar, 1976). Опыты проводились по комплексной программе, в которой изучали потери аммиака в зависимости от вида азотного удобрения, разновидности почвы, рН, влажности, температуры, доз и способа заделки удобрений. Почва для исследований была взята нейтральная, аллювиальная, суглинистая. Исследования показали, что с увеличением дозы азотного удобрения, температуры и рН почвы потери аммония возрастали, с глубиной заделки удобрений в почву уменьшались. Потери аммиака из удобрений были более высокими на легких почвах и на почвах с высоким увлажнением. Из всех видов азотных удобрений максимальные потери азота (35,5 кг/га) отмечались по мочеvine (табл. 50).

Исследования показали, что при правильном использовании аммонийных удобрений (разбрасывание осенью или рано весной, заделка в почву сразу после разбрасывания на поверхности, соответствующая рН почвы, и другие меры) потери аммиачного азота могут отсутствовать. В то же время отмечены значительные потери сульфата аммония на тропических щелочных почвах, когда температура почвы достигает 30 °С и влажность способствует улетучиванию аммиака с парами воды.

Во избежание значительных потерь азота рекомендуется инъекция в почву безводного аммиака на глубину 10—15 см. Хлористый аммоний целесообразнее вносить осенью или очень рано весной.

Исследованиями ВИУА в почве отмечена усиленная денитрификация, в результате чего газообразные потери азота составляли в среднем 24% от внесенной дозы этого элемента (Кореньков, Борисова, 1980). На кислых

50. Влияние различных факторов на потери аммиака из азотных удобрений (Basdeo, Jaugwar, 1976)

Показатель	Вариант опыта	Потери через 16 дней инкубации (в %)	Общие потери (в кг/га)	
Дозы азота (в кг/га)	100	4,6	4,6	
	200	6,3	12,6	
	400	10,7	42,8	
Глубина заделки (в см)	Поверхностно	11,0	44,1	
	2,5	3,0	14,6	
	5,0	0,1	0,3	
Влажность почвы	Воздушно-сухая	0,13	0,6	
	50% ПВ	3,6	14,2	
	Погруженная в воду	7,8	31,2	
рН почвы	7,4	7,1	28,5	
	8,4	11,8	45,0	
	9,4	17,6	70,6	
Гранулометрический состав почвы	Легкий суглинок	10,5	42,2	
	Суглинок	15,7	62,7	
	Тяжелый суглинок	2,7	10,8	
Форма удобрения	Мочевина	8,9	35,5	
	Сульфат аммония	2,8	11,3	
	Нитрат аммония	1,1	4,6	
Температура (в °С)	Максимальная	Минимальная		
	21,0	8,5	9,2	36,6
	33,6	16,8	14,4	51,5
	42,2	28,2	20,6	82,5

почвах не следует вносить физиологически кислые аммонийные удобрения. При внесении аммонийных удобрений или навозной жижи в конце апреля — начале мая в норме 50—100 кг/га аммоний практически без потерь нитрифицируется до июня.

Использование весьма подвижной нитратной формы азота при орошении или достаточном естественном увлажнении, особенно на легких почвах, приводит к большим потерям азота, к непроизводительной трате удобрений и значительному снижению их эффективности. Это происходит вследствие того, что ион NO_3^- , имеющий отрицательный заряд, не адсорбируется поглощающим комплексом почвы, а мигрирует по профилю почвы вместе с движением воды.

Здесь уместно привести результаты исследований, выполненных И. С. Шатиловым и др. (1977). При изучении баланса азота в севообороте на дерново-подзолистой почве установлено, что на почвах низкого плодородия с поверхностным стоком в среднем за 6 лет выносился 1 кг азота, на почвах, хорошо окультуренных, — 4 кг/га. Вынос легкоподвижных соединений азота (преимущественно нитратов) за пределы корнеобитаемого слоя определяется количеством инфильтрационной воды и содержанием подвижных соединений, особенно в пахотном слое.

В годы с небольшим количеством осадков в севообороте без удобрений вынос азота за пределы корнеобитаемого слоя составлял 6,7 кг, а на фоне удобрений — 15,3 кг/га. В летне-осенний период через метровый профиль просочилось воды 1800—2300 м³/га. С этим количеством воды было вынесено азота (в основном в нитратной форме) из хорошо удобренной почвы 64 кг/га, а из почвы низкого плодородия (без удобрений) — 16,7 кг/га. В среднем за ротацию севооборота потери азота с инфильтрационными водами на удобренных фонах составили 20 кг, а без удобрения — 2 кг/га в год.

Нитратные удобрения вследствие подвижности наиболее эффективны при весенних подкормках озимых, особенно если выпало недостаточно весенне-летних осадков, а также при предпосевном внесении под многие яровые культуры, при подкормке пропашных культур и т. д. Эта форма азота лучше, чем аммонийная, усваивается растениями также на кислых дерново-подзолистых почвах.

Поэтому, если годовую норму фосфорных и калийных удобрений вносят один раз под основную обработку (наиболее эффективный прием для большинства земледельческих зон страны), то к применению азотных удобрений следует подходить дифференцированно. Важно подбирать лучшие формы азотных удобрений (аммонийные, нитратные, амидные), применять их дробно, особенно в районах достаточного увлажнения и при орошении, а также в наиболее рациональные сроки с учетом свойств и плодородия почвы, биологических особенностей культур и сортов.

Следует иметь в виду, что все формы азота в естественных условиях в течение определенного времени переходят в наиболее подвижную нитратную форму. В на-

стоящее время для торможения процесса нитрификации широко исследуют и испытывают в производстве различные ингибиторы, позволяющие повысить коэффициент использования азота удобрений и существенно снизить потери его в окружающую среду.

Среди ингибиторов нитрификации наиболее распространены американский препарат нитрапирин (N — Serve) и японский АМ, которые задерживают нитрификацию аммонийных ионов как почвы, так и внесенных удобрений. Американскими исследователями установлено положительное влияние нитрапирина на превращение азота в почве и эффективность азотных удобрений, снижение потерь благодаря денитрификации и вымыванию нитратов, улучшению азотного питания культур, повышению их урожая и качества продукции. Средняя прибавка урожая кукурузы от применения нитрапирина, по данным 239 опытов, проведенных в разных штатах, составила 3,9 ц/га, а на Среднем Западе — 5,4 ц/га. По данным многочисленных опытов, урожай хлопка-волокна возрос на 1,05 ц/га, а пшеницы — на 3,5—4 ц/га (Джеронимо, 1980).

Результаты 222 полевых опытов по испытанию нитрапирина на 26 культурах в разных зонах СССР показали, что при средних дозах азота препарат наиболее эффективен был на хлопчатнике и рисе. Средняя прибавка урожая хлопка-сырца в 27 опытах составила 3,2 ц/га, риса в 19 опытах — 6 ц/га. Получены достоверные прибавки урожая картофеля (34 ц/га), озимой пшеницы (4,7 ц/га). При высоких дозах азота эффект от применения ингибитора резко снижался или вовсе отсутствовал (Смирнов, 1980).

Новый американский ингибитор нитрификации Extend имеет значительные преимущества перед препаратом N — Serve. На 1 доллар расходов на препарат получают 5 долларов чистого дохода. Ингибитор Extend состоит из спирта и алифатического растворителя (43,2%), инертных компонентов (56,8%). Норма препарата на 1 т сульфата аммония — 1,5 л, мочевины — 3, безводного аммиака — 6 л. Препарат можно добавлять как к твердым, так и к жидким удобрениям. В производственных условиях 1 л препарата рекомендуется добавлять на каждые 150 кг азота. По данным 140 полевых опытов, проведенных в 14 штатах, средняя прибавка урожая составляла 10% при повышении ко-

эфициента использования азота внесенных удобрений. По многочисленным отечественным и зарубежным данным, ингибиторы повышают коэффициент использования азота из удобрений на 10—15%, а в ряде случаев и более. Потери же азота из удобрений снижаются в 1,5—2 раза.

По данным П. М. Смирнова и др. (1979), ингибиторы нитрификации АМП (аминометилпиримидин) и нитрапирин, внесенные с сульфатом аммония, подавляли нитрификацию аммонийного азота удобрений и почвы. В результате использование растениями картофеля азота сульфата аммония при внесении его с ингибитором АМП увеличилось по сравнению с внесением сульфата аммония с 29,8 до 33,9%, а в варианте с нитрапиринном — с 29,8 до 39,9%. Непроизводительные потери азота удобрений из почвы снизились при использовании АМП в 1,3 раза, нитрапирина — в 2,8 раза. Применение ингибиторов нитрификации приводило к большему закреплению азота в органической форме. Урожай картофеля в результате лучшего азотного питания растений от АМП увеличился на 15%, от нитрапирина — на 38—37%.

Следовательно, применение ингибиторов нитрификации в ряде случаев позволяет существенно повысить эффективность азотных удобрений и заметно снизить потери азота в окружающую среду.

Опыты Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева по изучению эффективности ингибиторов 2-амино-4-хлор-метилпиримидина (АМ), смеси хлорпиридинов (СП) и сульфата аммония, меченого ^{15}N , дали следующие результаты. Внесение в почву ингибиторов вместе с азотными удобрениями снижало содержание нитратного азота в почве под растениями в первые 20 дней. Ингибиторы не оказали существенного влияния на использование азота удобрений растениями, но увеличилось закрепление азота в органической форме и его потери снизились в 2—2,5 раза (Базилевич, Дегтярева, 1976).

Представляют интерес данные Северо-Западного НИИ молочного и лугопастбищного хозяйства (Суков, 1979) по балансу азота, полученные в опыте с использованием под яровую пшеницу ^{15}N в форме сернокислого аммония и ингибитора 2-хлор-6(трихлорметил)пиридина в количестве 1% от внесенного азота (табл. 51).

51. Баланс азота удобрения (в среднем за два года)

Показатель	Баланс азота (в %) при внесении удобрений			
	в начале сентября	в конце сентября	в октябре	перед посевом
Без ингибитора				
Использование азота растениями	12,9	15,1	18,3	49,9
Осталось азота в слое почвы (в см):				
0—25	34,0	36,5	37,1	35,4
25—45	5,8	5,3	3,3	—
45—65	3,9	3,5	2,5	—
65—85	2,9	1,8	1,3	—
85—105	1,3	0,9	0,9	—
Не учтено	39,2	36,9	36,6	14,7
С ингибитором				
Использовано азота растениями	30,0	34,2	39,6	55,0
Осталось азота в слое почвы (в см):				
0—25	39,8	39,8	40,1	38,3
25—45	5,0	3,7	2,9	—
45—65	2,3	1,3	1,0	—
Не учтено	22,9	21,0	16,4	6,7

Как и в предыдущих опытах, ингибитор нитрификации способствовал значительному увеличению выноса азота растениями, повышению усвоения ими азота почвы, уменьшению вымывания его в нижележащие слои профиля. Ингибитор почти в 2 раза снижал потери азота удобрения в газообразной форме и несколько увеличил его закрепление в пахотном слое почвы в органической форме.

На серо-коричневой почве Грузии в условиях орошения добавление ингибитора нитрипирина к сернокислому аммонии в количестве 1% от содержания азота в удобрении положительно сказывалось на эффективности этого удобрения. При внесении N_{60-90} с ингибитором получен такой же урожай кукурузы и свеклы, как и при внесении N_{90-120} без ингибитора. Применение ингибитора позволяло сократить дозу азотных удобрений на 25—30 кг/га. Благодаря применению ингибитора с разными дозами сернокислого аммония прибавки урожая зерна кукурузы составляли 1,8—3,6 ц/га, кормовой свеклы — 19—42 ц/га (Тетруашвили и др., 1980).

По данным, полученным в США, внесение нитрипирина в количестве 0,56—0,67 кг/га вместе с сульфатом и нитратом аммония повысило урожай озимой пшеницы на 37—42% по сравнению с контролем, азот не вымывался глубже 30 см. Под влиянием этого препарата 86—93% азота, внесенного осенью, сохранилось к весне на глубине не ниже 60 см.

Японский ингибитор АМ в опытах по эффективности был равноценен нитрипирину или несколько уступал ему. При внесении сульфата аммония без ингибиторов потери азота составляли 48 кг/га, а при добавлении нитрипирина и АМ соответственно 10 и 9. Коэффициент использования азота растениями благодаря ингибитору возрос на 15 и 10% (Шконде и Благовещенская, 1979).

Резюмируя все изложенное по проблеме азота, можно сказать, что влияние его на окружающую среду может иметь место вследствие неправильного подбора форм удобрений в каждом конкретном случае, завышения научно обоснованных норм азота, несоблюдения правильных сроков и способов их применения и т. д.

По балансовым расчетам, на основании данных длительных опытов с удобрениями за счет улетучивания теряется 5—15% азота от дозы удобрения, внесенного в нормальную по увлажнению почву. В переувлажненных почвах потери азота увеличиваются в результате денитрификации. Общие же потери при вымывании и улетучивании достигают 50%, столько же азота используют растения. Коэффициент использования внесенного азота кукурузой и пшеницей может достигать 70—80% при оптимальных дозах, правильных сроках и способах внесения удобрений (Bortholowen, 1972).

К несовершенству химических свойств удобрений можно отнести наличие в них так называемых балластных элементов (фтор, хлор, натрий и др.). При систематическом внесении повышенных доз удобрений балластные элементы могут накапливаться в почве в значительных количествах и отрицательно влиять на ее свойства и плодородие, на величину урожая и его качество, а мигрируя в грунтовые воды, — повышать в них концентрацию солей.

Например, фосфатное сырье (апатитовый концентрат, фосфориты Каратау, Кингисеппа и других месторождений) содержит такие сопутствующие элементы, как фтор, стронций, редкоземельные и радиоактивные

элементы. Апатитовый концентрат содержит около 3% фтора, а фосфатные концентраты из фосфоритов Каратау — 2,8% (табл. 52).

52. Содержание фосфора и фтора в некоторых фосфоритах СССР (Зайцев, Родин, 1979)

Фосфориты	Содержание фосфора (в %)	Содержание фтора фосфора (в кг/т)
Актюбинский мытый (Новоукраинский участок)	8,3	300
Флотационный (Богдановский участок)	11,0	277
Апатитовый концентрат (Хибинский)	15,7	190
Вятский:		
мытый	10,5	230
флотационный	12,2	219
Егорьевский:		
мытый	9,7	238
флотационный	12,4	277
Каратауский обогащенный	12,5	216
Кингисеппский концентрат	15,6	150
Полпинский флотационный концентрат	13,2	255
Щигровский концентрат	12,9	196

Практически 50—80% фтора, поступающего с фосфатным сырьем, остается в удобрениях. Следовательно, в среднем с каждой тонной необходимого растениям фосфора на поля поступает около 160 кг фтора.

В. И. Заварзин и др. (1978) отмечают, что одновременно с фосфатами в почву могут поступать вредные примеси. Так, значительное количество урана поступает в почву при ее фосфоритовании. При внесении на 1 га пашни до 2 т фосфоритной муки в почву поступает 70 г урана и $32 \cdot 10^{-6}$ кюри радия.

Вместе с калийными удобрениями (обычно 45—60 кг/га) в почву вносится хлор (30—35 кг/га), значительная часть которого поступает в водоемы, загрязняя их.

Практически все фосфорные руды содержат значительное количество фтора. В природных фосфатах часто содержатся соединения стронция, редкоземельных и радиоактивных элементов. Согласно М. Е. Позину (1970), на 1 т P_2O_5 в некоторых фосфорных рудах приходится 80—100 кг фтора, 30—40 кг стронция, 20—25 кг окислов

редкоземельных элементов. Мировые запасы фтора в фосфорных рудах оцениваются в 0,9—1,3 млрд. т.

При существующих кислотных способах переработки природного фосфатного сырья основная часть соединений фтора, а также весь стронций остаются в удобрениях. При производстве суперфосфата утилизируется 20—50% соединений фтора, при производстве комплексных удобрений — гораздо меньше. Вследствие низкой степени извлечения содержание фтора в суперфосфате достигает 1—1,5%, в аммофосе — 3—5%. В отличие от природных фосфорных руд, где фтор находится в виде нерастворимого апатита или фтористого кальция, в удобрениях содержатся растворимые соединения фтора. При увеличении производства комплексных удобрений потери фтора будут возрастать из-за более низкой степени его утилизации. В настоящее время разработана технология получения обесфторенных фосфатов на удобрение и на корм скоту.

Нетрудно подсчитать, что при существующей технологии и масштабах производства фосфорных и комплексных удобрений на планете (30 млн. т P_2O_5 в год) с ними рассеивается 2—3 млн. т фтора. Растворимые и летучие соединения фтора рассеиваются также на месте производства фосфорных и комплексных удобрений. Потери фтора в процессе переработки природных фосфатов на удобрения и соли варьируют от 3 до 25%, а иногда и больше. Рассеивание фтора вокруг предприятий создает эндемические зоны флюороза вследствие повышенного его содержания в водах, почвах, растениях, пище, кормах (Гладушко, 1979).

Здесь уместно привести результаты исследований, выполненных в Индии. Растения в районе алюминиевого завода имели ярко выраженные симптомы повреждения фторидами. В связи с этим были отобраны образцы почвы на глубине до 10 см от поверхности из 8 мест, расположенных на расстоянии 0,5—16 км от завода. В этих же местах были взяты для анализа образцы опада растений. В почве определили содержание фтора и органического вещества, в растительных остатках — содержание фтора (Rao, Pal, 1978).

Исследования показали, что концентрация фторидов в образцах почвы и опада, взятых вблизи завода, значительно выше, чем в образцах из мест, удаленных от завода. Содержание органического вещества в образцах

почвы на расстоянии до 3,5 км от источника эмиссии фторидов было намного выше, чем в контрольном образце почвы. Даже на расстоянии 10—16 км от алюминиевого завода содержание фтора в почве было значительно выше, чем на контроле (табл. 53).

53. Содержание фтора в почве и растительном опаде и органического вещества в почве на разном расстоянии от алюминиевого завода

Расстояние взятия образцов от завода (в км)	Содержание фтора (в мг/кг)		Содержание органического вещества в почве (в % сухой массы)	Расстояние взятия образцов от завода (в км)	Содержание фтора (в мг/кг)		Содержание органического вещества в почве (в % сухой массы)
	в почве	в опаде			в почве	в опаде	
0,5	1803	619	3,90	7,0	623	30	1,68
1,0	1678	602	3,63	10,5	556	36	1,72
2,0	1301	410	2,43	16,0	468	21	1,80
3,5	1080	176	2,67	Контроль	380	5	1,71
5,0	864	73	1,85				

Содержание органического вещества в почве и в растительных остатках положительно коррелировало с содержанием фторидов в поверхностных слоях почвы и в опаде. Высокая концентрация органического вещества в верхнем слое почвы вблизи завода свидетельствует о торможении процессов его разложения, вследствие того, что фториды в повышенной концентрации подавляют активность почвенных микроорганизмов.

Растения, выращиваемые вблизи источников загрязнения фтором, поглощают его в повышенном количестве, что приводит к накоплению этого элемента в продуктах питания и в кормах. Так, исследования В. А. Морозова и Д. Г. Кодем (1953) показали, что содержание фтора в пшенице, картофеле, рисе не превышает 0,5—1 мг/кг сухой массы. При увеличении доз фосфорных и комплексных удобрений, а также при выращивании культур вблизи источников рассеивания фтористых соединений содержание фтора в них возрастало в несколько раз (до 2—10 мг/кг).

О интенсивном накоплении в почве фтора при длительном применении минеральных удобрений свидетельствуют многочисленные данные стационарных опытов.

Так, на мощном черноземе Мироновского НИИ селекции и семеноводства пшеницы в опыте с бессменной кукурузой, где за время проведения опыта (1929—1974 гг.) было внесено P_2O_5 2320 кг/га, общее содержание фтора в почве возросло на 22—28%. Это же отмечается и другими стационарами — Сумской, Рамонской, Льговской, Эрастовской, Жеребковской опытными станциями. Длительное внесение суперфосфата, который обычно содержит 1,5% фтора, приводит к быстрому накоплению в почве этого вещества, доступного растениям. Увеличение его содержания на Рамонской опытной станции составило 90% по сравнению с контролем.

В свеклосеющих хозяйствах степных районов УССР под сахарную свеклу вносят на 1 га около 150 кг фосфора, или 8,3 ц суперфосфата. Одновременно с таким количеством суперфосфата вносится 11 кг фтора (Кудзин, Пашова, 1978). Повышенное содержание фтора в почве не может не сказываться на потреблении его сельскохозяйственными растениями (табл. 54).

Растения кукурузы на варианте с полным минеральным удобрением потребляли примерно в 1,5 раза больше фтора по сравнению с контролем. Авторы предполагают, что повышенное содержание фтора в листьях является одним из факторов угнетения растений кукурузы. В нормальных условиях фтора содержится (в мг/кг): в зерне 0,2—7,1, в соломе 2—7, в картофеле 0,2—0,9, в свекле 0,2—0,6, в сене 0,2—2,3.

54. Содержание фтора в кукурузе и сахарной свекле при систематическом применении удобрений

Вариант опыта	Кукуруза (опытное хозяйство ВНИИК, 1975—1976 гг.)					вынос (в г/га)
	в мг/кг		в мг/100 растений			
	листочечная масса	зерно	листочечная масса	зерно	всего	
Контроль без удобрений	10,8	13,0	130	177	307	77
P	13,2	14,5	199	219	418	105
NK	11,4	13,4	154	178	332	83
NPК	13,3	15,4	220	230	451	113

Вариант опыта	Сахарная свекла (Мироновский НИИССП, 1970–1974 гг.)					вынос (в г/га)
	в мг/кг		в мг/100 растений			
	листья	корнеплоды	листья	корнеплоды	всего	
Контроль без удобрений	9,1	4,3	18,7	8,6	27,3	27,3
P	14,3	4,3	48,7	10,7	59,4	59,4
NK	6,4	3,6	28,2	9,9	38,1	38,1
NPК	11,5	5,1	32,3	23,6	55,6	55,9

Во Франции, где в течение длительного времени применяются высокие дозы минеральных удобрений, содержание фтора в пшенице составляет 10 мг/кг сухого вещества, в США интенсивно удобряемая кукуруза содержит фтора 8 мг/кг сухого вещества (Зайцев, Родин, 1979).

Физиологическая роль фтора в растениях еще слабо изучена. Он оказывает ингибирующее действие на ряд ферментов (анолазу, фосфоглукомутазу, фосфатазу) и отрицательное влияние на фотосинтез и биосинтез белка. Все это приводит к нарушению биохимических процессов в растениях, к их угнетению.

Техногенное загрязнение почвы фтором может существенно ухудшить свойства и плодородие почвы, ингибировать ее биологическую активность. В результате негативного воздействия на почву высоких концентраций фтора в ней изменяется направленность биологических процессов, что несомненно отрицательно сказывается на продуктивности сельскохозяйственных растений.

Повышенное содержание фтора снижает продуктивность животных, угнетает их развитие, приводит к отравлению. Содержание фтора в дневном рационе животных и птиц не должно превышать: для кур 150 мг/кг, индеек 100, лошадей 90, свиней 70, овец 50 и коров 30 мг/кг. При содержании в воде фтора больше 2 мг/л у человека разрушается эмаль зубов, а при 8 мг/л может быть остеосклероз или флюороз скелета (Гладуш-

ко, 1979). Имеются сведения, что повышенное поступление фтора в растения нарушает обмен веществ, ферментативную активность, отрицательно влияет на развитие плодов и т. д.

В связи с интенсивной химизацией земледелия возникает настоятельная необходимость существенного улучшения физических и химических свойств удобрений, особенно азотных, так как прежде всего именно азот в значительных количествах теряется в окружающую среду. Во многих странах мира большое внимание уделяется изучению и применению длительно действующих азотных удобрений. Отечественные и зарубежные исследования показывают, что использование этих удобрений существенно снижает потери азота в окружающую среду и значительно повышает коэффициент использования его растениями.

Вопрос о производстве и применении длительнодействующих азотных удобрений не нашел однозначного решения. В Англии такие удобрения считаются неперспективными, поскольку при их внесении на практике нельзя регулировать азотный режим и питание растений (Cooke, 1976).

В исследованиях агрохимиков ФРГ установлено преимущество длительно действующих азотных удобрений в полевых и вегетационных опытах. Они позволяют уменьшить кратность внесения удобрений, снизить потери азота и предотвратить загрязнение окружающей среды нитратами и нитритами. Особенно эффективны эти удобрения на овощных культурах с более высоким коэффициентом использования азота. Однако ограничивающим фактором широкого производства и применения длительно действующих азотных удобрений является их дороговизна и невозможность регулирования освобождения азота во времени применительно к фазам развития растений (Jurgens-Gschwind, 1979).

Существенным в уменьшении потерь азотных удобрений и увеличении коэффициента их использования является широкое применение жидких азотных и комплексных удобрений. В некоторых странах разработана технология получения и применения азотных удобрений с контролируемым освобождением азота.

Применение комплекса прогрессивной агротехники, направленной на содержание почвы в хорошем структурном состоянии, поддержание в ней оптимального вод-

ного и воздушного режимов, а также правильное чередование культур в севообороте способствуют значительному снижению потерь азота из-за денитрификации (Панников, Минеев, 1977).

В последнее время большое внимание уделяется капсулированию, покрытию удобрений синтетическими пленками (смолы, полиэтилен, парафин), а также элементарной серой. Это способствует медленному высвобождению элементов питания из водорастворимых удобрений, длящемуся несколько месяцев. Вследствие этого растения полнее используют питательные вещества удобрений, что в значительной мере снижает их потери. В опытах, проведенных в США, при внесении некапсулированного удобрения терялось 86% калия, удобрения с винилацетатной оболочкой — 30%, а с оболочкой из парафина — только 5,4% (Lawton, 1961). В ЧССР коэффициент использования азота, фосфора и калия кукурузой без капсулирования удобрения был равен соответственно 39, 10 и 30%, а при покрытии его полиэтиленовой оболочкой соответственно 47, 19 и 50% (Simova, 1967).

Важное значение при производстве удобрений приобретает повышение в них концентрации питательных веществ и освобождение от балластных элементов. Обесфторенные фосфаты в большинстве случаев не уступают по эффективности суперфосфату. В то же время при повышении концентрации в удобрениях снижается содержание биогенных элементов (сера, микроэлементы и т. д.). Это важно учитывать и дополнять концентрированные удобрения необходимыми элементами питания растений.

Неудовлетворительные в ряде случаев физические и механические свойства удобрений приводят к их гигроскопичности и слеживаемости, в результате чего требуются дополнительные затраты на подготовку их к внесению. Это обстоятельство, а также невыравненный гранулометрический состав и сегрегация не позволяют готовить высококачественные смеси удобрений. Некачественные смеси неравномерно распределяются по поверхности поля, коэффициент продуктивного использования их и эффективность снижаются, они непроизводительно расходуются, а часть их теряется. Поэтому улучшение окружающей среды, предотвращение потерь удобрений неразрывно связаны с совершенствованием тех-

нологии производства и внесения удобрений, а также машин по их применению.

В этой связи хочется обратить внимание на следующее обстоятельство. В последние годы довольно часто предлагается использовать на удобрение различные отходы, побочные продукты производства на основании того, что в них содержится некоторое количество питательных веществ для растений. К таким предложениям нужно относиться очень осторожно. Особое внимание необходимо обращать на содержание в них тяжелых металлов, небιοгенных элементов, токсических соединений и т. д. Следует учитывать возможное их накопление в почве и растениях при систематическом применении высоких доз промышленных отходов.

Можно привести такой пример. Пиритные огарки содержат главным образом железо (40—63%), а также небольшое количество серы (1—2%), меди (0,33—0,47%), цинка (0,42—1,35%), свинца (0,32—0,58%) и других металлов; в свежих отвалах пиритных огарков содержится до 0,15% мышьяка. Известно исключительно вредное и неуправляемое воздействие этих отходов на окружающую среду. Под воздействием атмосферных осадков из них выщелачиваются многие токсические вещества, которые загрязняют почву и водоемы (Кузнецов, Родионов, Клушин, 1979). Использование высоких доз (5—6 ц/га) пиритных огарков в качестве, например, медного удобрения приводит к загрязнению почвы свинцом, мышьяком и другими металлами, а следовательно, и к повышению их содержания в сельскохозяйственной продукции.

В последнее время вполне обоснованно многие исследователи указывают на возможность попадания в почву тяжелых металлов и токсических соединений с удобрениями. По данным Камре (1980, ФРГ) содержание кадмия в сапропеле из Мюнхена составляет 90—180 мг, а в сапропеле из Некара — 50—100 мг/кг сухой массы. При внесении последнего в почву содержание кадмия в растительной массе повышалось на 0,02—1,1 мг/кг сухой массы, а в почве — на 6—73 мг/кг.

Наша страна располагает большими запасами сапропеля, который в последние годы широко рекомендуется использовать в качестве органического удобрения. Между тем химический состав сапропелей разных источников исследован пока еще недостаточно.

При изучении (Васильева и др., 1981) влияния длительного применения удобрений на содержание обменного стронция в дерново-подзолистой почве установлено, что за 67 опытов с удобрениями было внесено около 220 кг стронция на 1 га. За это время содержание обменного стронция в почве в варианте с внесением полного минерального удобрения увеличилось в 1,5 раза, а при совместном внесении этого удобрения с навозом — почти в 2 раза. В этих вариантах заметно сузилось соотношение кальция к стронцию. При известковании содержание стронция также возрастало, но соотношение кальция и стронция оставалось более широким, чем на неизвесткованном фоне, так как обменный кальций накапливался более высокими темпами. Системы удобрения в определенной степени сказывались и на накоплении стронция в растениях ржи (табл. 55).

55. Содержание стронция и кальция в почвах и растениях (Васильева, Соколова, Шаймухаметова, 1981)

Вариант опыта	Содержание в почве (в мг/100 г почвы)			Содержание в зеленой массе ржи (в мг/100 г воздушно-сухой массы)		
	кальция	стронция	кальций : стронций	кальция	стронция	кальций : стронций
Без удобрения	51,0	0,60	85	204,4	2,44	84
НРК	57,0	0,88	65	271,7	3,70	73
НРК+навоз	64,5	1,16	56	218,7	2,71	81
Са	102,0	0,50	204	223,1	1,24	180
НРК+Са	108,0	1,32	82	292,4	3,04	96
НРК+навоз+Са	130,5	1,26	104	223,4	2,28	98

Из данных таблицы видно, что применение минеральных удобрений в сочетании с периодическим известкованием и внесением органических удобрений снижает поступление стронция в растение.

С минеральными удобрениями в почву может попадать мышьяк: с нитратами, сульфатами и мочевиной от 1 до 10 г/га, с двойным суперфосфатом 30—300 г/га (Мотузова, 1981). В почвах окрестностей тепловой электростанции в Польше содержание мышьяка повысилось до 25 мг/кг (фоновое содержание составляло 5—8 мг/кг); в Норвегии в почвах, окружающих рудники по переработке полиметаллических руд, содержание

мышьяка колебалось от 50 до 1475 мг/кг (при содержании на незагрязненных почвах 5 мг/кг). В верхних слоях почв юго-западной Англии вблизи медеплавильных предприятий содержалось 380 мг/кг.

Почва обладает способностью к частичному самоочищению от мышьяка благодаря выщелачиванию и улетучиванию. Потери газообразных соединений мышьяка могут составлять 2—11% от валового содержания его в почве. Установлено также, что чем больше в почве полуторных окислов железа и алюминия, тем больше мышьяка выносит растение без признаков угнетения.

По данным итальянских агрохимиков, максимальное содержание мышьяка обнаружено в двойном суперфосфате (321 мг/кг). В аммиачной селитре его содержалось 60 мг/кг, азотно-фосфорных соединениях — 47 мг/кг, азотно-фосфорно-калийных соединениях — 59 мг/кг. Токсичным в почве является содержание мышьяка выше 50 мг/кг. Умеренно токсичные концентрации мышьяка в питательном (почвенном) растворе для растений находятся в пределах 1—100 мг/л (Senesi et al., 1979).

По мере роста темпов химизации земледелия все актуальнее становится сохранение биосферы в чистоте. В связи с этим важным является получение новых форм удобрений, позволяющих удовлетворять потребность культурных растений в элементах питания, и повысить коэффициент их использования без загрязнения биосферы, совершенствование технологии производства существующих форм удобрений, переход на безотходную технологию производства минеральных удобрений.

НЕГАТИВНОЕ ДЕЙСТВИЕ УДОБРЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Неблагоприятное влияние удобрений на окружающую среду может быть самым различным:

попадание питательных элементов удобрений и почвы в грунтовые воды с поверхностным стоком приводит к усиленному развитию водорослей и образованию планктона, т. е. к эвтрофикации природных вод;

потери азота в атмосферу отрицательно сказываются на деятельности сельскохозяйственных и других предприятий (ухудшается микроклимат и т. д.). Высказываются также опасения о возможном разрушении озонового экрана стратосферы вследствие проникновения в нее неполных окислов азота, образующихся при денитрификации азотных соединений почвы и удобрений;

неправильное применение минеральных удобрений может ухудшить баланс и круговорот питательных веществ, а следовательно, и агрохимические свойства и плодородие почвы;

нарушение технологии применения удобрений, несовершенство качества и свойств минеральных удобрений ведут к снижению продуктивности сельскохозяйственных культур и качества продукции.

Для более объективного суждения, оценки путей и степени возможного отрицательного влияния удобрений на окружающую среду целесообразно рассмотреть эти вопросы, используя многочисленные экспериментальные данные, полученные в нашей стране и за рубежом.

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ЭВТРОФИКАЦИЮ ПРИРОДНЫХ ВОД

Основными элементами, обуславливающими процесс эвтрофикации, являются фосфор и азот. Фосфор стимулирует усвоение растениями азота, усиленный рост водорослей, что ведет к порче водоемов. Наибольший

рост водных организмов наблюдается при концентрации фосфора 0,09—1,8 мг/л, нитратного азота 0,9—3,5 мг/л. На 1 кг поступившего в водоем фосфора образуется 100 кг фитопланктона (Маккентун, 1977).

В результате эвтрофикации происходит усиленное развитие фитопланктона, прибрежных зарослей, водорослей, цветение воды и др. В глубинной зоне усиливается анаэробный обмен, образуются сероводород, аммиак, метан и т. д. Нарушаются окислительно-восстановительные процессы, и возникает дефицит кислорода. Это приводит к гибели ценных рыб и растений, вода становится непригодной не только для питья, но и для купания. Такой эвтрофированный водоем утрачивает свое и хозяйственное, и биогеоценотическое значение. Поэтому борьба за чистую воду является одной из самых злободневных задач всего комплекса проблемы по охране природной среды.

Установлено, что 1 м³ промышленно-бытовых стоков загрязняет 12—15 м³ воды. Период возобновления эвтрофированных вод различный. Подземные воды в слое активного водообмена возобновляются через 300 лет, воды в проточных озерах — 3,5 года, почвенные воды — 9 месяцев, речные воды — полмесяца, водяной пар в атмосфере — через 9 суток (Рябчиков, 1972).

Существует неправильное мнение, что в реки и водоемы питательные вещества попадают в основном из удобрений. Отечественные и зарубежные исследования показывают, что значительно больше теряется элементов питания из почвы. Фосфор попадает в водоемы главным образом с твердым и жидким стоком. Например, в лаборатории азотных удобрений ВИУА в лизиметрических опытах с ¹⁵N установлено, что за 6 лет потери азота удобрений в слое 0—120 см равнялись 13,8—14,9% от остаточного азота почвы, а потери почвенного азота были в 10 раз больше, в среднем они составили 130 кг/га — ежегодно 21,6 кг/га (Романюк, Кирпанева, 1978).

В опытах Н. М. Варюшкиной и Л. И. Кирпаневой (1979) также показано, что вымывается в основном природный азот почвы. В течение 8 лет в промывных водах учтено лишь 1—5% внесенного азота. Общие же размеры миграции азота в среднем за год из дерново-подзолистой супесчаной почвы составили 31,9, а на дерново-подзолистой суглинистой — 6,7 кг/га (табл. 56).

56. Миграция азота (в кг/га) из дерново-подзолистых почв различного механического состава

Почва	В сумме за 8 лет			Среднегодовая миграция		
	общее количество азота	азот удобрения	азот почвы	общее количество азота	азот удобрения	азот почвы
Дерново-подзолистая суглинистая	48,8	6,7	42,1	6,1	0,8	5,3
Дерново-подзолистая супесчаная	254,8	35,9	218,9	31,9	4,5	27,4

За вегетационный период в этих опытах азот сернокислого аммония практически не вымывался, а после уборки урожая содержание меченого азота в промывных водах возрастало. Это объясняется, по-видимому, минерализацией ранее закрепленного в почвах азота.

В. А. Ковда (1976) отмечает, что в речных водах лесных областей умеренного климата содержание нитратов достигает 0,3—0,5 мг/л, а аридного климата — 1,2—1,7 мг/л. В дренажных водах оросительных систем концентрация NO_3 обычно 5—6 мг/л, но бывает и 10—15 мг/л. В почвенных растворах засоленных орошаемых почв наблюдалась концентрация NO_3 100—300 мг/л. Речные воды густозаселенных районов нитратов содержат иногда до 20—30 мг/л, грунтовые — 10—15 и даже 50—100 мг/л. Наблюдения, проведенные во Франции, ФРГ, Голландии, США, показали, что концентрация нитратов в природных водах около 40—50 мг/л — явление частое. В грунтовых и колодезных водах концентрация нитратов нередко достигает 500—700 и даже 1350 мг/л, что в десятки раз превышает предельную концентрацию, установленную Всемирной организацией здравоохранения (45 мг/л). Известно, что заболевание метгемоглобинемией возникает уже при содержании нитратов в воде 40—50 мг/л; при концентрации, превышающей 95 мг/л, эта болезнь — довольно частое явление.

«Едиными критериями качества воды» в странах — членах СЭВ для поверхностных вод первого класса, используемых для коммунального водоснабжения, нужд пищевой промышленности и разведения ценных пород рыб, в том числе лососевых, предельно допустимое со-

держание аммонийного азота составляет 0,1 мг/л, нитратного — 1 единица, общих фосфатов — 0,005 мг/л.

Предельно допустимые концентрации азота и фосфора в поверхностных водах в нашей стране пока не установлены. Согласно действующим в СССР правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, предельно допустимое содержание аммонийного азота для водных объектов, используемых в качестве источников питьевого водоснабжения, составляет 2 мг/л, нитратного азота — 10 мг/л; для водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях, соответственно 0,5 и 9 мг/л.

В районах интенсивного применения азотных удобрений концентрация нитратного азота в питьевой воде довольно часто превышает ПДК. Исследованиями, выполненными в США (Jast et al., 1978), показано, что с повышением доз азотных удобрений возрастают концентрации нитратов в дренажной воде и увеличиваются их потери (табл. 57).

57. Концентрации нитратов в дренажной воде, потери из гончарных дрен и их накопление в профиле почвы в зависимости от нормы азотного удобрения

Норма азота (в кг/га)	Средняя концентрация $\text{NO}_3\text{-N}$ в дренажной воде (в мг/л)			Средние потери $\text{NO}_3\text{-N}$ из дрен (в кг/га)			$\text{NO}_3\text{-N}$ в профиле почвы 0-3 м (в кг/га)	
	в 1973 г.	в 1974 г.	в 1975 г.	в 1973 г.	в 1974 г.	в 1975 г.	в 1974 г.	в 1975 г.
Без удобрений	—	—	—	—	—	—	91	71
20	13	19	19	5	17	19	72	54
112	15	25	23	6	22	25	94	100
224	13	37	43	4	30	59	198	425
448	12	65	81	6	54	120	505	770
224 (органических удобрений)	—	—	—	—	—	—	121	160

Во многих районах США наблюдается повышение концентрации нитратов в грунтовых водах. В некоторых районах штатов Калифорния и Иллинойс содержание нитратов в колодезной воде достигает токсического уровня. Известный эколог Б. Коммонер пишет, что вымывание азота минеральных удобрений уничтожило способность к самоочищению почти всех рек в штате Ил-

линойс; в Калифорнии сток удобрений повысил содержание нитратов в питьевой воде сверх безопасного предела, установленного органами здравоохранения (Оуэн, 1977).

За последнее время усилилось загрязнение грунтовых вод нитратами и в ФРГ. В ряде областей содержание их в питьевой воде превышает установленную ПДК. В этой стране проводятся многочисленные исследования по определению размеров потерь нитратов и путей их предотвращения. Р. Boysen (1977) приводит данные по потерям нитратов в зависимости от разновидности почвы и внесения удобрений. Грунтовые воды на легких почвах в большей степени обогащены нитратами вследствие повышенной инфильтрации (табл. 58).

58. Среднее содержание нитратов в поверхностных и глубоких грунтовых водах (в мг/л)

Годы	Вариант опыта	Песок, моренный песок	Супесь, глинистый песок	Опесчаненный суглинок, моренная глина	Суглинок, глина
Поверхностные воды					
1974—1976	Без удобрений	9,4	8,5	3,4	4,2
	С удобрением	19,7	15,4	11,3	12,5
1974—1975	Без удобрений	10,8	9,5	3,9	4,8
	С удобрением	19,9	18,3	12,8	12,3
1975—1976	Без удобрений	8,0	7,5	2,8	3,7
	С удобрением	19,5	12,4	9,8	12,8
Глубокие грунтовые воды					
1974—1976	Без удобрений	5,0	7,6	3,2	2,6
	С удобрением	10,5	7,4	8,7	—
1974—1975	Без удобрений	7,0	8,1	3,5	2,8
	С удобрением	8,7	7,3	7,6	—
1975—1976	Без удобрений	3,0	7,1	3,0	2,4
	С удобрением	12,3	7,5	9,7	—

Примечание. Время определения — апрель—май.

По данным ученых ГДР, содержание нитратов в грунтовых водах этой страны в настоящее время по сравнению с 1960 г. возросло в 2—5 раз. Установлено, что непосредственными источниками загрязнения грунтовых вод в 1968—1970 гг. в бассейне р. Варнов были 58 земляных силосохранилищ и хранилищ для органи-

ческих жидких удобрений. Из-за загрязнения в сельских общинах было закрыто 75% всех источников питьевой воды (Хайниш и др., 1979). В настоящее время в ГДР принято законодательство по охране водных источников от загрязнения с установлением соответствующих стандартов и параметров.

Избыток биогенных веществ в водоемах приводит к угнетению и гибели рыбы. Деятельность человека ускоряет этот процесс, в результате чего борьба с антропогенной эвтрофикацией природных вод становится одной из важнейших проблем современности. Биогенные элементы, прежде всего азот и фосфор, могут попадать в водоемы с промышленными и бытовыми сточными водами, со стоками с сельскохозяйственных угодий, в результате биологической фиксации азота и т. д. Это вызывает чрезмерное развитие альгофлоры, приводит к дефициту кислорода, созданию в водоеме анаэробных условий и в конечном счете к резкому ухудшению качества воды. Доказательством развития процесса эвтрофикации является усиленное развитие фитопланктона.

По данным исследований, проведенных в ГДР, установлено, что содержание питательных элементов в водоемах в результате деятельности человека увеличилось в настоящее время в 50—500 раз по сравнению с 1900 г. Высокие темпы эвтрофикации водоемов обусловлены широким применением минеральных удобрений. Количество фосфора и азота удобрений, обнаруживаемое в водоемах, составляет соответственно 1—5 и 10—25% их количества, внесенного на поля (Хайниш и др., 1979). Учеными ГДР доказано, что оптимальной способностью удерживать питательные вещества от вымывания обладает лес, затем в убывающем порядке следуют сенокосы и пастбища, пахотные земли, пар.

В ГДР земли с уклоном 12—18% рекомендуется использовать под сенокосы и пастбища, а с уклоном более 18% — под лесопосадки. Для снижения выноса питательных веществ с сельскохозяйственных угодий в этой стране считается необходимым выполнять следующие мероприятия: азотные удобрения вносить в оптимальные сроки, соблюдать нормы запасного внесения фосфорных удобрений, основное удобрение вносить весной после таяния снега, азотные удобрения применять в строгом соответствии с длиной вегетационного периода культу-

ры, предотвращать водную эрозию в водосборном бассейне водоемов, на склонах возделывать культуры, ограничивающие развитие эрозии почвы. Все это увязывается с технологией возделывания сельскохозяйственных культур, так как вынос питательных веществ в значительной мере зависит от доз удобрений, количества атмосферных осадков, свойств почвы, рельефа, способа ведения хозяйства.

Опасность эвтрофикации водных источников создают также отходы животноводства, особенно на крупных животноводческих комплексах промышленного типа. В этом случае накапливается много бесподстилочного навоза, который часто вносят в высоких дозах на небольшой сельскохозяйственной площади, в результате чего большое количество биогенных элементов попадает в природные водоемы. Поэтому с развитием строительства животноводческих комплексов промышленного типа с бесподстилочным содержанием скота все острее становится проблема охраны окружающей среды, особенно предотвращение загрязнения различных водоемов и рек. Этим вопросам уделяется большое внимание в разных странах. При выборе места для строительства комплекса важно учитывать водопроницаемость почвы, уклон поверхности, направление стока, расстояние до водоемов, населенных пунктов, мест отдыха и т. д.

Многочисленные опыты свидетельствуют, что правильным применением бесподстилочного навоза потери биогенных элементов в окружающую среду, в том числе и в водные источники, можно свести к минимуму. Прежде всего важно учитывать дозы, сроки и способы внесения навоза с учетом свойств и плодородия почвы, рельефа местности, потребностей культур в питательных элементах на планируемый урожай.

Например, в ГДР рекомендуются следующие нормы бесподстилочного навоза и сроки его внесения под разные сельскохозяйственные культуры (табл. 59).

Многолетним изучением (Былинкина, Трифонова, 1977) факторов эвтрофикации Ивановского водохранилища Калининской области установлено довольно высокое содержание в нем азота и фосфора. Это обусловлено, с одной стороны, относительно высоким содержанием биогенных элементов в весенних водах, заполнявших водохранилище, а с другой — непрерывным пополнением запаса биогенных элементов сточными во-

59. Оптимальные дозы (обеспечивающие 75% потребности в азоте) и сроки внесения бесподстилочного навоза под различные сельскохозяйственные культуры на средних по плодородию почвах (Koriath, 1973)

Культура	Срок внесения	Доза бесподстилочного навоза (в т/га)	
		крупного рогатого скота (0,40% N)	свиней (0,65% N)
Сахарная свекла	Февраль — март	55	35
	Октябрь — ноябрь	90	60
Кормовой картофель	Февраль — март	45	30
	Октябрь — ноябрь	70	45
Столовый картофель	Январь — февраль	30	20
	Октябрь — ноябрь	50	30
Кукуруза на силос	Март — апрель	45	30
Многолетние травы	Под отдельные укосы	100	60
Озимые зерновые	Январь — февраль	25	15

дами г. Калинина. Содержание этих элементов в воде носит сезонный характер. Весной из минеральных форм азота преобладают нитраты. Летом содержание нитратного азота снижается, а содержание аммонийного азота находится на таком же уровне, как весной. За годы наблюдений не отмечалось достоверного увеличения содержания общего фосфора и азота в водах весеннего поверхностного стока.

Можно привести пример и по Дубоссарскому водохранилищу, которое с прилегающими к нему участками Днестра является основным источником централизованного питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения, промышленности и сельского хозяйства приднестровских районов Молдавской ССР и Украинской ССР, в том числе и таких крупных городов, как Кишинев, Одесса и др.

В этом водохранилище содержание общего азота в воде в 1962 г. составляло в среднем 0,65 мг/л, а в 1971—1973 гг. оно возросло до 1,51 мг/л, или в 2,3 раза. Только за указанные годы каждый литр воды водохранилища под влиянием поступающих сточных вод и поверхностного стока обогащался азотом на 0,27 мг, а водохранилище в целом за год — примерно на 2270 т, что эквивалентно внесению 6480 т аммиачной селитры,

или 960 кг/га водной площади. Такое изобилие азота в воде при наличии большого количества фосфора привело к интенсивному развитию фитопланктона. Среднегодовая концентрация суммарного фосфора в воде водохранилища за 1971—1973 гг. составляла лишь 0,074 мг/л. Каждый литр воды водохранилища под влиянием сбрасываемых в него сточных вод и поверхностного стока обогащался фосфором на 0,022 мг/л, а водохранилище в целом за год — примерно на 185 т, что эквивалентно внесению 2310 т суперфосфата, или 342 кг/га водной поверхности. В целом же указанное выше среднегодовое содержание фосфора в воде водохранилища почти в 3 раза меньше оптимальной концентрации (0,20 мг/л), при которой в экспериментальных условиях происходит массовое развитие фитопланктона. При оптимальных концентрациях азота (минимум 1,50 мг/л) и других благоприятных условиях вода в водохранилище находится в состоянии цветения только в отдельные периоды, когда концентрация фосфора повышается до 0,20 мг/л и больше (Горбатенький и др., 1977).

Зарегулирование Днепра привело к интенсивному развитию в водохранилищах фитопланктона, в частности, синезеленых водорослей, которые потребляют азот и фосфор как в органической, так и в минеральной форме.

Многолетние исследования (Денисова, 1977) показывают, что в отдельные годы в водохранилища с промышленными и бытовыми стоками поступает до 36,4 тыс. т азота и 3,6 тыс. т фосфора, что примерно равно их поступлению с речным стоком. Количество азота и фосфора, которое может попасть в водохранилище с водосборной площади Днепра при стоке с сельскохозяйственных угодий, составляет: азота 32—202 тыс. т, фосфора 10—17 тыс. т. Расчетное увеличение концентраций азота составит 1,56—2,66 мг/л, фосфора 0,12—0,33 мг/л. В связи с этим для уменьшения выноса азота и фосфора с удобряемых полей рекомендуются пересмотр доз удобрений, рациональное сочетание органических и минеральных удобрений, совершенствование технологии их применения, посадка полезащитных полос, правильная обработка земли, запрещение вспашки земель вдоль крутых склонов, расширение применения закрытого дренажа.

Опыт по уменьшению потерь от вымывания нитратов проведен в Индии (Singh, 1978). Там выращивали кукурузу с промежуточной бобовой культурой — маш. Под кукурузу вносили $N_{120}P_{26}K_{25}$, под маш — $N_{12}P_{11}$. Под кукурузу мочевины вносили в три срока (при посеве, при высоте растений 50—60 см и в фазу образования метелок). Под маш всю дозу вносили при посеве. Установлено, что посев промежуточной культуры значительно снижал потери нитратов при вымывании. Наименьшее количество неиспользованных нитратов и их выщелачивание за пределы корневой системы (на глубине 180 см) отмечалось на варианте, где основная культура получала рекомендованные дозы удобрений, а промежуточная — 50% дозы. В этом случае содержание нитратов в почве на глубине 180 см было 29 кг/га. При выращивании кукурузы без промежуточной культуры вымывание нитратов было наибольшим (81 кг/га). В варианте, где маш не удобряли, потери нитратов составили 58 кг/га, а там, где маш получал $\frac{1}{4}$ рекомендованной дозы, — 40 кг/га.

По данным исследований, проведенных в Эстонии (Лойгу, 1977), с 1970 г. резко повысилась концентрация питательных веществ в малых реках. В реках, пересекающих лесные ландшафты, концентрация фосфора составляет 0,01—0,03 мг/л, в сельскохозяйственных районах весной она доходит до 0,12—0,16 мг/л. Значительно повышается концентрация азотистых соединений, особенно нитратного азота. В реках лесных районов концентрация нитратов колеблется в пределах 1—3 мг/л, а в сельскохозяйственных районах весной в 10—20 раз больше (15—20 мг/л). При правильной агротехнике вынос фосфора с земель сельскохозяйственных районов резко снижается и составляет лишь 0,4%, а вынос азота — 16% от внесенного количества. Основная часть биогенных элементов (80—90% годовой нагрузки) попадает в воду весной с талыми водами. Причиной повышенного содержания биогенных элементов в воде Э. Лойгу считает разбрасывание основного количества удобрений весной по снегу или по замерзшей почве; это приводит к значительному смыву питательных элементов. Уменьшить потери элементов с сельскохозяйственных угодий оказалось возможным при соблюдении технологии, а также оптимальных сроков внесения удобрений.

Опытами (Шатилов и др., 1979) с зимним и ранневесенним внесением минеральных удобрений и известно определено, что в годы с пониженной инфильтрацией на полях даже с незначительным уклоном (0,008—0,014%) со стоковыми водами выносилось 50—100% аммиачной селитры, 40—70% калия, 30—40% фосфора, 40—60% извести от внесенного количества. Причиной обильного поверхностного стока является наличие ледяной корки на поверхности почвы. Во избежание больших потерь питательных элементов с талыми водами и загрязнения водоемов рекомендуется вносить удобрения после оттаивания почвы и сброса избыточной воды из пахотного слоя.

Исследования по потерям питательных элементов удобрений проведены и в Чехословакии (Vogowies, 1977). После семичасового орошения в промывных водах определяли содержание основных элементов питания на удобренных и неудобренных участках под различными сельскохозяйственными культурами. Исследования показали, что без удобрения потери азота колебались от 2,5 кг под многолетними травами до 22,3 кг/га под картофелем. На удобренном фоне потери азота резко возрастали — с 33 кг/га под пшеницей до 58 кг/га по луценой стерне.

С поверхностным стоком потери азота были значительно меньшими: без удобрения 0,3—1 кг/га, на удобренном фоне 1,6—12,3 кг/га, в зависимости от возделываемой культуры. Потери фосфора без удобрения составляли 0,2—0,6 кг/га, на удобренном фоне они возрастали в среднем в 2,7 раза, а со стоковыми водами соответственно 0,09—0,11 кг/га и 0,10—0,75 кг/га, в зависимости от возделываемой культуры, т. е. были незначительными. Применение удобрений увеличило также потери калия с 17—55 до 42—66 кг/га, а с жидким стоком с поверхности почвы эти потери соответственно были 0,17—7 кг (без удобрения) и 10—13 кг/га по удобренным вариантам.

При внесении удобрений увеличивалось вымывание питательных веществ с пахотных земель после восьмичасового орошения в среднем: азота в 3,8 раза, фосфора в 2,7, калия в 1,7, кальция в 1,9, натрия в 1,6, хлора в 2,2 раза. Потери питательных элементов в результате смыва поверхностными водами были значительно меньшими. Если принять потери при миграции по профилю

почвы за 100%, то смыв на удобренном фоне составил: азота 12%, фосфора 28, калия 17, кальция 15, натрия 9, хлора 6%.

Для предотвращения антропогенной эвтрофикации необходима очистка промышленных и бытовых стоков от излишков минеральных соединений азота и фосфора, а также разработка технологии рационального использования минеральных удобрений, которая сводила бы к минимуму поступление азота и фосфора в водоемы.

Проблема борьбы с эвтрофикацией природных вод имеет важное народнохозяйственное значение. Она требует комплексного исследования с участием ученых смежных отраслей науки всех стран мира, так как ухудшение качества природных вод под действием этого процесса принимает угрожающие размеры. Нарастает содержание фосфатов и нитратов в водоемах как Северной Европы, так и Северной Америки. Так, концентрация общего фосфора в озере Констанц возросла с 4—5 мг/м³ в 1935—1936 гг. до 90 мг/м³ в 1975 г., в связи с чем численность водорослей увеличилась в 25 раз. В озере Вашингтон содержание фосфатов с 8 мг/м³ в 1933 г. увеличилось до 40 мг/м³ в 1962 г. Предполагается, что 70—80% фосфорных соединений в эти водоемы поступает из городских сточных вод, а остальные смываются с полей (Дементьева, 1977).

В эвтрофикации поверхностных вод в штате США Висконсин на долю сточных вод приходится 59%, стока с городских земель — 10%, стока с сельских удобряемых земель — 21%, других пахотных земель — 3%, неплахотных земель — 3%, других источников (грунтовые воды, атмосферные осадки и т. д.) — 4% (Thompson, Troeh, 1978). В результате жидкого стока с окультуренных почв в поверхностные водоемы фосфора поступало более 1/5 части от суммарной эвтрофикации. Основным же источником (59%) эвтрофикации водоемов фосфором в штате являются городские сточные воды, обогащенные фосфором моющих средств.

В США установлены следующие ПДК различных загрязняющих веществ в сбрасываемых водах, поступающих в реки (в мг/л): мышьяк 0,05, барий 1, кадмий 0,010, хром 0,05, свинец 0,05, ртуть 0,002, нитраты 10, селен 0,01, серебро 0,05, фтор 1,4—2,4.

По мнению шведских ученых, умеренная эвтрофикация стимулирует развитие планктона и рыбных ресур-

сов, а избыточная приводит к порче воды и гибели рыбы. Основным загрязнителем вод в стране является нитратный азот. В водоемах происходит непрерывный процесс денитрификации нитратов и биологической фиксации азота синезелеными водорослями. Ограничивающим фактором биологической продуктивности водоемов является низкое соотношение азота и фосфора. В водоемах чаще недостаточно фосфора, и его потери из почвы (обычно малые) оказывают положительное влияние на биологическую продуктивность водоемов. В Швеции для защиты поверхностных вод от загрязнения иногда ограничивают применение азотных удобрений (Jansson, 1979).

В ГДР проведено исследование влияния интенсивного применения удобрений на эвтрофикацию источника питьевой воды на охраняемой территории. О результатах опытов можно судить по данным таблицы 60.

60. Размеры внесения удобрений, вынос растениями, потери и концентрация элементов в водоемисточнике (Dörter, 1979)

Показатель	Годы учета			
	1968	1968	1970	Среднее за 3 года
Внесено (в кг/га в год):				
азота	160	120	160	144
фосфора	24	24	24	24
Вынесено культурами (в кг/га в год):				
азота	256	168	180	201
фосфора	22	20	21	21
Смыто (в кг/га в год):				
азота	11	21	46	26
фосфора	0,2	1,8	1,3	1,1
Средняя концентрация в водоемисточнике (в мг/л):				
NO ₃	3,1	2,8	4,0	3,3
N	0,92	0,98	1,37	1,09
PO ₄	0,03	0,07	0,07	1,07
общего P	0,11	0,31	0,18	0,20

В жидком стоке после дождя PO₄ содержалось 0,83—2,97 мг/л, в стоке талых вод — 3,43—11,29 мг/л. С поверхностным стоком терялось 9,7% внесенного азота. Для снижения потерь азота не рекомендуется вносить его больше 250 кг/га. Норму азота более 100 кг/га сле-

дует вносить дробно. Не рекомендуется внесение больших разовых количеств фосфора в запас (Dörter, 1979).

Вследствие ускоренной эвтрофикации в глубинных водах Балтики быстро возрастает содержание биогенных элементов. Так, количество фосфатов в ряде мест за 15 лет (с 1954 по 1968) увеличилось в 2,5 раза, а содержание аммиачного азота в течение 30—35 лет — более чем в 10 раз. Особенно сильно выражен процесс эвтрофикации в прибрежных водах Балтики, куда впадают крупные реки. Это обусловлено обильным притоком богатой питательными солями и взвесью пресной воды с обширной водосборной площади (3400 км²), где ведутся интенсивные мелиоративные работы и в большом количестве применяются минеральные удобрения (Ярвекюльг, 1977). Поэтому только коллективные усилия всех стран бассейна Балтийского моря могут привести к положительным результатам по предотвращению его загрязнения биогенными элементами.

В нашей стране применяются эффективные меры по охране чистоты вод рек и морей. ЦК КПСС и Советом Министров СССР в 1976 г. принято постановление «О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов Черного и Азовского морей». В нем отмечается, что в результате строительства на ряде предприятий, в городах и на курортах, расположенных в бассейнах Черного и Азовского морей, эффективных очистных и водоохраных сооружений, а также осуществления комплекса технологических мероприятий по сокращению количества неочищенных сточных вод и прекращению загрязнения водоемов значительно уменьшился сброс в реки и другие водоемы указанных бассейнов неочищенных сточных вод и отходов производств.

Министерствам и ведомствам, в ведении которых находятся предприятия и организации, сбрасывающие неочищенные сточные воды в реки и другие водоемы бассейнов Черного и Азовского морей, установлены задания по проведению мероприятий в целях полного прекращения сброса неочищенных сточных вод в эти реки и водоемы путем внедрения прогрессивной технологии производства, предотвращающей загрязнение внешней среды, комплексной переработки сырья, утилизации промышленных отходов и строительства эффективных очистных сооружений и обезвреживающих установок.

Известны случаи, когда умеренно эвтрофициро-

ванные озера более продуктивны и обладают лучшими условиями для рыбного промысла. В практике рыбоводства озера и пруды иногда специально удобряют для повышения рыбной продуктивности.

Р. Риклефс (1979) приводит следующие данные. Из олиготрофных (бедных планктоном) Великих Озер США ежегодно получают лишь 1,2—8 кг рыбы с 1 га площади; небольшие эвтрофные (богатые планктоном) озера в США дают выход рыбы в год до 180 кг/га, в ФРГ и на Филиппинах, где пруды искусственно удобряют, уловы рыбы достигают 1100 кг/га в год. Таким образом, умеренная эвтрофикация водоемов не оказывает отрицательного действия на водную экосистему. Попадание в водоемы большого количества биогенных элементов может нарушить нормальное функционирование сообществ, что проявляется в цветении и быстром росте водорослей, которые, накапливаясь в большом количестве, гибнут и разлагаются. Это истощает запасы в воде кислорода, иногда настолько сильно, что задыхаются и гибнут рыбы и другие обитатели водоема. Результаты исследований эвтрофикации привели к выводу, что цветение водорослей возникает только в тех случаях, когда концентрация фосфора в воде превышает 0,01 мг/л. Природные водоемы могут вернуться в свое первоначальное состояние, если поступление в них посторонних веществ будет прекращено.

Представляет интерес опыт Эстонской ССР по предотвращению эвтрофикации природных водных источников. Там создана Проблемная комиссия по изучению антропогенной эвтрофикации внутренних водоемов республики, в которую вошли ученые и представители различных министерств и ведомств.

Установлено, что среди факторов, обуславливающих антропогенную эвтрофикацию малых рек, главную роль играют сточные воды пищевой промышленности, а основной причиной загрязнения заливов и озер является сток с сельскохозяйственных земель. Для ограничения стока предлагается запретить внесение удобрений на поля зимой на замерзшую почву или снег, а также самолетами вблизи границ заповедников и в юго-восточной Эстонии, рекомендуется удобрять поля до вспашки зяби (Симм, 1977).

Многочисленные исследования показывают, что загрязнение природных вод биогенными элементами про-

исходит прежде всего в тех случаях, когда нарушается технология применения удобрений. Поэтому меры, направленные на совершенствование систем удобрения, а также улучшение свойств и качества удобрений являются одновременно и мерами предотвращения загрязнения природных вод питательными элементами.

ГАЗООБРАЗНЫЕ ПОТЕРИ АЗОТА УДОБРЕНИЙ И ПОЧВЫ В АТМОСФЕРЕ

Основными источниками загрязнения атмосферы являются промышленность и транспорт. От применения минеральных и органических удобрений загрязнение атмосферы незначительное, особенно с переходом на использование гранулированных и жидких удобрений, тем не менее оно бывает. В результате неправильного применения удобрений в атмосфере обнаруживаются соединения, содержащие преимущественно азот, фосфор и серу.

Особенно существенное, в большинстве случаев местное, влияние на атмосферу оказывает неправильное хранение и использование бесподстилочного навоза. При хранении его в открытых емкостях выделяются и попадают в атмосферу аммиак, молекулярный азот и другие его соединения. Происходит также разложение органических удобрений и ухудшение окружающей среды вследствие неправильного длительного их хранения. Образуются газообразные продукты распада, обуславливающие неприятный запах. Это относится прежде всего к бесподстилочному навозу, который довольно часто на крупных животноводческих комплексах накапливается в больших количествах.

Большие возможности для изучения процессов превращения азотных удобрений в почве появились с внедрением изотопного метода с использованием ^{15}N . Если в прежние годы процессам денитрификации в почве не придавалось практического значения, то с помощью этого метода установлено, что газообразные потери азотных удобрений за счет денитрификации составляют в среднем 24% и находятся в пределах от 9 до 50% (табл. 61).

Исследованиями, выполненными в ВИУА, показано, что применение ингибиторов нитрификации способствует сохранению азота удобрений в аммиачной форме и

61. Потери азота удобрений из почвы
в результате денитрификации (Кореньков, Борисова, 1980)

Удобрение	Число опытов	Потери азота (в % от внесенной дозы)	
		средние	крайние отклонения
Сульфат аммония	26	22	9—47
Водный аммиак	4	14	10—22
Аммиачная селитра	10	27	11—48
Калийная селитра	3	22	11—29
Натриевая селитра	6	36	26—49
Кальциевая селитра	12	20	10—39
Мочевина	9	27	14—50

снижению их потерь на 10—12% по сравнению с внесением азотных удобрений без ингибиторов. Независимо от дозы ингибитора и способа внесения азотного удобрения (вразброс или лентой) нитрапирин способствовал снижению газообразных потерь, что связано со значительным торможением размножения нитрифицирующих бактерий (Ремпе и др., 1980).

Источником загрязнения атмосферного воздуха могут быть животноводческие комплексы. По данным Сибирского научно-исследовательского института сельхозстроения свинокомплекс мощностью 108 тыс. голов выбрасывает в атмосферу каждый час 1,5 млрд. микробных тел, 159 кг аммиака, 14,5 кг сероводорода, 25,9 кг пыли от кормов. Районам размещения крупных ферм, кроме неприятного запаха, свойственны повышенные концентрации аммиака в воздухе и бактерий (Акулов и др., 1977).

Поэтому весьма важно правильно размещать животноводческие комплексы, иметь достаточную площадь для использования навоза, соблюдать научно обоснованные нагрузки поголовья скота на 1 га, правильно использовать стоки с поливной водой при дождевании, применять зеленые насаждения. Большое значение имеет соблюдение санитарно-защитных зон. В настоящее время для птицеводческих комплексов на 400—500 тыс. кур в год рекомендуется санитарно-защитная зона 2,5 км, для комплексов крупного рогатого скота на 10 тыс. голов — 3 км, для свиноводческих комплексов на 108 тыс. голов — до 5 км, при укрупнении комплексов до 216 и 432 тыс. голов — 10—15 км и более.

Бактериологические и химические анализы воздуха, почвы, стоков, навоза показали, что на расстоянии 100 м от свинарников воздух значительно загрязнен микроорганизмами (в среднем 8263 микроба в 1 м³), на расстоянии 400 м этот показатель уменьшился почти в 2 раза. В пробах воздуха на расстоянии 100 м от свинарников концентрация аммиака доходила до 3—4 мг/м³ (ПДК 0,2 мг/м³), сероводорода — до 0,112 мг/м³ (ПДК 0,008 мг/м³). Почва, взятая на глубине 15—25 см, на территории свиновхоза по всем санитарно-бактериологическим показателям была сильно загрязненной (Никитин, Новиков, 1977).

В последние годы в отечественной и зарубежной печати появились предположения о возможном загрязнении атмосферы газообразными соединениями азота, которые образуются в результате денитрификации, аммонификации и нитрификации, происходящих в почве. Известно, что эти процессы приводят к образованию и выделению из почвы в атмосферу молекулярного азота, аммиака, закиси, окиси и двуокиси азота. Некоторые исследователи считают, что увеличение норм азотных удобрений, а следовательно, и потерь азота в атмосферу ускорит разрушение озоносферы. Основная масса озона находится в слое атмосферы на 10—50 км с максимумом в слое 20—25 км. Известно, что озоновый слой имеет большое значение для жизни живых организмов на земле, так как он поглощает значительное количество ультрафиолетовой радиации, которая в больших дозах вредна для всех живых организмов. Ученые США подсчитали, что потери азота в атмосферу достигают 10—50% от его поступлений в сельское хозяйство. Окислы азота разрушают озоновый экран земли. Увеличение их содержания на 20% уменьшит общее количество озона на 4%.

Однако, по заключению авторитетных международных организаций, эти опасения чрезмерно преувеличены и не имеют существенного практического значения. По заключению Всемирной метеорологической организации, поступление N₂O в атмосферу, связанное, помимо всего прочего, с использованием удобрений, не вызовет отрицательного действия; удвоение содержания N₂O в атмосфере может привести к сокращению количества озона лишь на 2% (Бюллетень Программы ООН по окружающей среде, 1979, № 1).

Несмотря на мнения и доводы международных органов о слабом воздействии на озоновый слой высоких темпов роста применения удобрений в сельском хозяйстве с точки зрения долговременных последствий, эти вопросы несомненно заслуживают внимания и требуют дальнейших глубоких исследований, тем более что существуют весьма противоречивые мнения. Недавние исследования, проведенные в штате США Калифорния, показали, что азотные удобрения потенциально благоприятствуют увеличению озонового слоя. Разложение азотных удобрений и осадка сточных вод с выделением свободных окислов азота повышают общее содержание озона (Farmchem, 1979).

Необоснованность суждения о том, что окислы азота, выделяемые при разложении азотных удобрений, разрушают озон, подтверждается также исследованиями Б. Н. Макарова и Л. Б. Геращенко (1978). На дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах при разных дозах и формах азотных удобрений и под разные культуры определяли интенсивность выделения NO_2 и NH_3 из почвы в течение вегетационного периода. Наибольшее увеличение концентрации NO_2 в приземном слое воздуха (от $2 \cdot 10^{-5}$ до $3 \cdot 10^{-4}$ об.%) наблюдалось над парующей почвой. Над посевами клевера и озимой пшеницы выделение NO_2 из почвы было значительно меньше, чем в пару. Концентрация NO_2 в приземном слое воздуха над посевами колебалась от $4 \cdot 10^{-5}$ до $8 \cdot 10^{-6}$ об.%. Газообразные потери аммиака наблюдались в первые три недели после внесения аммиачных форм удобрений. Концентрация NH_3 в приземном слое воздуха в отдельные дни повышалась до $14 \cdot 10^{-4}$ об.%.

За 20 дней после внесения удобрений (N_{120}) выделилось следующее количество аммиака (в кг/га): при внесении N_a — 0,28, извести + N_a — 1,7, N_m — 1,1, извести + N_m — 1,4. Такое количество аммиака может повысить концентрацию NH_3 в приземном слое воздуха на 0,003—0,02 об.%. За 2 месяца в атмосферу выделилось NO_2 (в кг/га): на варианте без удобрений — 0,32, при внесении N_a — 0,60; извести + N_a — 1,48; N_m — 1,13; извести + N_m — 1,68. Это могло вызвать повышение концентрации NO_2 в приземном слое воздуха (1 м) на 0,0015—0,0078 об.%. По существующим стандартам концентрация NO_2 в воздухе не должна превышать $41 \cdot 10^{-5}$ об.%, NH_3 $26 \cdot 10^{-4}$ об.%. Следовательно, выде-

ление аммиака и двуокиси азота из почвы не создает таких концентраций этих соединений в приземном слое воздуха.

Газообразные потери азота из почвы при внесении различных доз и форм азотных удобрений на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, рассчитанные по выделению NO_2 , за три месяца составили (в кг/га): на контроле — 16,4, N_{60} — 32,7, N_{90} — 37,7 и N_{180} — 47,7. Из удобрений было потеряно: при N_{60} — 27% азота от внесенного количества, N_{90} — 23,6, N_{180} — 17,4%. При использовании нитратной формы азота отмечены более высокие газообразные потери азота удобрений, чем при внесении аммиачной и амидной форм.

В среднем газообразные потери азота удобрений в год внесения составили под растениями 19—27%, в паре 58—80%, на второй год соответственно 8—12% и 11—28% (Макаров, Геращенко, 1981).

По данным 37 полевых опытов, проведенных с изотопом ^{15}N на различных почвенных типах и под различными культурами, газообразные потери азота удобрений составили 27% от внесенного количества азота (Макаров, Макаров, 1976). При дозе азотных удобрений 90 кг/га потери азота в газообразной форме составили около 24 кг/га. Газообразные потери азота происходят в основном в форме молекулярного азота и окиси азота и лишь 1% от общих потерь в форме аммиака и двуокиси азота.

По данным Б. Н. Макарова и Л. Б. Геращенко (1978), выделение NO_2 и NH_3 из почвы незначительно влияет на концентрацию их в воздухе, поскольку выделяющиеся газы диффундируют и перемещаются конвекционными токами в верхние слои. По их мнению, газообразные потери азота почвы и удобрений в форме аммиака и двуокиси азота не представляют опасности для окружающей атмосферы.

Газообразные потери азота из почвы связаны с химическими превращениями минеральных удобрений в почве и в значительной мере являются следствием процесса денитрификации в почве. Основную долю потерь при денитрификации составляют N_2 и N_2O , в меньшей степени NO и NO_2 .

Интенсивность процесса денитрификации зависит от свойств почвы, наличия энергетического материала, состава микрофлоры, питательного режима, гидротермиче-

ских условий, вида применяемых азотных удобрений и т. д. Так, в Болгарии при поверхностном внесении мочевины в дозе N_{200} при температуре $20^{\circ}C$ улетучивалось 6,9—37,9% внесенного азота. На слабовыщелоченном черноземе его терялось 16%, на типичном — 21,7, на карбонатном — 30,9—37,9, на оподзоленном черноземе и серой лесной почве — 7—10% (Еников, Иванов, 1971). В результате смены возделываемых культур газообразные потери менялись от 27—29 до 48—50% от внесенной дозы. Д. Динчев (1969) показал, что из нитратных удобрений выделялось больше азота, чем из аммонийных; потери его на карбонатном черноземе составили соответственно 32 и 27%, на выщелоченном — 34 и 25%, на серой лесной почве — 34 и 25%.

В опытах, выполненных в США, при рН почвы 4,6; 5,5 и 6,6 улетучивалось соответственно 11, 38 и 78% азота. С увеличением влажности почвы возрастало и улетучивание азота. Из необработанной незасеянной почвы при влажности 28—36% терялось 70% внесенного азота, при 20—28% — 46%, при 16—24% — 0,7%, а при 8—16% — лишь 0,5%. В тех же условиях на почвах, покрытых растительностью, потери составили соответственно 80%, 81, 17 и 1%. Рыхление участка способствовало снижению потерь азота до 19%, 16, 3 и 0,3%, а после его обработки и засева они свелись к минимуму: 2,7%, 7,1, 7,7 и 1% от внесенной дозы азота. При повышении температуры с 3 до $20^{\circ}C$ улетучивание азота возрастало с 0,8 до 33%. Подобное влияние температуры на этот процесс отмечено и болгарскими учеными: при $10^{\circ}C$ — 14,4%, при $20^{\circ}C$ — 18,6, при $35^{\circ}C$ — 32,2% внесенного азота. В опытах, проведенных в Австралии, при $10^{\circ}C$ потерь азота не наблюдалось, а с увеличением температуры до $15^{\circ}C$ ежедневно улетучивалось 0—1,4 кг/га азота, до $25^{\circ}C$ — 3 кг/га независимо от формы азотного удобрения (Шконде, Благовещенская, 1979).

Совместными исследованиями агрохимиков стран — членов СЭВ показано, что улетучивание азота из почвы зависит от многих факторов: формы азотного удобрения, наличия растительного покрова, сроков внесения и способов заделки удобрений, норм азота, совместного внесения азотных удобрений и соломы и др. Например, в зависимости от формы азотного удобрения потери азота были следующие: от аммиака 14,7%, сульфата ам-

мония 20,1, мочевины 24,5, нитрата калия — кальция 32,1%. Нитратная форма азота легче подвергается процессам денитрификации.

Исследования показывают, что потери азота существенно снижает растительный покров. Так, в опытах Бобрицкой и Москаленко под ячменем потери составили 16,6%, а без растительного покрова — 31,5%. В опытах Макарова и Патрикеева (1974) потери азота сульфата аммония под ячменем составляли 26%, а без растений — 40%. В среднем улетучивание азота из одной и той же почвы под разными культурами составило: под ячменем 20,9%, яровой пшеницей 23,8%, овсом 19,4%, льном 31,7% и картофелем — 35,2%. Опыты показали, что с увеличением норм удобрений возрастают и потери азота. Так, при внесении N_{90} терялось 40,5% азота, N_{200} — 23,9, N_{300} — 35%, N_{450} — 65% (Юрков и др., 1975).

По данным П. М. Смирнова и др. (1972), при разделении нормы азота, аммиачной селитры и сульфата аммония на две равные дозы, вносимые весной и осенью, потери его составляли 47,8%, при разделении на три дозы — 34,7% от внесенного количества. В другом опыте (Корицкая, 1969) при предпосевном внесении сульфата аммония потери азота составили 28,1%, при внесении в фазу колошения или цветения пшеницы и овса соответственно 45,8 и 44,7%. Внесение соломы в сочетании с азотными удобрениями существенно снижало потери азота — с 32,2 до 18% (Смирнов и др., 1972).

Значительные потери аммиачного азота возможны в результате химического взаимодействия аммонийных солей с карбонатами и другими щелочными соединениями почвы. Это подтверждается многочисленными отечественными и зарубежными опытами. Исследования З. Р. Мовсумова (1978) показали, что потери аммиачного азота возрастают на карбонатных и щелочных почвах. Кроме того, потери зависят от формы азотного удобрения. Так, через месяц после внесения удобрений потери азота при внесении аммиачной селитры составили 11,5%, сульфата аммония — 14,7%, мочевины — 20,1% от внесенного количества, через 2 месяца соответственно 14,3%, 16,1 и 26,1%. Следовательно, основная часть азота теряется в первый месяц после внесения, затем выделение аммиака значительно снижается, поскольку большая часть азота переходит в нитратную

форму. Заделка удобрений в почву существенно снижает потери азота. Так, при поверхностном внесении сульфата аммония через 2 месяца терялось 14,3% азота, при внесении на глубину 5 см — 6,7%, мочевины — соответственно 26,1 и 15,5%.

Потери азота возрастают с повышением температуры и карбонатности почвы. С повышением температуры с 20 до 40 °С потери азота увеличивались в 4—5 раз (с 1,12—1,63% до 4,49—7,50%). Из каштановой почвы, содержащей 3,5% CO_2 , выделялось 4,8% азота, а из горно-лесной с содержанием 7,1% CO_2 — 9,6% (Мовсумов, 1978).

В ФРГ (Lumpunggi, Kabomba, 1978) проведены обстоятельные исследования условий потерь аммиака при разных способах внесения азотных удобрений в почву. Опыты проводили на семи почвах с рН 5,5—7,6 и содержанием CaCO_3 0,1—29,6%. При рН > 6 отмечены высокие потери NH_3 — N на поверхности почвы. По мере увеличения глубины внесения азотного удобрения они резко сокращались. Определяющим фактором была нитрификационная способность почвы. При ее высоких показателях потери резко снижались. В подпочве потери NH_3 — N определялись наличием и активностью уреазы, а также деятельностью бактерий-нитрификаторов. При недостаточной активности уреазы внесенная мочевина разлагалась медленнее, соответственно меньше выделялось и терялось азота аммиака. В почве под культурой концентрации аммония снижались вследствие поглощения азота растениями, улетучивание же аммиака в этом случае было меньшим. Газообразные потери аммиака снижались при внесении компоста из соломы и сырых листьев сахарной свеклы. Газообразные потери аммиака в известной мере снижались под действием суперфосфата. Они были значительно меньшими также при внесении мочевины с серой и сульфата аммония.

Улетучивание аммиака зависит и от способа орошения. При дождевании мочевина перемещается по профилю почвы, что снижает газообразные потери азота. При подземном же орошении потери аммиачного азота вдвое больше и достигают 34,2% от внесенного количества. На потери азота оказывает влияние и нитрификационная способность почвы. Даже на почвах с высоким содержанием кальция (почва Туниса, содержащая

29,6% CaCO_3) потери аммиачного азота были низкими вследствие высокой нитрификационной способности этой почвы.

Таким образом, на основании данных многочисленных исследований мероприятиями, способствующими предотвращению потерь азота в окружающую среду, являются следующие: оптимальные дозы азотных удобрений под каждую культуру севооборота, правильные сроки их внесения, заделка удобрений в почву при вспашке, культивации или дисковании, выбор форм азотных удобрений с учетом их свойств, требований культуры, а также почвенно-климатических условий. Особое внимание подбору форм удобрений должно быть уделено при их внесении в условиях орошения, где важно также сочетание оптимального режима орошения и удобрения. Необходимо соблюдать правильную технологию применения бесподстилочного навоза с учетом агрономических и санитарно-гигиенических требований. Следует учитывать, что газообразные потери азота значительно снижают растительный покров.

ВОЗМОЖНОЕ НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРДИЕ ПОЧВЫ

Разные биогенные элементы, попадая в почву с удобрениями, претерпевают существенные превращения. Одновременно они оказывают значительное влияние на плодородие почвы. Да и свойства почвы, в свою очередь, могут оказывать на вносимые удобрения как позитивное, так и негативное влияние. Эта взаимосвязь удобрений и почвы является весьма сложной и требует глубоких и обстоятельных исследований. С превращениями удобрений в почве связаны и различные источники их потерь. Эта проблема представляет собой одну из основных задач агрохимической науки. Р. Kundler et al. (1970) в общем виде показывают следующие возможные превращения различных химических соединений и связанные с ними потери питательных элементов путем вымывания, улетучивания в газообразной форме и закрепления в почве (табл. 62).

Вполне понятно, что это лишь некоторые показатели превращения различных форм удобрений и питательных элементов в почве, они еще далеко не охватывают многочисленные пути превращения различных мине-

62. Реакция основных питательных элементов минеральных удобрений в почве и возможные пути их потерь

Химическое соединение	Реакция	Возможные пути потерь
Соли аммония и аммиак	Сорбция NH_4^+ Включение в состав органического вещества Фиксация глинистыми минералами Нитрификация до NO_3 Частичная нитрификация по NO_2	Улетучивание NH_3 Вымывание NO_3 Улетучивание N_2 и N_2O
Нитраты	Незначительная сорбция NO_3 Незначительное включение в состав органического вещества, денитрификация	Вымывание NO_3 Улетучивание N_2 и N_2O
Амиды	Аммонификация	Такие же потери, как и в случае солей аммония
Ортофосфаты	Превращение в более устойчивые соединения	Закрепление в почве
Полифосфаты	Гидролиз	Незначительное вымывание
Соли, гидроокиси и окиси кальция и магния	Нейтрализация почвенной кислотности Осаждение в форме карбонатов	Вымывание
Соли калия	Сорбция Ca^{2+} и Mg^{2+} Сорбция K^+ Фиксация K^+	Вымывание
Соли натрия	Сорбция Na^+	Вымывание

ральных удобрений в зависимости от типа и свойств почвы.

Поскольку почва является важным звеном биосферы, она прежде всего подвергается сложному комплексному воздействию вносимых удобрений, которые могут оказывать следующее влияние на почву: вызывать подкисление или подщелачивание среды; улучшать или ухудшать агрохимические и физические свойства почвы; способствовать обменному поглощению ионов или вытеснять их в почвенный раствор; способствовать или препятствовать химическому поглощению катионов (био-

генных и токсических элементов); способствовать минерализации или синтезу гумуса почвы; усиливать или ослаблять действие других питательных элементов почвы или удобрений; мобилизовать или иммобилизовать питательные элементы почвы; вызывать антагонизм или синергизм питательных элементов и, следовательно, существенно влиять на их поглощение и метаболизм в растениях.

В почве может быть сложное прямое или косвенное взаимовлияние между биогенными токсичными элементами, макро- и микроэлементами, а это оказывает значительное влияние на свойства почвы, рост растений, их продуктивность и качество урожая.

Так, систематическое применение физиологически кислых минеральных удобрений на кислых дерново-подзолистых почвах повышает их кислотность и ускоряет вымывание из пахотного слоя кальция и магния и, следовательно, увеличивает степень ненасыщенности основаниями, снижая почвенное плодородие. Поэтому на таких ненасыщенных почвах применение физиологически кислых удобрений необходимо сочетать с известкованием почвы и нейтрализацией вносимых минеральных удобрений.

Двадцатилетнее применение удобрений в Баварии (ФРГ, Schwartmann, Attenberger, 1979) на иловатой, плохо дренированной почве в сочетании с известкованием под травы привело к повышению рН с 4,0 до 6,7. В поглощаемом комплексе почвы обменный алюминий заменился кальцием, что привело к значительному улучшению свойств почвы. Потери же кальция в результате выщелачивания составили 60—95% (0,8—3,8 ц/га в год). Как показали расчеты, ежегодная потребность в кальции составила 1,8—4 ц/га. В этих опытах урожай сельскохозяйственных растений хорошо коррелировал со степенью насыщенности почвы основаниями. Авторы пришли к выводу, что для получения высокого урожая необходимы рН почвы $> 5,5$ и высокая степень насыщенности основаниями ($V = 100\%$); при этом удаляется обменный алюминий из зоны наибольшего размещения корневой системы растений.

Во Франции (Balland, 1978) выявлено большое значение кальция и магния в повышении плодородия почв и улучшении их свойств. Установлено, что выщелачивание приводит к обеднению запаса кальция и магния

в почве. В среднем ежегодные потери кальция составляют 300 кг/га (200 кг на кислой почве и 600 кг на карбонатной), а магния — 30 кг/га (на песчаных почвах они достигали 100 кг/га). Кроме того, некоторые культуры севооборота (бобовые, технические и др.) выносят значительные количества кальция и магния из почвы, поэтому следующие за ними зерновые культуры часто обнаруживают симптомы недостаточности этих элементов. Не нужно забывать также, что кальций и магний выполняют роль физико-химических мелиорантов, оказывая благоприятное влияние на физические и химические свойства почвы, а также на ее микробиологическую деятельность. Это косвенно влияет на условия минерального питания растений другими макро- и микроэлементами. Для поддержания плодородия почвы необходимо восстановление уровня содержания кальция и магния, потерянных в результате выщелачивания и выноса из почвы сельскохозяйственными культурами; для этого ежегодно следует вносить 300—350 кг СаО и 50—60 кг MgO на 1 га.

Задача заключается не только в восполнении потерь этих элементов вследствие выщелачивания и выноса сельскохозяйственными культурами, но и в восстановлении плодородия почвы. В этом случае нормы внесения кальция и магния зависят от первоначального значения рН, содержания в почве MgO и фиксирующей способности почвы, т. е. прежде всего от содержания в ней физической глины и органического вещества. Подсчитано, что для повышения рН почвы на одну единицу нужно внести извести от 1,5 до 5 т/га, в зависимости от содержания физической глины ($<10\%$ — $>30\%$). Чтобы повысить содержание магния в пахотном слое почвы на 0,05%, нужно внести 200 кг MgO/га.

Очень важно установить правильные дозы извести в конкретных условиях ее применения. Этот вопрос не настолько прост, как часто его представляют. Обычно дозы извести устанавливаются в зависимости от степени кислотности почвы и насыщенности ее основаниями, а также разновидности почвы. Эти вопросы требуют дальнейшего, более глубокого изучения в каждом конкретном случае. Важен вопрос о периодичности внесения извести, дробности внесения в севообороте, сочетании известкования с фосфоритованием и внесением других удобрений. Установлена необходимость в опережающем

известкования как условия для повышения эффективности минеральных удобрений на кислых почвах таежно-лесной и лесостепной зон. Известкование существенно влияет на подвижность макро- и микроэлементов внесенных удобрений и самой почвы. А это сказывается на продуктивности сельскохозяйственных растений, качестве продуктов питания и кормов, а следовательно, на здоровье человека и животных.

М. Р. Sheriff (1979) считает, что о возможном переизвестковании почв можно судить по двум уровням: 1) когда продуктивность пастбищ и животных не повышается при дополнительном внесении извести (это автор называет максимальным экономическим уровнем) и 2) когда известкование нарушает баланс питательных веществ в почве, и это отрицательно сказывается на продуктивности растений и здоровье животных. Первый уровень на большей части почв наблюдается при рН около 6,2. На торфяных почвах максимальный экономический уровень отмечается при рН 5,5. Некоторые пастбища на легких вулканических почвах не обнаруживают каких-либо признаков отзывчивости на известь при их природной величине рН 5,6.

Необходимо строго учитывать требования возделываемых культур. Так, чайный куст предпочитает кислые красноземы и желтоземно-подзолистые почвы, известкование угнетает эту культуру. Внесение извести отрицательно влияет на лен, картофель и другие растения. Наиболее хорошо отзываются на известь бобовые культуры, которые угнетаются на кислых почвах.

Проблема же продуктивности растений и здоровья животных (второй уровень) чаще всего возникает при $\text{pH} = 7$ и более. Кроме того, почвы различаются по скорости и степени отзывчивости на известь. Например, согласно М. Р. Sheriff (1979), чтобы изменить рН с 5 до 6 для легких почв, ее требуется около 5 т/га, а для тяжелой глинистой почвы в 2 раза большее количество. Важно учитывать также содержание карбоната кальция в известковом материале, а также рыхлость породы, тонину ее помола и т. д. С агрохимической точки зрения весьма важно учитывать мобилизацию и иммобилизацию макро- и микроэлементов в почве под действием известкования. Установлено, что известь мобилизует молибден, который в избыточных количествах может отрицательно влиять на рост растений и здоровье живот-

ных, но одновременно наблюдаются симптомы недостаточности меди у растений и скота.

Применение удобрений может не только мобилизовать отдельные питательные элементы почвы, но и связывать их, превращая в недоступную для растений форму. Исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показывают, что одностороннее использование высоких доз фосфорных удобрений часто значительно снижает содержание подвижного цинка в почве, вызывая цинковое голодание растений, что отрицательно сказывается на количестве и качестве урожая. Поэтому применение высоких доз фосфорных удобрений часто вызывает необходимость внесения цинкового удобрения. Больше того, внесение одного фосфорного или цинкового удобрения может не дать эффекта, а совместное их применение привести к значительному положительному их взаимодействию. Так, в опытах Р. Е. Wagner (1979) были получены следующие данные (табл. 63).

63. Взаимодействие фосфорного и цинкового удобрений

Доза P ₂ O ₅ (в кг/га)	Доза цинка (в кг/га)	Урожай зерна кукурузы (в ц/га)
—	—	81,2
90	—	73,9
—	24	67,6
90	24	108,5

Можно привести немало примеров, свидетельствующих о положительном и отрицательном взаимодействии макро- и микроэлементов. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте сельскохозяйственной радиологии (Юдинцева и др., 1979) изучали влияние минеральных удобрений и известкования почвы доломитом на поступления радионуклида стронция (⁹⁰Sr) в растения. Содержание ⁹⁰Sr в урожае ржи, пшеницы и картофеля под влиянием полного минерального удобрения снижалось в 1,5—2 раза по сравнению с неудобренной почвой. Наименьшее содержание ⁹⁰Sr в урожае пшеницы было в вариантах с высокими дозами фосфорных и калийных удобрений (N₁₀₀P₂₄₀K₂₄₀), а в клубнях картофеля — при внесении высоких доз калийных удобрений (N₁₀₀P₈₀K₂₄₀). Внесение доломита снизило накопление ⁹⁰Sr в урожае

пшеницы в 3—3,2 раза. Внесение полного удобрения $N_{100}P_{80}K_{80}$ на фоне известкования доломитом уменьшало накопление радиостронция в зерне и соломе пшеницы в 4,4—5 раз, а при дозе $N_{100}P_{240}K_{240}$ — в 8 раз по сравнению с содержанием без известкования.

Ф. А. Тихомиров (1980) указывает на четыре фактора, влияющие на размеры выноса радионуклидов из почв урожаем растений: биогеохимические свойства техногенных радионуклидов, свойства почвы, биологические особенности растений и агрометеорологические условия. Например, из пахотного слоя типичных почв европейской части СССР выводится в результате миграционных процессов 1—5% содержащегося в нем ^{90}Sr и до 1% ^{137}Cs ; на легких почвах скорость удаления радионуклидов из верхних горизонтов существенно выше, чем на тяжелых. Лучшая обеспеченность растений питательными элементами и их оптимальное соотношение снижают поступление радионуклидов в растения. Культуры с глубоко проникающими корневыми системами (люцерна) меньше накапливают радионуклидов, чем с поверхностными корневыми системами (райграс).

На основе экспериментальных данных в лаборатории радиоэкологии МГУ (Тихомиров, 1980) научно обоснована система агромероприятий, реализация которых существенно снижает поступление радионуклидов (стронция, цезия и др.) в продукцию растениеводства. Эти мероприятия включают: разбавление поступающих в почву радионуклидов в виде практически невесомых примесей их химическими аналогами (кальций, калий и др.); уменьшение степени доступности радионуклидов в почве внесением веществ, переводящих их в менее доступные формы (органическое вещество, фосфаты, карбонаты, глинистые минералы); заделка загрязненного слоя почвы в подпахотный горизонт за пределы зоны распространения корневых систем (на глубину 50—70 см); подбор культур и сортов, накапливающих минимальные количества радионуклидов; размещение на загрязненных почвах технических культур, использование этих почв под семенные участки.

Эти мероприятия могут быть использованы и для снижения загрязнения сельскохозяйственной продукции и токсическими веществами нерадиоактивной природы.

Об эффективности отдельных агротехнических приемов можно судить по следующим данным (табл. 64).

64. Влияние агротехнических приемов на уменьшение выноса ^{90}Sr культурами (Тихомиров, 1980)

Агротехнический прием	Кратность снижения количества ^{90}Sr в сельскохозяйственной продукции
Известкование почвы, внесение органического вещества и минеральных удобрений	1,5—5
Заделка ^{90}Sr в подпахотный слой	2—8
Подбор видов и сортов с минимальным накоплением ^{90}Sr	2—10
Возделывание кормовых культур на загрязненных почвах	5—10 (молоко, мясо)

Исследованиями Е. В. Юдинцевой и др. (1980) также установлено, что известковые материалы снижают накопление ^{90}Sr из дерново-подзолистой супесчаной почвы в зерне ячменя примерно в 3 раза. Внесение повышенных доз фосфора на фоне доменных шлаков снижало содержание ^{90}Sr в соломе ячменя в 5—7 раз, в зерне — в 4 раза.

Под влиянием известковых материалов содержание цезия (^{137}Cs) в урожае ячменя снижалось в 2,3—2,5 раза по сравнению с контролем. При совместном внесении высоких доз калийных удобрений и доменных шлаков содержание ^{137}Cs в соломе и зерне снижалось в 5—7 раз по сравнению с контролем. Действие извести и шлаков на уменьшение накопления радионуклидов в растениях более резко выражено на дерново-подзолистой почве, чем на серой лесной.

Исследованиями ученых США установлено, что при использовании для известкования $\text{Ca}(\text{OH})_2$ токсичность кадмия снижалась в результате связывания его ионов, применение же для известкования CaCO_3 было неэффективным (Chaney et al., 1977).

В Австралии изучали влияние двуокиси марганца (MnO_2) на поглощение свинца, кобальта, меди, цинка и никеля растениями клевера. Установлено, что при добавлении в почву двуокиси марганца сильнее снижалось поглощение свинца и кобальта и в меньшей степени никеля; на поглощение же меди и цинка MnO_2 оказывала незначительное влияние (Kenzie, 1978).

В США также были проведены исследования по влиянию различного содержания свинца и кадмия в

почве на поглощение кукурузой кальция, магния, калия и фосфора, а также на сухую массу растений (табл. 65).

65. Влияние свинца и кадмия на концентрацию кальция, магния, калия и фосфора в растениях кукурузы (Walker et al., 1977)

Дозы (в мг/кг почвы)		Средняя концентрация (в %) в растениях кукурузы в возрасте									
		24 дня					31 день				
свинца	кадмия	Ca	Mg	K	P	сухая масса растений (в г)	Ca	Mg	K	P	сухая масса растений (в г)
—	—	0,63	0,42	2,29	0,17	1,19	0,70	0,48	2,98	0,11	1,56
—	2,5	0,59	0,35	1,82	0,10	0,63	0,59	0,47	2,45	0,10	1,12
—	5,0	0,45	0,25	1,39	0,07	0,49	0,56	0,39	2,41	0,08	0,83
125	—	0,65	0,39	1,53	0,10	0,84	0,85	0,48	2,72	0,11	1,35
125	2,5	0,53	0,31	1,39	0,07	0,47	0,56	0,31	2,38	0,04	0,82
125	5,0	0,43	0,20	1,09	0,04	0,36	0,60	0,38	3,30	0,10	0,84
250	—	0,65	0,25	1,44	0,06	0,54	0,93	0,42	3,00	0,11	0,91
250	2,5	0,54	0,24	1,47	0,06	0,43	0,80	0,43	3,23	0,12	0,97
250	5,0	0,37	0,14	1,09	0,02	0,32	0,74	0,36	3,73	0,09	0,87

Из данных таблицы видно, что кадмий оказывал негативное влияние на поступление всех элементов в 24-дневные растения кукурузы, а свинец замедлял поступление магния, калия и фосфора. Кадмий также отрицательно влиял на поступление всех элементов в 31-дневные растения кукурузы, а свинец оказывал положительное действие на концентрацию кальция и калия и отрицательное — на содержание магния.

Эти вопросы имеют важное теоретическое и практическое значение, особенно для земледелия в индустриально развитых районах, где увеличивается накопление ряда микроэлементов, в том числе и тяжелых металлов. В то же время возникает необходимость в более глубоком изучении механизма взаимодействия различных элементов на поступление их в растение, на формирование урожая и качество продукции.

В университете штата Иллинойс (США) также изучали влияние взаимодействия свинца и кадмия на поглощение их растениями кукурузы (табл. 66).

У растений отмечена определенная тенденция повышать поглощение кадмия в присутствии свинца; почвен-

66. Взаимное влияние содержания свинца и кадмия на поглощение их проростками кукурузы (Miller et al., 1977)

Содержание в почве (мг/кг)		Поглощение кадмия (в мг/кг) через число дней				Содержание в почве (в мг/кг)		Поглощение свинца (в мг/кг) через число дней			
свинец	кадмий	10	17	24	31	кадмий	свинец	10	17	24	31
	5	9	24	28	33		250	24	80	210	413
125	2,5	8	18	22	24	2,5	125	25	76	107	150
	5,0	17	29	30	43		250	14	75	157	267
250	2,5	7	15	21	27	5,0	125	16	59	64	116
	5,0	11	20	24	41		250	11	51	118	260

ный кадмий, наоборот, снижал поглощение свинца в присутствии кадмия. Оба металла в испытанных концентрациях подавляли вегетативный рост кукурузы.

Представляют интерес выполненные в ФРГ исследования по влиянию хрома, никеля, меди, цинка, кадмия, ртути и свинца на поглощение фосфора и калия яровым ячменем и перемещение этих питательных элементов в растении. В исследованиях были использованы меченые атомы ^{32}P и ^{42}K . Тяжелые металлы в питательный раствор добавляли в концентрации от 10^{-6} до 10^{-4} мол/л. Установлено значительное поступление тяжелых металлов в растение с повышением их концентрации в питательном растворе. Все металлы оказывали (в разной мере) ингибирующее действие как на поступление фосфора и калия в растения, так и на перемещение их в растении. Ингибирующее действие на поступление калия проявлялось в большей мере, чем фосфора. Кроме того, перемещение обоих питательных элементов в стебли подавлялось сильнее, чем поступление в корни. Сравнительное действие металлов на растение происходит в следующем нисходящем порядке: ртуть > свинец > медь > кобальт > хром > никель > цинк. Этот порядок соответствует электрохимическому ряду напряжений элементов. Если действие ртути в растворе отчетливо проявлялось уже при концентрации $4 \cdot 10^{-7}$ мол/л ($=0,08$ мг/л), то действие цинка — только при концентрации выше 10^{-4} мол/л ($=6,5$ мг/л).

Как уже отмечалось, в индустриально развитых районах происходит накопление в почве различных элементов, в том числе тяжелых металлов. Вблизи крупных автострад Европы и Северной Америки весьма ощутимо влияние на растения соединений свинца, поступающих в воздух и почву с выхлопными газами. Часть соединений свинца попадает через листья в ткани растений. Многочисленными исследованиями установлено повышенное содержание свинца в растениях и почве на расстоянии до 50 м в сторону от автострад. Отмечены случаи отравления растений в местах особенно интенсивного воздействия выхлопных газов, например елей на расстоянии до 8 км от крупного Мюнхенского аэропорта, где производится около 230 вылетов самолетов в день. В хвое ели содержалось свинца в 8—10 раз больше, чем в хвое в незагрязненных районах.

Соединения других металлов (меди, цинка, кобальта, никеля, кадмия и др.) заметно влияют на растения вблизи металлургических предприятий, поступая как из воздуха, так и из почвы через корни (Горышина, 1979). В таких случаях особенно важно изучение и внедрение приемов, предотвращающих избыточные поступления токсических элементов в растения. Так, в Финляндии (Hardh, 1977) определяли содержание свинца, кадмия, ртути, меди, цинка, марганца, ванадия и мышьяка в почве, а также салате, шпинате и моркови, выращиваемых вблизи промышленных объектов и автострад и на чистых участках. Исследовали также дикорастущие ягоды, грибы и луговые травы. Установлено, что в зоне действия промышленных предприятий содержание свинца в салате колебалось от 5,5 до 199 мг/кг сухой массы (фон 0,15—3,58 мг/кг), в шпинате — от 3,6 до 52,6 мг/кг сухой массы (фон 0,75—2,19), в моркови — 0,25—0,65 мг/кг. Содержание свинца в почве составило 187—1000 мг/кг (фон 2,5—8,9). Содержание свинца в грибах достигало 150 мг/кг. По мере удаления от автострад содержание свинца в растениях снижалось, например, в моркови с 0,39 мг/кг на расстоянии 5 м до 0,15 мг/кг на расстоянии 150 м. Содержание кадмия в почве менялось в пределах 0,01—0,69 мг/кг, цинка — 8,4—1301 мг/кг (фоновые концентрации соответственно были 0,01—0,05 и 21,3—40,2 мг/кг). Интересно заметить, что известкование загрязненной почвы снижало содержание кадмия в салате с 0,42 до 0,08 мг/кг; калийные же и

магниевые удобрения не оказывали на него заметного влияния.

В зонах сильного загрязнения содержание цинка в травах было высокое — 23,7—212 мг/кг сухой массы; содержание мышьяка в почве 0,47—10,8 мг/кг, в салате — 0,11—2,68, шпинате — 0,95—1,74, моркови — 0,09—2,9, лесных ягодах — 0,15—0,61, грибах — 0,20—0,95 мг/кг сухого вещества. Содержание ртути в окультуренных почвах было 0,03—0,86 мг/кг, в лесных почвах — 0,04—0,09 мг/кг. Заметных различий в содержании ртути в разных овощах не обнаружено.

Отмечается действие известкования и затопления полей на снижение поступления кадмия в растения. Например, содержание кадмия в верхнем слое почвы рисовых полей в Японии составляет 0,45 мг/кг, а его содержание в рисе, пшенице и ячмене на незагрязненной почве соответственно 0,06 мг/кг, 0,05 и 0,05 мг/кг. Наибольшей чувствительностью к кадмию отличается соя, у которой снижение роста и массы зерен происходит при содержании в почве кадмия 10 мг/кг. Накопление же кадмия в растениях риса в количестве 10—20 мг/кг вызывает подавление их роста. В Японии ПДК кадмия в зерне риса — 1 мг/кг.

В Индии существует проблема токсичности меди вследствие большого накопления ее в почвах, расположенных около медных рудников в Бихаре. Токсичный уровень цитрат ЭДТА-Си > 50 мг/кг почвы (Fiskell, 1965). Ученые Индии (Deb, Sen et al., 1978) изучали также влияние известкования на содержание меди в дренажной воде. Нормы известки были 0,5, 1 и 3 от требуемой для известкования. Исследования показали, что известкование не решает проблему токсичности меди, поскольку 50—80% выпавшей в осадок меди оставалось в доступной для растений форме. Содержание доступной меди в почвах зависело от нормы известкования, первоначального содержания меди в дренажной воде и свойств почвы.

Исследованиями (Honma, Hirata, 1978) установлено, что типичные симптомы недостаточности цинка наблюдались у растений, выращиваемых в питательной среде, содержащей этого элемента 0,005 мг/кг. Это приводило к подавлению роста растений. В то же время цинковая недостаточность у растений способствовала значительному увеличению адсорбции и транспорта кадмия.

С повышением концентрации цинка в питательной среде поступление кадмия в растения резко снижалось (табл. 67).

67. Содержание кадмия в растениях риса, выращиваемых 35 дней при разных концентрациях цинка в питательной среде

Содержание цинка в питательной среде (в мг/кг)	Сухое вещество (в мг/растение)		Содержание кадмия (в мг/кг) в	
	корни	стебли	корнях	стеблях
0,005	320	1,97	38,7	32,4
0,05	421	2,69	92,9	10,9
0,5	479	2,59	88,8	9,2
5	464	2,78	50,8	8,2

Большой интерес представляет изучение взаимодействия отдельных макро- и микроэлементов в почве и в процессе питания растений. Так, в Италии изучали влияние никеля на поступление фосфора (^{32}P) в нуклеиновые кислоты молодых листьев кукурузы (Kastori et al., 1978). опыты показали, что низкая концентрация никеля стимулировала, а высокая подавляла рост и развитие растений. В листьях растений, выращиваемых при концентрации никеля 1 мкг/л, поступление ^{32}P во все фракции нуклеиновых кислот было более интенсивное, чем на контроле. При концентрации никеля 10 мкг/л поступление ^{32}P в нуклеиновые кислоты заметно снижалось (табл. 68).

68. Поступление ^{32}P в некоторые группы нуклеиновых кислот, выраженное в удельной их активности в зависимости от концентрации никеля в питательном растворе

Концентрация никеля (в мкг/л)	НК	ДНК	РНК	РНК, обогащенная адениловой кислотой
—	27,72	13,22	21,91	27,28
1	52,04	28,59	43,07	42,86
10	18,57	11,11	18,61	19,69

Авторы предполагают, что одной из причин снижения удельной активности испытанных фракций нуклеиновых кислот при высокой концентрации никеля было повышение активности рибонуклеазы.

Из многочисленных данных исследований можно сделать вывод, что для предотвращения отрицательного влияния удобрений на плодородие и свойства почвы научно обоснованная система удобрения должна предусматривать недопущение или ослабление возможных негативных явлений: подкисления или подщелачивания почвы, ухудшения агрохимических ее свойств, необменного поглощения биогенных элементов, химического поглощения катионов, чрезмерной минерализации гумуса почвы, мобилизации повышенного количества элементов, приводящей к токсическому их действию и т. д.

ВЛИЯНИЕ БИОГЕННЫХ И ТОКСИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА КАЧЕСТВО РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Биогенные элементы, улучшающие питание растений, приводят в конечном счете к повышению урожаев и улучшению качества продукции. Повышается содержание белков в зерне пшеницы, улучшаются ее хлебопекарные качества, повышается содержание сахара в корнях сахарной свеклы, крахмала в клубнях картофеля, жиров в семенах масличных культур, витаминов в овощах и т. д. Особый интерес с точки зрения качества растениеводческой продукции представляет количество белков и их аминокислотный состав. Это связано с тем, что организм животных и человека не способен синтезировать аминокислоты из простых неорганических соединений. Животные могут синтезировать лишь аланин, аргинин, аспарагин, глутамин, гистидин, глицин, серин, тирозин, циатин и две аминокислоты — пролин и оксипролин. Синтезируемые животными аминокислоты считаются заменимыми.

Растения и автотрофные микроорганизмы способны синтезировать все входящие в их состав аминокислоты. Лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин, лейцин, валин, изолейцин — незаменимые аминокислоты. Они необходимы для человека и животных. Аминокислоты занимают центральное место в обмене азотистых соединений в животном организме, растениях и микроорганизмах, поскольку служат источником образования белков, гормонов, ферментов и многих других сложных органических соединений. Источником аминокислот для человека является продукция растениевод-

ства и животноводства. Печень человека способна путем трансаминирования превращать одну аминокислоту в другую. Но эта способность ограничена, поскольку целый ряд аминокислот не могут синтезироваться в животном организме и должны поступать извне. Только при этом условии в организме может сохраняться азотное равновесие. По аминокислотному составу судят о биологической ценности белков, определяющей эффективность использования азотной пищи для поддержания азотистого равновесия.

Вопрос получения высокого урожая полноценной по качеству продукции очень сложный. Часто основное внимание уделяется получению бóльшего количества продукции. Однако условия выращивания культуры, в том числе и режим питания, не всегда идентичны для получения высокого урожая и одновременно с хорошим качеством продукции. Высокие урожаи — это не синоним высокого содержания элементов питания. В урожае с хорошо удобренных делянок может меньше содержаться некоторых важных элементов, чем в урожае с малопродуктивных делянок. Чтобы этого не случилось, важно знать, какого качества должна быть продукция и как оптимизировать в связи с этим питание растений. В последние годы этому вопросу уделяется большое внимание и в нашей стране, и за рубежом.

В решении проблемы качества продукции важную роль играют минеральные и органические удобрения. При разработке системы удобрения в севообороте или под отдельные культуры важно учитывать специфику действия отдельных питательных элементов, их оптимальных соотношений, сроков и способов внесения удобрений на качество растительной продукции. В зависимости от оптимизации питания растений и технологии применения удобрений последние могут оказывать как положительное, так и отрицательное действие на качество продукции. В некоторых случаях отрицательное действие их объясняется недостатком отдельных питательных элементов в среде, а также сложным взаимодействием их в процессе питания растений. Так, избыток кальция в карбонатных почвах снижает доступность цинка, меди, марганца и других элементов, что вызывает хлороз растений и другие отрицательные последствия.

При правильном применении минеральных и органи-

ческих удобрений качество сельскохозяйственной продукции значительно возрастает: улучшаются химический состав, питательная ценность, а также технологические ее свойства. Качество растительной продукции по сбалансированности макро- и микроэлементов в значительной мере отражает условия выращивания растений. Задача же правильной системы удобрения — приблизить условия питания растений к оптимальным, чтобы получить потенциально возможный урожай высокого качества.

Важно оптимизировать химический состав сельскохозяйственной продукции прежде всего применением удобрений, поскольку все минеральные макро- и микроэлементы выполняют определенные функции в живом организме и они являются постоянными его составными частями. Так, в организме человека содержится около 1,2 кг кальция, 170—180 г калия, 250 г натрия, 25 г магния, 4 г железа и т. д. Недостаток или избыток тех или иных элементов может вызвать функциональные болезни, различные негативные последствия. Не случайно, например, с целью профилактики заболевания человека зобом в настоящее время к поваренной соли добавляют соединения йода. Во избежание кариеса зубов во многих странах проводится фторирование воды до содержания фтора 1 мг/л. В то же время известны случаи отравления фтором при содержании его 10 мг/л.

Нельзя не обратить внимание на то обстоятельство, что во многих опытах по изучению качества сельскохозяйственной продукции исследователи заведомо ставят растение в условия, при которых неизбежно ухудшается качество урожая, например при одностороннем изучении высоких доз какого-либо элемента или без учета плодородия и погодных условий и т. д. В этом случае резко изменяется качество урожая по сравнению с условиями оптимального питания растений. Задача же правильной системы удобрения состоит в том, чтобы создать оптимальные условия питания растений и реализовать потенциальные их возможности, повышая количество питательных элементов в среде и улучшая их соотношение.

Нарушение научных основ системы удобрения может привести к существенному ухудшению качества урожая, и биогенные элементы могут стать токсичными. Это относится как к макро-, так и к микроэлементам. Некоторые элементы, содержащиеся в удобрениях (хлор,

натрий и др.), являются балластными лишь относительно, так как в ряде случаев они бывают полезными для растений и оказывают положительное влияние на их рост, урожай и качество продукции.

В последние годы все большее внимание уделяется негативным показателям качества сельскохозяйственной продукции, в том числе и накоплению в ней тяжелых металлов, нитратов, нитрозосоединений. К тяжелым металлам относят элементы (металлы), плотность которых превышает 6 г/см^3 (цинк, марганец, хром, свинец, никель, кадмий, медь, ртуть и др.). Цинк, медь и марганец являются микроэлементами, необходимыми для жизнедеятельности растений. Наиболее токсичными являются ртуть, мышьяк, кадмий и свинец; роль хрома и никеля в физиологических и биохимических процессах живых организмов изучена недостаточно. Такое деление весьма относительно, так как все необходимые элементы в повышенных дозах становятся токсичными, а некоторые токсические металлы в ультрамикроколичествах могут быть полезны для растений.

Повышенное количество тяжелых металлов в почве ингибирует процесс нитрификации, снижает фиксацию молекулярного азота бобовыми культурами, подавляет активность уреазы, фосфатаз и общую биологическую активность почвы. А это может существенно влиять на метаболизм в растениях, а следовательно, и на качество урожая.

В почве и растениях существует сложное взаимовлияние между макро- и микроэлементами. Это обусловлено плодородием и свойствами почвы, концентрацией элементов, формами минеральных удобрений, биологическими особенностями растений и т. д. Например, известкование снижает токсичность кадмия, свинца, ртути, но и уменьшает доступность таких микроэлементов, как цинк, медь, кобальт и др. Существуют и другие сложные взаимодействия между элементами и их влиянием на культурные растения.

Интересный опыт проведен в Нидерландах (Рао, Ра1, 1978) по определению токсичного уровня цинка в почвах на примере кукурузы и пшеницы. На фоне $\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ вносили цинк (ZnSO_4) под кукурузу в дозе 6,25—800 мг/кг почвы, отличающейся недостаточностью этого элемента (0,32 мг/кг). На пшенице изучали последствие цинка. На растениях кукурузы отмечена

следующая закономерность действия цинка. С повышением его содержания в почве до 3,3 мг/кг выход сухого вещества существенно возрастал, затем оставался постоянным до концентрации 11 мг/кг. Дальнейшее повышение цинка в почве снижало урожай, при 15,9 мг/кг рост кукурузы затормаживался, а при 97 и 109 мг/кг наблюдались симптомы токсичности. Токсичный уровень содержания цинка в растениях кукурузы — 81 мг/кг. Критический же уровень содержания цинка в растениях кукурузы, свидетельствующий о его недостаточности, был 18,2 мг/кг. Пшеница была более чувствительна к цинку. Уже при содержании цинка в почве 7 мг/кг почвы и выше урожай зерна и соломы пшеницы значительно снижался. Токсичная концентрация цинка в зерне и соломе составила 66 мг/кг.

Применение высоких доз минеральных и органических удобрений, осадков сточных вод и других отходов может привести к повышенному содержанию нитратов в грунтовых водах, к накоплению балластных, в том числе токсичных, элементов, которые существенно ухудшают свойства почвы, снижают ее плодородие и как следствие — продуктивность сельскохозяйственных культур и качество урожая.

Химической лабораторией Украинской станции орошения сточными водами установлено, что в сточных водах химического комбината содержится в 5,3 раза больше нитратных соединений, в 10 раз больше соединений аммиачного азота, в 4,6 раза сульфатов, в 5,4 раза хлоридов, в 2,8 раза ионов натрия, чем в речной воде. Результаты исследования зерна кукурузы показали, что содержание нитратов в кукурузе с участков, орошаемых сточными водами, было в 1,3 раза больше, чем в образцах, полученных при орошении речной водой. Скармливание этого зерна кукурузы подопытным животным (белым крысам) уже с трехмесячного возраста приводило к снижению массы тела в 1,3 раза по сравнению с крысами, которым давали зерно кукурузы с участка, орошаемого речной водой. Снижалось также содержание общего белка в сыворотке крови подопытных животных вследствие торможения интенсивности синтетических процессов, в 1,4 раза возрастало содержание гликогена (Петрова и Рыбчинская, 1980).

Исследования, выполненные Институтом агрохимии и почвоведения АН СССР и другими научными учреж-

дениями, показали, что урожай ячменя на серых лесных почвах экспериментальной полевой станции в Пушкине при орошении сточными водами был на 5—9 ц/га, пшеницы в среднем на 14 ц, а зеленой массы кукурузы на 90 ц/га больше, чем при поливах обычной речной водой. На Волжском опорном пункте объединения «Прогресс» близ Волгограда урожайность яровой и озимой пшеницы по сравнению с неполивными условиями возросла с 12—19 до 34—56 ц/га, то есть в 3 раза, а сена суданской травы и люцерны — с 15—19 до 112—142 ц/га, или в 7 раз. Исследования Ростовского медицинского института показали, что зерно, корма и другая продукция, выращенная на поливных участках с использованием сточных вод, отвечала санитарным нормам (Буйлов и др., 1980). Это объясняется тем, что сточные воды были благополучными в отношении содержания токсичных примесей.

В. А. Касатиков и С. М. Касатикова (1980) приводят химический состав термически высушенных осадков сточных вод орехово-зюевских очистных сооружений Московской области. В состав минеральной части их входит до 0,1% хрома, цинка, марганца, стронция, 0,06% свинца и кадмия, 11—14% Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , MgO . Зольность осадка 37—38%, содержание хлора 0,5—0,6%. При норме 60 т/га прибавка урожая зерна от их внесения составила в среднем за 3 года 15,3 ц/га, а картофеля при норме 30 т/га — 24 ц/га. Последствие осадка в норме 60 т/га, внесенного под озимую пшеницу, обеспечило прибавку урожая зерна ячменя 10,7 ц/га, а 30 т/га под картофель — 7,2 ц/га.

Опыты, проведенные в ФРГ, показали, что на участках, где длительное время вносили сточные воды при норме 1400 мм/га, компост из мусора в дозе 480 м³/га и шлам из отстойников — 3050 м³/га, кадмия в почве содержалось 12,5—20,6 мг/кг, на удобренных участках — лишь 1 мг/кг. Концентрация мышьяка на глубине 23—26 см повысилась с 1,75 до 4,12 мг/кг, а селена в верхних слоях почвы — с 0,42 до 1,05 мг/кг (Благовецкая и Юркин, 1979).

R. Schmid (ФРГ, 1978) приводит результаты исследований накопления тяжелых металлов в суглинистой почве при внесении осадка сточных вод. Применяли осадок с двух очистительных станций с высоким содержанием тяжелых металлов (в мг/кг):

	цинка	меди	кадмия	свинца	хрома
в Бюзнау	1500—3000	230—460	7—34	90—300	100—300
в Мюль- хаузене	4200—13 700	410—920	34—71	100—1000	1000—1850

Норма внесения сухого вещества в год 5 т/га. За 10 лет было внесено соответственно (в кг/га): цинка 100 и 300, меди 18 и 41, кадмия 0,68, и 2,4, свинца 12 и 20, хрома 9 и 68. Содержание металлов в почве через 10 лет составило (в мг/кг): цинка 125, меди 37, свинца 53, хрома 3; расчетное увеличение содержания кадмия 0,1—0,5 мг/кг. Следовательно, внесение в течение 10 лет в суглинистую почву осадка в норме 5 т/га сухого вещества в год не привело (несмотря на высокое содержание тяжелых металлов) к их опасному накоплению в почве. Общее содержание исследованных металлов было на уровне, значительно более низком, чем установленное Kloke (1974) ориентировочное допустимое содержание этих металлов в культурных почвах.

L. E. Sommers et al. (1979) показали, что все изученные почвы удерживали медь, цинк, кадмий, свинец и никель, вносившиеся с осадками сточных вод (при норме 22,4 т/га); значительного выщелачивания в почву ниже слоя 0—7,5 см не отмечалось. Вид осадка и тип почвы не влиял на движение металлов вниз по профилю. С повышением нормы осадка до 90 т/га наблюдалось некоторое выщелачивание металлов в слой почвы 7,5—15 см. Накопление тяжелых металлов в почве отрицательно влияет на ее плодородие, микробиологическую деятельность, рост и развитие растений, а также на качество растениеводческой продукции. Поэтому в научном и практическом аспекте большой интерес представляют исследования по определению форм нахождения тяжелых металлов в почве, их трансформации, путей минерализации, размеров выноса из почвы и поступления в продукты питания и корма. С тяжелыми металлами комплексных исследований в цепи почва — растение — животное — человек не проводилось.

Между тем большое внимание сейчас уделяется изучению ПДК тяжелых металлов в почве, в удобрениях, в кормах животных, в продуктах питания человека, а также определению факторов, усиливающих и снижающих поглощение токсических веществ растениями и т. д. По этим вопросам получены интересные данные. Так, ориентировочные предельно допустимые концентрации

валового содержания свинца, цинка и кадмия в почвах, не вызывающего повреждения растений, по Kloke (1974), установлены соответственно около 2000, около 500 и около 50 мг/кг. Если в почве присутствуют все эти три тяжелых металла, то сумма концентраций не должна превышать 2000 мг/кг.

Kloke (1974) считает допустимыми следующие концентрации различных элементов в почве (табл. 69).

69. Концентрация элементов в почвах

Элемент	Концентрация элементов (в мг/кг)		
	общий диапазон концентраций	наиболее часто встречающиеся концентрации	предельно допустимая концентрация
Бериллий	0,1—10	1—5	10
Бор	2—100	5—30	100
Фтор	10—500	50—250	500
Мышьяк	1—50	2—20	50
Кадмий	0,01—1	0,1—1	5
Ртуть	0,01—1	0,1—1	5
Свинец	0,1—10	0,1—5	100
Кобальт	1—50	1—10	50
Хром	1—100	10—50	100
Медь	2—100	5—20	100
Молибден	0,2—10	1—5	10
Никель	1—100	10—50	100
Селен	0,1—10	1—5	10
Цинк	10—300	10—50	300

Примечание. 1. Из-за малого числа экспериментальных данных по бериллию, ртути и кадмию эти величины принимаются как ориентировочные.

2. При возделывании хмеля и винограда допустимо увеличение ПДК меди и цинка в 2 раза.

По данным Kloke (1971), различные виды суперфосфата (в зависимости от сырья) содержат кадмия 1—170 мг/кг. При внесении этого удобрения в дозах 22—44 кг/га в почву поступает кадмия 0,3—0,5 г/га. Это может привести к увеличению содержания кадмия в почве до 0,016 мг/кг, а ПДК его, по Kloke, — 1—5 мг/кг.

В зависимости от местонахождения поля, культуры, интенсивности применения удобрений и различных отходов промышленности на удобрения, удаленности от промышленных объектов, загрязняющих почву, содержание тяжелых металлов в почве и в выращиваемых на ней растений различно. Камре (ФРГ, 1980) приводит природное содержание тяжелых металлов в почвах и растениях (табл. 70).

70. Природное содержание тяжелых металлов в почвах и растениях (в среднем по 16 местобитаниям)

Содержание	Содержание (в мг/кг сухой массы)									
	свинца		кобальта		хрома		меди		ртути	
	почва	расте- ние	почва	расте- ние	почва	растение	почва	растение		
Максимальное	60,19	20,60	0,79	0,06	0,32	2,40	71,30	11,60	0,248	0,071
Минимальное	5,50	1,60	0,12	0,06	0,14	1,20	0,40	7,60	0,029	0,007
Среднее	21,50	6,80	0,34	0,28	0,24	1,55	7,59	9,31	0,112	0,041

71. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в зерне пшеницы и ржи (в мг/кг сухого вещества)

Культура	Число проб	Элемент	1976 г.		1976 г.			
			макси- мальное	среднее	макси- мальное	среднее		
			минимальное	среднее	минимальное	среднее		
Озимая пшеница	38	Марганец	54,00	22,00	38,00	59,00	17,00	39,00
Озимая рожь	10	»	64,00	19,00	36,00	83,00	11,00	40,00
Озимая пшеница	31	Цинк	34,00	20,00	27,00	51,00	21,00	31,00
Озимая рожь	10	»	40,00	23,00	32,00	45,00	26,00	38,00
Озимая пшеница	31	Медь	6,60	3,40	4,40	6,00	2,20	4,00
Озимая рожь	10	»	4,80	2,80	3,90	5,20	2,90	4,20
Озимая пшеница	29	Железо	70,00	25,00	38,00	68,00	35,00	50,00
Озимая рожь	10	»	50,00	30,00	35,00	57,00	38,00	47,00
Озимая пшеница	31	Свинец	0,80	0,80	0,80	<1,00	<1,00	<1,00
Озимая рожь	10	»	0,80	0,80	0,80	<1,00	<1,00	<1,00
Озимая пшеница	31	Кадмий	0,09	0,04	0,06	<0,10	<0,10	<0,10
Озимая рожь	10	»	0,07	0,04	0,06	<0,10	<0,10	<0,10
Озимая пшеница	29	Хром	2,80	0,30	0,70	<1,00	<1,00	<1,00
Озимая рожь	10	»	0,30	0,30	0,30	3,70	0,70	1,50
Озимая пшеница	29	Никель	1,80	0,30	0,60	<1,00	<1,00	<1,00
Озимая рожь	10	»	0,60	0,30	0,40	1,80	0,60	0,90

G. Schmid (1979) установил следующее содержание тяжелых металлов в зерне пшеницы и ржи, которое в большинстве случаев находится в пределах нормы (табл. 71).

N. E. Bassaw и A. Thorman (1979) нормальными концентрациями элементов в растениеводческой продукции считают следующие (табл. 72).

72. Нормальные концентрации элементов и возможный вынос их растениями

Элементы	Нормальные концентрации (в мг/кг сухого вещества)	Вынос растениями в год (в г/га)
Мышьяк	0,1—1	1—50
Бор	30—75	200—800
Бериллий	0,1	0,5—1
Бром	15	50—150
Кадмий	0,05—0,2	0,3—8
Кобальт	0,3—0,5	1—6
Хром	0,2—1	1—10
Медь	2—12	30—150
Фтор	2—20	20—200
Ртуть	0,005—0,01	0,2—1,5
Никель	0,4—3	10—30
Свинец	0,1—5	1—80
Сурьма	0,06	1—5
Селен	0,2—2,0	1—15
Олово	0,8—6	5—50
Цинк	15—150	100—500

G. Störmann (ФРГ, 1981) исследовал 213 проб кормового зерна и 45 проб побочных продуктов помола. Среднее содержание свинца в кормовом зерне составило 0,58 мг/кг, кадмия 0,07 мг/кг (среднее из 84 проб, в 62% проб элемент не обнаружен). В побочных продуктах помола среднее содержание свинца составило 0,70 мг/кг, кадмия 0,06 мг/кг. Самое высокое среднее содержание свинца (0,79 мг/кг) найдено в зерне пшеницы. Из побочных продуктов самое высокое содержание свинца (1 мг/кг) обнаружено в отрубях. В 7 пробах кормового зерна (из 84) содержание кадмия превышало 0,1 мг/кг. Допустимое содержание свинца в отдельных (несмешанных) кормах — 10 мг/кг, на практике же содержание свинца в кормах свиней и птиц не превышает 5 мг/кг. Допустимое содержание кадмия в смешанных кормах промышленного приготовления — 0,5—1 мг/кг.

В настоящее время распространено мнение, что широко используемые различные виды органических удобрений и осадков сточных вод могут снижать качество сельскохозяйственной продукции вследствие избыточного накопления нитратов и токсических элементов в почве. В связи с этим во многих странах большое внимание уделяется контролю за использованием этих удобрений, особенно осадков сточных вод.

В ФРГ (Förster, 1978) были проведены исследования по влиянию различных доз свиного навоза на содержание нитратов, аммония и фосфора в почве и в грунтовых водах. Опыты были поставлены на двух почвах: дерновой мощностью 40—50 см (ниже 3 м — рыхлый светло-серый мягкий песок) и глеево-подзолистой (0—30 см — темно-серый гумусированный рыхлый мягкий песок, 30—55 см — бурый, слабогумусированный плотный мелкий песок, 55—155 см — серый с железистыми конкрециями мелкий рыхлый песок, 200—300 см — песок, содержащий глину). На первой почве нормы свиного навоза — 50 и 150 м³/га, на второй — 30, 60 и 100 м³/га (табл. 73).

73. Среднее содержание нитратов в поверхностных грунтовых водах в зависимости от удобрения

Вариант опыта	Содержание нитратов (в мг/л) в грунтовых водах почв	
	дерновой	глеево-подзолистой
Минеральное удобрение	22	40
Свиной навоз (в м ³ /га):		
30	—	36
50	49	—
60	—	41
100	—	61
150	150	—

Содержание нитратов в грунтовых водах особенно резко повышалось при внесении 150 м³/га свиного навоза. Среднее содержание аммиачного азота в грунтовой воде на дерновой почве — 0,2—0,6 мг/л, на глеево-подзолистой — 0,5—1,3 мг/л. Содержание аммиачного азота в грунтовых водах свиной навоз по сравнению с минеральными удобрениями не повышал. Среднее содержание фосфора по вариантам колебалось от 0,1 до 0,6 мг/л. Такие же концентрации фосфора найдены и в

грунтовых водах на удобренных почвах. Навоз не повышал содержания фосфора и по сравнению с минеральными удобрениями.

Из данных этого опыта видно, что на содержание нитратной и аммиачной форм азота, а также фосфора влияла структура почвы. Так, на дерновой почве с более мощным гумусовым слоем содержание нитратов было больше, аммиачного азота и фосфора меньше, чем на глеево-подзолистой почве с менее мощным слоем гумуса. Все это подтверждает необходимость дифференцированного подхода к использованию различных видов навоза под сельскохозяйственные культуры с учетом конкретных условий их выращивания, свойств почв и химического состава применяемого навоза в зависимости от рационов кормления скота, способов уборки экскрементов, обеззараживания, дезодорации и хранения.

Важно знать содержание азота, фосфора, калия, микроэлементов в навозе, а также отношение углерода к азоту и т. д. Весьма актуально дальнейшее изучение доз, способов и сроков внесения бесподстилочного навоза на урожай и качество продукции разных культур, а также эффективности круглогодичного использования бесподстилочного навоза.

Требуют также расширения и углубления исследования по систематическому использованию высоких доз бесподстилочного навоза, сочетанию его с соломой и минеральными удобрениями, действию этого удобрения на плодородие и свойства почвы, накопление в ней тяжелых металлов, образование гумуса и процессы его минерализации, миграцию элементов питания растений по профилю почвы, загрязнение грунтовых вод нитратами и солями тяжелых металлов.

Жидкий навоз содержит значительное количество патогенных микроорганизмов. При анаэробном его разложении образуются вредные газы (сероводород, аммиак и др.), а также жирные кислоты, амины и другие соединения с неприятным запахом. Поэтому при отсутствии должного контроля за его хранением и использованием создается реальная опасность распространения инфекционных заболеваний, а также загрязнения окружающей среды. Предельно допустимые нормы внесения жидкого навоза зависят от свойств и плодородия почвы, химического состава навоза, выноса питательных элементов культурами и других факторов. Если культурами

выносятся меньше элементов питания, чем вносится с удобрениями, то они в большей мере вымываются из почвы, загрязняя грунтовые воды. Кроме того, высокая концентрация солей, особенно в засушливые годы, может снижать урожай культур.

В многолетнем стационарном опыте в плодосменном кормовом севообороте на дерново-подзолистой тяжело-суглинистой почве Центральной опытной станции ВИУА длительно изучалось влияние ежегодного внесения высоких доз бесподстилочного навоза на урожай, его качество и свойства почвы. Под кукурузу вносили пять возрастающих доз, содержащих азота соответственно 160, 320, 480, 640 и 800 кг/га. Опыты показали, что первая и вторая дозы обеспечивали высокие прибавки урожая зеленой массы кукурузы; следующие дозы не вызвали существенного повышения урожая и оказались неоправданными. К тому же они ухудшали качество корма из-за большого содержания в нем нитратов.

В США рекомендуется вносить такое количество навоза в основном приеме, которое обеспечивает ежегодное поступление в почву азота 112 кг/га (Ivehr, 1974). В штате Иллинойс предельными нормами ежегодного внесения жидкого навоза считают: крупного рогатого скота 50—70 т/га, свиного 25—37, птичьего помета 10—20 т/га.

При внесении жидкого навоза с поливной водой важно определять предельную ее норму, чтобы не было переувлажнения почвы, поверхностного стока, загрязнения навозом воды или инфильтрации избыточного количества нитратов в грунтовые воды. Оптимальной нормой поливной воды считается 50 мм. При внесении 370—750 мм жидкости при фильтрации через почву задерживается 79—93% органических соединений углерода, 90—97% общего фосфора и 48—67% общего азота. При более низких нормах обеспечивается более полное поглощение компонентов почвой и меньшее загрязнение дренажных вод (Koclliker, 1971).

Большое значение имеют оптимальные сроки внесения бесподстилочного навоза. В основных земледельческих районах нашей страны почти на всех почвах, за исключением песчаных и супесчаных, а также в районах избыточного увлажнения под яровые культуры наиболее эффективно осеннее внесение навоза под зяблевую вспашку. В связи с напряженностью осенних

сельскохозяйственных работ, связанных с уборкой урожая, многие хозяйства вносят его весной. А это требует больших капиталовложений на строительство емкостей для хранения навоза зимой. Кроме того, внесение бесподстилочного навоза весной сопряжено с рядом организационных и агротехнических трудностей. Внесение его цистернами-разбрасывателями приводит к сильному уплотнению почвы, задержке весенне-полевых работ, а следовательно, и к снижению эффективности.

Многочисленные отечественные и зарубежные опыты показывают, что хотя зимнее внесение бесподстилочного навоза по действию уступает осеннему и весеннему, однако его можно рекомендовать на крупных животноводческих комплексах. Вносить его целесообразно при снежном покрове до 20 см и температуре воздуха до 10 °С. Этот прием недопустим на затопляемых участках, на склонах, где возможен смыв его талыми водами.

В ГДР с санитарно-гигиенической точки зрения высокие дозы жидкого навоза вносят под вспашку, но с соблюдением условий, предотвращающих отрицательное влияние на величину и качество урожая, а также загрязнение грунтовых вод. При поверхностном внесении жидкого навоза подкормки кормовой и сахарной свеклы, парозанимающих и кормовых культур проводят не позже чем за 28 дней до уборки, продовольственного картофеля и зерновых культур — не позже фазы цветения, сенокосов и пастбищ — не позже чем через 7 дней после скашивания или стравливания. Не рекомендуется проводить подкормку жидким навозом овощей, низкоствольных плодовых деревьев, кустарников и ягодников.

Многочисленные исследования проводятся и по эффективному использованию в земледелии различных бытовых и других сточных вод.

В техническом бюллетене Агентства по охране окружающей среды США даны сведения о предельных концентрациях тяжелых металлов, не вызывающих негативного действия на растение и почву. Так, при условии непрерывного использования сточных вод на почвах всех типов концентрация кадмия не должна превышать 0,01 мг/л, хрома — 0,1, меди — 0,2, свинца — 5, никеля — 0,2, цинка — 2 мг/л.

В незагрязненных пахотных почвах юго-восточных районов Шотландии содержание кадмия не допускается выше 0,1 мг/кг. Удобрение осадком, содержащим до-

ступного кадмия 5 мг/кг, даже в дозе 25 т/га может повысить уровень доступного кадмия в почве на 50%, более 5 мг/кг опасно с точки зрения экологии. По данным анализа 37 образцов, содержалось следующее количество микроэлементов (в мг/кг):

	бора	меди	никеля	свинца	цинка	кадмия
в осадках сточных вод	13,3	146	7,2	37,1	489	1,9
в почвах	0,6	4,0	1,1	1,2	3,4	0,13

Интенсивность загрязнения почвы микроэлементами в результате применения осадка сточных вод можно видеть и из другого опыта, проведенного в Шотландии. На 1 га пашни вносили 150 т осадков сточных вод, затем в течение 3 лет определяли содержание микроэлементов в почве. Образцы отбирали через каждые 6 месяцев. Результаты этих исследований показали, что в течение трех лет уровень загрязнения почвы микроэлементами практически не снижался (табл. 74).

74. Концентрация микроэлементов (в мг/кг) в сухом веществе осадков сточных вод и в удобренной ими почве (Purves, Johnson, 1978)

Объекты и сроки исследований	Вода		Уксусная кислота 0,5 н				Общая ртуть	
	бор	медь	свинец	никель	цинк	кадмий		
	ЕДГА	ЕДГА						
Осадок сточных вод	11,00	18,1	14,5	18,5	570	3,3	23	
Декабрь 1971 г.	Н	0,83	3,1	0,8	0,9	3,4	0,14	0,15
	У	1,00	31	1,8	2,6	42	0,41	0,61
Июнь 1972 г.	Н	0,90	2,8	1,0	0,8	2,8	0,14	0,12
	У	0,74	9,0	1,4	1,4	17	0,28	2,1
Декабрь 1972 г.	Н	0,92	3,7	0,8	0,8	3,7	0,12	0,09
	У	0,80	30	2,7	2,8	48	0,48	1,38
Июнь 1973 г.	Н	0,90	7,7	1,0	0,9	5,2	0,14	0,14
	У	0,96	15	1,2	1,4	20	0,24	0,56
Январь 1974 г.	Н	0,73	3,8	0,9	0,9	3,4	0,13	0,10
	У	0,69	36	4,4	2,9	46	0,49	1,6
Июнь 1974 г.	Н	0,57	3,0	0,8	0,8	2,8	0,12	0,12
	У	0,64	50	3,9	2,9	49	0,54	2,1

Примечание. Н — почва неудобренная; У — почва, удобренная осадками сточных вод.

Можно привести и другой пример. На опытной станции университета штата Миннесота (Сан-Паул) в четырехлетних опытах изучали влияние различных доз осад-

ка сточных вод (112, 225 и 450 т/га) на урожай и поглощение микроэлементов фасолью. Урожай увеличивался пропорционально дозам вносимых удобрений. Такой же зависимости от доз удобрений подчинялось и накопление меди и цинка в съедобной части растений. Однако при достижении определенного уровня содержание этих элементов не менялось независимо от дальнейшего повышения доз удобрений. Максимальная концентрация меди в съедобной части фасоли составила 12 мг/кг, цинка — до 22 мг/кг. Подобным же образом изменялась и концентрация этих тяжелых металлов в листьях растений. Наивысшей она была соответственно 12 и 120 мг/кг. Содержание весьма токсичного кадмия не превышало 0,1 мг/кг съедобных частей растений независимо от доз удобрений (Dowdy et al., 1978).

При выращивании растений на почвах с повышенным содержанием тяжелых металлов и других микроэлементов они обычно накапливаются в вегетативных частях растений; в генеративных органах содержание их повышается в значительно меньшей мере. Это подтверждается многими исследованиями. Например, в США были проведены полевые опыты с внесением под сою проком-постированного осадка сточных вод в дозах 25, 50, 100 и 200 т/га. Кроме того, отдельно вносили соли цинка, меди, никеля, свинца, кадмия и хрома в количествах, эквивалентных их внесению с 50 т/га осадков сточных вод (Ham, Dowdy, 1978).

Состав осадка сточных вод был следующий (табл. 75).

Применение осадка сточных вод мало влияло на урожай зерна сои и содержание в растениях азота. Масса клубеньков на корнях уменьшалась с увеличением доз осадка, что находилось в соответствии с количеством внесенного азота. Изменялась и концентрация макро- и микроэлементов в растениях, но по-разному в зерне и вегетативных частях сои. Так, если общее поглощение кадмия растениями возрастало на 113% по сравнению с контролем, то накопление кадмия в зерне увеличивалось на 33%. Общее поглощение хрома соей увеличивалось на 25% по сравнению с контролем, а содержание его в зерне не изменялось. Результаты этих исследований показывают, что большая часть кадмия и хрома находилась в вегетативных органах сои — в листьях, стеблях, створках стручков.

75. Общий элементарный состав осадка сточных вод

Элемент	Концентрация	Внесено с осадком в норме 50 т/га (в кг/га)	Элемент	Концентрация	Внесено с осадком в норме 50 т/га (в кг/га)
	%			мг/г	
Азот (общий)	2,73	1365	Алюминий	4080	205
Фосфор	4,37	2185	Цинк	2130	105
Калий	0,25	125	Медь	2020	100
Кальций	4,98	2490	Хром	1100	55
Молибден	0,45	225	Свинец	2560	130
Натрий	0,61	305	Марганец	530	26
Железо	1,60	800	Никель	440	22
			Кадмий	12	0,6
			Бор	35	1,8

Примечание. Концентрация в осадке, высушенном при 105 °С; примерное содержание в нем органического вещества 37%.

Соли металлов вносили отдельно и в комбинациях. Выявлено взаимовлияние элементов на поступление их в вегетативные части и в зерно. Так, при комбинации цинк — кадмий — медь присутствие кадмия стимулировало накопление цинка в листьях сои, а присутствие меди уменьшало концентрацию как цинка, так и кадмия. Опыты не выявили существенных различий в концентрации цинка в зерне при внесении одного цинка и в указанных комбинациях элементов. Накопление же кадмия в зерне при совместном внесении солей цинка и кадмия было меньше, чем при внесении одних солей кадмия.

Важно отметить и другое. В содержании цинка, меди и хрома в зерне не было различий в зависимости от того, поступали они с осадками сточных вод или с солями. При внесении же кадмия с солями этого элемента в зерне было примерно в 1,5 раза больше, чем при внесении с осадком (соответственно 0,18 и 0,11 мг/г).

Концентрация цинка в вегетативных частях с увеличением доз осадка возросла до 331 мг/г. Максимальная концентрация в зерне была 69 мг/г. Кадмий и цинк концентрировались также в листовой части сои. Содержание в листьях кадмия достигало 1 мг/г, в зерне же этого элемента содержалось не более 0,15 мг/г. Стебли по концентрации кадмия занимали промежуточное по-

ложение. То же можно отметить и в отношении меди. С увеличением доз осадка концентрация этого элемента в листьях соответственно возрастала, а в других частях растений не изменялась. Последствие осадка сточных вод на накопление этих элементов в листьях и зерне сои было аналогичным.

Известно, что такие тяжелые металлы, как свинец, кадмий и ртуть, занимают особое место среди загрязнителей, так как их соединения довольно устойчивы и сохраняют токсические свойства в течение длительного времени. И. И. Скрипниченко и Б. Н. Золотарева (1981) показали, что до определенной концентрации свинца в почвенном растворе растение регулирует поступление тяжелых металлов в надземную часть. При более высоких концентрациях (более 200 мг/л) защитные механизмы растений не могут препятствовать поступлению тяжелых металлов в надземную часть. В то же время независимо от доз токсиканта в питательном растворе содержание его в зерне было постоянным и минимальным — 0,02—0,004% от внесенного количества, в корнях и стебле соответственно 21 и 1,2%. Характер распределения свинца в биомассе растений (корни > надземная часть > зерно) свидетельствует о наличии по крайней мере трех защитных механизмов (барьеров): на границе почва — корень, корень — стебель, стебель — зерно.

Опыты (Findenegg и Haunold, 1972) на разных почвах показали, что даже при стократном превышении природного содержания ртути в почве (10 мг/кг) яровая пшеница (сорт Sveppo) поглощала лишь незначительные ее количества — 0,1—10 мкг/кг, что намного ниже ПДК (0,05 мг/кг).

Корневая система обладает защитной функцией, тормозящей продвижение токсических ионов в фотосинтезирующие органы растения (Ильин и Степанова, 1980). При загрязнении чернозема выщелоченного среднесуглинистого свинца и кадмия в растение поступает гораздо меньше, чем из почв, бедных гумусом и илом (дерново-подзолистая супесчаная). Эти токсичные элементы в наибольших количествах накапливались в корнях пшеницы, меньше в листьях и еще меньше в зерне.

При усилении загрязнения почвы свинцом и кадмием их поступление в растение возрастает, но закономерность накопления от корней к зерну сохраняется. Исследования показали, что накопление в почве свинца, не

превышающее 100 мг/кг, мало отражается на величине урожая пшеницы, а содержание его в листьях пшеницы в фазу кущения (4—5 мг/кг сухой массы) соответствует ПДК в том случае, если пшеница выращивается на зерно. Дозы кадмия 0,5—1 мг/кг почвы на выщелоченном среднесуглинистом черноземе не оказывали отрицательного влияния на рост и развитие пшеницы. На дерново-подзолистой почве лишь высокие дозы кадмия (10 и 20 мг/кг) почвы заметно снижали урожай пшеницы.

В опытах элементы-загрязнители характеризовались разной степенью проникания в растения. Так, кадмий по сравнению со свинцом относительно меньше поглощался почвой, легко проникал в листья и семена яровой пшеницы, т. е. подвижность кадмия в системе почва — растение была выше, чем свинца. Кадмий примерно в 10 раз токсичнее свинца. Токсичность этих элементов на яровой пшенице сильно возрастала на дерново-подзолистой почве по сравнению с выщелоченным черноземом.

Исследования А. И. Обухова и др. (1980) подтвердили, что учет свойств почв — непременное условие при установлении ПДК тяжелых металлов. Так, на дерново-подзолистых неокультуренных почвах дозы свинца 125—250 мг/кг заметно снижали рост ячменя, а на окультуренных почвах угнетение роста ячменя начиналось с дозы 1000 мг/кг, на черноземах и торфяно-глеевых почвах ячмень рос хорошо и практически не реагировал на внесение свинца. При внесении кадмия на дерново-подзолистой неокультуренной почве признаки угнетения роста ячменя появились при дозе 10 мг/кг, на дерново-подзолистой окультуренной — только при дозах 50 и 100 мг/кг, а на черноземе и торфяно-глеевой почве признаки угнетения роста ячменя в зависимости от доз внесения кадмия практически отсутствовали, и только при дозе 100 мг/кг на черноземе наблюдалось слабое отставание в росте. Это сказалось и на урожае ячменя. На дерново-подзолистых почвах резкое снижение урожая (соломы и зерна) ячменя отмечалось при внесении кадмия в дозе 20 мг/кг, а свинца 1000 мг/кг. На черноземе же и торфяно-глеевой почве только очень высокие дозы тяжелых металлов (свинца 2000—3000 мг/кг, кадмия 100 мг/кг) заметно снизили урожай зерна ячменя.

По данным исследований США и Канады, в организм человека с продуктами питания ежедневно поступает 23—150 мкг кадмия при допустимой (ФАО) дозе

76. Содержание кадмия в сырье и удобрениях (Swaine, 1962)

Материал	Содержание кадмия (в мг/кг)	Страна
Фосфоритная руда	< 10	Польша
	< 100 или 100	США
	110	Океанические острова
Известняк	13	Норвегия
Фосфорные удобрения	18—91	Австралия
Суперфосфат	110	США
Калиевые и натриевые солевые отложения	50—170	Австралия
	1	Польша

70 мкг. В настоящее время объединенный комитет ФАО (ВОЗ), проанализировав многочисленные данные исследований, в качестве временно толерантной нормы предложил 400—500 мкг на человека в неделю (Mathy, 1974).

Как уже указывалось, кадмий является составной частью удобрений — фосфоритной руды и суперфосфата. Большая часть фосфоритов содержит кадмий в пределах 5—100 мг/кг, большая часть его или полностью он переходит в удобрения (Williams and David, 1976). Содержание кадмия в сырье и удобрениях показано в таблице 76.

По данным опытов, концентрация кадмия в удобрениях, применяемых в штате Висконсин (США), находится в пределах 1,5—9,7 мг/кг (в среднем 4,3 мг/кг). Ежегодно с минеральными удобрениями там вносится в почву ~2150 кг этого элемента. По данным D. Swaine (1962), содержание кадмия в суперфосфате, производимом в Австралии, достигает 170 мг/кг (в среднем 38—48 мг/кг).

По данным K. W. Lee и D. R. Keeney (1975), более 80% кадмия, внесенного с фосфорными удобрениями при обычной агротехнике удерживается в катионообменной форме в окультуренных слоях почвы, за исключением кварцевого песка, где теряется около 50% кадмия. Применение простого суперфосфата в дозе 2500 кг/га на некоторых красноземах с высокой способностью фиксировать фосфор повышало содержание общего кадмия в 10 раз, кислоторастворимого — в 4—12 раз.

Другой значительный источник поступления кадмия в почву — осадок городских сточных вод. По данным

Bingham et al. (1975), содержание кадмия в сухом остатке сточных вод в США находится в пределах 1—1,5 мг/кг. Высокое содержание кадмия в осадке (5—54 мг/кг) отмечено в Дании. При высоких нормах расхода осадка сточных вод кадмия в почве накапливается больше, чем при внесении удобрений. По данным К. W. Lee и D. R. Keeney (1975), при ежегодном внесении удобрений в дозе 2150 кг/га и осадка 1700 кг/га концентрация кадмия в почве составляет соответственно 0,001 и 0,18 мг/кг. Чтобы уравнивать разовое внесение осадка 9 м³/га по содержанию кадмия, фосфорные удобрения потребуются вносить в течение 186 лет.

В Швеции (Andersson, 1976) ПДК для внесения кадмия в почву — 4 г/га в год (содержание кадмия в пахотном слое почвы 0,55 кг/га). Если исходить из этой нормы, содержание кадмия в фосфорных удобрениях не должно превышать 8 мкг/г, а в осадке сточных вод — 4 мкг/г. Если вносить больше, к примеру 20 т/га в год, то увеличение составит 16 г, или 34%, и за 35 лет содержание кадмия в почве удвоится. В этой стране изучали накопление кадмия в почве при внесении навоза. Содержание кадмия в навозе в среднем составляет 0,4 мг/кг сухой массы. При норме расхода сухого вещества с навозом до 5 т/га ежегодно кадмия вносится 1—4 г/га, или 1% от содержания общего кадмия в верхнем слое почв (550 г/га). При таком уровне поступления риск накопления кадмия в почве из навоза незначительный.

Другим весьма токсичным элементом является ртуть. По обобщенным данным многочисленных исследователей, в различных почвах содержится следующее количество этого элемента (табл. 77).

Содержание ртути в различных образцах растений колеблется от $1 \cdot 10^{-7}$ до $n-10^{-3}\%$ в пересчете на сухую массу. Ртуть в растениях накапливается главным образом в корнях, стеблях и соломе. В корнях может содержаться до 95% всей ртути в растениях. Согласно санитарным нормам, содержание ее в пищевых продуктах растительного происхождения безопасно в том случае, если в почве ее содержится не больше 2,5 мг/кг (Зырин, Обуховская, 1980).

ПДК ртути в растительных продуктах следующая: в Великобритании — 0,1 мг/кг, в Дании — 0,05, в Австрии, Бельгии, Голландии — 0,03 мг/кг; в СССР и ФРГ

77. Содержание ртути в почвах разных стран и районов
(Зырин, Обуховская, 1980)

Страны, районы, почвы	Содержание ртути (в мг/кг)	
	среднее	колебания
Почвы СССР		
Европейская часть	0,01	—
Дерново-подзолистая (Московская область)	—	0,04—0,75
Дерново-подзолистая (Алтай)	—	0,06—0,20
Серые лесные (Тульская область)	—	0,10—0,80
Черноземы (Курская область)	—	0,10—0,40
Каштановые (Казахстан)	0,0127	—
Бурые горно-лесные (Северная Осетия)	—	0,05—0,48
Почвы Европы		
Швеция	0,0601	0,004—0,992
Великобритания (садовые)	—	0,01—0,06
Нидерланды	—	0,01—0,09
Франция (коричневые)	0,04	—
Австрия	0,095	0,005—0,34
Почвы США		
Сельскохозяйственные районы	0,11	—
Индустриальные районы	0,10	—
Восточные районы	0,096	0,05—0,10
» »	0,071	0,055—4,60
Калифорния	—	0,02—0,04
Пенсильвания	—	0,002—0,0146
Почвы Канады		
Северо-западная часть	—	0,05—0,14
Саскачеван	—	0,01—0,06
Альберта	—	0,016—0,041
Манитоба	—	0,015—0,053
Онтарио	—	0,01—0,16
Почвы Японии (рисовые)	0,214	0,086—0,333
Почвы Африки	0,023	—

совершенно не допускается присутствие ртути в продуктах растениеводства. Объединенный комитет ФАО (ВОЗ) установил ПДК ртути в продуктах растениеводства не выше 0,02—0,05 мг/кг (Фокина, 1976).

Источниками поступления ртути в почву и растения являются минеральные удобрения, сточные воды, различные пестициды.

В сырье для удобрений содержится следующее количество ртути (в мг/кг): в фосфоритах Польши < 10 , США — $10-1000$, Японии — $0,007-0,036$, в калиевых и натриевых солевых отложениях Польши < 10 , в известняке Восточной Германии $0,028-0,100$, Норвегии — $0,7$ (Swainl, 1962).

Большая часть удобрений содержит ртути < 1 мг/кг. В удобрениях, производимых в Швеции, ртути содержится $0,005-0,230$ мг/кг, в суперфосфатах Австралии — < 1 мг/кг (Williams, 1977). Содержание ртути в осадке сточных вод в США, Канаде, Швеции, Англии, Уэльсе находится в пределах $0,1-56$ мг/кг сухой массы (в среднем 5 мг/кг), в отдельных случаях (в Швеции) достигает 120 мг/кг (Wimmer, 1974).

В полевых опытах в Швеции (Andersson, Nilsson, 1976) изучали накопление ртути в почве и растениях при длительном применении осадка сточных вод с содержанием ее $11,5$ и $7,6$ мг/кг сухой массы при средней норме внесения осадка 7 т/га в год (всего за время исследования внесли ~ 120 т/га). За период исследования содержание в почве ртути, растворимой в HNO_3 , увеличилось в 15 раз и значительно превышало содержание ртути в почве при внесении того же количества органического вещества в форме навоза: соответственно $0,75 \pm \pm 0,06$ и $0,047 \pm 0,004$ мг/кг почвы. По мнению авторов, длительное использование осадка сточных вод допустимо лишь в случае, если содержание ртути в нем будет приведено в соответствие с ее уровнем в навозе (среднее содержание ртути в подстилочном навозе в Швеции $0,08$ мг/кг). Верхним пределом внесения ртути с навозом считают $1,8$ г/га в год (при содержании ее в пахотном слое почвы $0,16$ г/га).

Главным источником антропогенного поступления тяжелых металлов на земную поверхность являются промышленные выбросы горнодобывающей, металлургической и химической промышленности. Только в результате работы металлургических предприятий на поверхность земли ежегодно поступает не менее $154\,650$ т меди, $121\,500$ т цинка, $89\,000$ т свинца, $12\,000$ т никеля, 765 т кобальта, 1500 т молибдена, $30,5$ т ртути. В районах промышленных комплексов почва в значительной степени загрязняется продуктами сгорания топлива, зола которых практически содержит все техногенные металлы. Так, вследствие сжигания угля и нефти на по-

верхность земли поступает ежегодно 1600 т ртути, 3600 т свинца, 2100 т меди, 7000 т цинка, 3700 т никеля. С выхлопными газами автотранспорта на земную поверхность попадает 260 000 т свинца в год, что почти в 3 раза превосходит количество этого элемента, поступающего в почву от металлургических предприятий (Большаков и др., 1978).

Тяжелые металлы в разной степени, но хорошо адсорбируются пахотным слоем почвы, особенно если она высокогумусированна и имеет тяжелый гранулометрический состав. В США (Landa, 1978) изучали поглощение ртути из почвы пыреем и другими культурами. Опыты проводили на пяти почвах. Порции почвы по 70 г обогащали ртутью 1 мкг/г. Для сравнения результатов опыта пользовались показателем концентрации ртути

$$ФК = \frac{\text{мкг растения}}{\text{мкг почвы}}$$

В верхней надземной части растений пырея этот показатель был равен 0,01—0,1. Важно также отметить, что самые низкие концентрации ртути в тканях растений пырея были при выращивании его на почвах с высоким содержанием органического вещества и физической глины. Самые же высокие концентрации ртути в пырее были при выращивании его на почвах с высоким содержанием извести. Во всех случаях ртуть не вызывала симптомов токсичности и не снижала урожай пырея по сравнению с контролем. Исследования показали, что потери ртути из системы почва — растение к концу 22-дневного периода роста составили 9—21% от внесенного количества. Результаты этих исследований позволили прийти к заключению, что в связи с незначительным содержанием ртути, найденным в надземных частях пырея, он не может быть источником повышения количества ртути в кормовой и пищевой цепи.

Фактор концентрации ртути для костра, выращиваемого на почве, обогащенной ртутью (10 мкг/г), составил 0,05—0,06, для пшеницы и ячменя, выращиваемых на почве, обогащенной ртутью (0,5 мкг/г), — 0,04—0,11. По данным Munshower и Beham, фактор концентрации кадмия для пырея, выращиваемого в 20 милях от плавильного завода был равен 0,8.

Исследования подтверждают высокую санитарную роль гумуса, а следовательно, и необходимость принятия комплексных агрохимических мер для создания не только

бездефицитного, но и положительного баланса гумуса в почве. Снижение содержания гумуса в почве, легкий гранулометрический ее состав приводят к некоторой миграции токсичных элементов по профилю почвы. Л. Г. Бондарев (1976) отмечает, что на почвах, загрязненных тяжелыми металлами, наблюдалось значительное снижение урожайности: зерновых культур на 20—30%, сахарной свеклы на 35%, бобовых на 40%, картофеля на 47%. Отрицательное влияние тяжелых металлов усиливается при недостатке какого-либо фактора развития растений или при выращивании их в экстремальных условиях. Так, в Белорусской ССР при внесении под картофель меди, марганца и цинка (30 кг/га) урожай клубней понизился на 10—15%, а в засушливом году — в 2—3 раза по сравнению с контролем. Содержание этих элементов в клубнях возросло в 4—5 раз (Кудло, 1976).

Влияние тяжелых металлов на урожай в значительной степени зависит от типа и разновидности почвы (Большаков и др., 1978). Так, кадмий, кобальт, свинец, ртуть и никель вносили из расчета по 20 и 100 кг/га в песчаную, глинистую и торфяную почвы при низком и высоком уровнях известкования. Никель понижал урожай зерновых культур на всех почвах лишь при низких дозах извести. При внесении ртути на песчаных почвах независимо от уровня известкования отмечалась полная гибель урожая. На торфяной почве уменьшился сбор соломы независимо от уровня извести, на глинистой урожай зерна снизился при высоких дозах извести. Внесение кобальта привело к снижению урожая зерна на глинистых почвах и уменьшению сбора соломы на торфяных почвах независимо от уровня извести, а на песчаных почвах — к снижению урожая зерна при низких дозах извести. Внесение свинца на всех трех почвах при обоих уровнях извести не влияло на урожай.

Уровень токсичности тяжелых металлов зависит от гранулометрического состава почвы, ее кислотности, содержания гумуса, влажности почвы, соотношения в среде металлов и питательных элементов, вида растения и т. д. Пределы токсичности тяжелых металлов обычно устанавливаются по действию их на растение. Если растение снижает урожай от того или иного элемента на 5—10%, то уровень содержания его в почве считается токсичным. Предел содержания того или иного токсичного

элемента в почве устанавливают обычно с учетом наиболее чувствительной культуры.

При определении степени насыщения почвы токсичными элементами могут оказать помощь пчелы. В США (Schweisheimer, 1978) проводили анализ проб пчелиного меда из ульев, находящихся в разных по степени атмосферного загрязнения зонах: вблизи автострад, цинковых рудников, в промышленных районах и др. В качестве контроля брали улей из «чистой» сельской местности. Оказалось, что концентрация тяжелых металлов в меде соответствует концентрации их на местности, где насекомые собирали нектар. Радиус сбора нектара пчелами, как правило, составлял 1,5 км от улья (иногда до 6 км). В Голландии, например, в качестве растений-индикаторов, чувствительных к загрязнению атмосферы, используют табак, белую петунию, лилию, райграс.

Часто отсутствует зависимость между уровнем содержания тяжелых металлов в почве и поглощением их растениями. Это определяется видом растения, свойствами почвы, а также формой содержащегося элемента в почве. Н. Вашкулат (1974) указывает на отсутствие зависимости между содержанием мышьяка в почве и количеством его в растениях. Так, при концентрации мышьяка в почве 2 мг/кг в растениях его содержится в 3,6 раза меньше, чем в почве, при 7 мг/кг — в 5 раз меньше, а при 47 мг/кг — в 8,8 раза меньше. Не установлена корреляция между содержанием меди в почве и в растениях пшеницы, кукурузы, люцерны, между содержанием кадмия в почве и в зерне риса (Carlony et al., 1974).

Отсутствие зависимости между содержанием тяжелых металлов и выносом их растениями часто наблюдается на высокогумусированных почвах, так как органическое вещество почвы адсорбирует металлы, образуя комплексные соединения в виде хелатов и переводя металлы в менее доступную для растений форму.

Поэтому важно выбрать правильный метод определения содержания тяжелых металлов в почве, в удобрениях, в природных водах, в растениях, а также методику определения их токсичного уровня. Содержание тяжелых металлов необходимо изучать во всей биологической цепи: почва — растение — животное — человек. Именно с почв необходимо начинать нормирование содержания тяжелых металлов, так как они влияют на

химический состав природных вод, воздуха, растения, на продукты животного происхождения, а следовательно, и на здоровье человека. Введение единых ПДК будет способствовать объединению усилий различных государств в области охраны окружающей среды от загрязнения.

Институтом общей и коммунальной гигиены им. А. Н. Сысина дано следующее определение понятия ПДК атмосферных загрязнителей. Это предельно допустимая концентрация вредного вещества в атмосфере, или максимальная концентрация, отнесенная в среднем к определенному времени (20—30 мин, 24 ч, месяц, год), которая при регламентированной вероятности ее появления не оказывает ни прямого, ни косвенного вредного воздействия на человека, его потомство и санитарные условия жизни. К сожалению, установление ПДК токсических веществ для различных сред (атмосфера, почва, вода), а также продуктов питания и кормов — проблема еще далеко не решенная. Важно учитывать комплексное воздействие на организм разных загрязненных сред и различных токсических веществ.

Советскими учеными проводятся исследования по разработке методики и установлению ПДК тяжелых металлов в почве. Институтом общей и коммунальной гигиены им. А. Н. Сысина в 1976 г. предложены «Методические рекомендации по установлению ПДК химических веществ в почве». Киевским НИИ общей и коммунальной гигиены максимально допустимым уровнем ртути в почве предлагается считать 2,5 мг/кг. Увеличение содержания ее может причинить вред человеку, употребляющему в пищу растения, выращенные на этой почве (Найштейн и др., 1975). ПДК свинца в почве установлена на уровне 20—25 мг/кг почвы (Григорьева и Храмова, 1978), шестивалентного хрома — 0,05 мг/кг почвы (Динерман и др., 1978), мышьяка — не выше 12—15 мг/кг почвы. Экспериментальные исследования, проведенные на черноземной и подзолистой почвах, подтверждают вывод о том, что такая концентрация мышьяка не влияет на процессы самоочищения почвы (Вашкулат, 1974).

Установление ПДК токсических соединений в почве и в других природных средах является весьма сложным и требует комплексного подхода к исследованиям и объединенных усилий ученых различных отраслей науки —

врачей-гигиенистов, почвоведов, агрохимиков, биологов и др.

К сожалению, эффективных мер очистки почв от токсических металлов, как и от других загрязнителей, пока нет. В загрязненную почву предлагается вносить чистую землю слоем 10 см и более и перемешивать их. Однако это очень трудоемкое мероприятие. Если считать, что пахотный 20-сантиметровый слой почвы весит 3 тыс. т, то внесение 10-сантиметрового слоя почвы потребует на каждый гектар внесения 1,5 тыс. т чистой почвы.

По-видимому, в обозримом будущем найдут применение меры по связыванию токсических металлов в труднодоступные для растений соединения. Это возможно при изменении химизма и свойств почвы, реакции среды, изменении соотношения элементов, а также при использовании антагонизма и синергизма ионов и т. д. Известно, например, что такие металлы, как кобальт, никель, медь, марганец в нейтральной и слабощелочной среде безвредны. Поэтому известкование кислых почв является эффективным приемом снижения токсичности этих металлов. Имеются также данные, что известкование, снижая кислотность почв, уменьшает растворимость свинца, кадмия, мышьяка и цинка.

Как уже отмечалось выше, большую роль в нейтрализации токсических свойств тяжелых металлов играет гумус почвы. Он связывает, например, ионы кадмия, никеля и других металлов в комплексы хелатного типа, т. е. малодоступные для растений формы, снижая их токсичность. В связи с этим важными приемами, направленными на снижение токсичности металлов почвы, для растения являются все приемы повышения содержания гумуса в почве — внесение различных органических удобрений, сидератов, заплата соломы и других растительных остатков в почву. Например, в опытах японских ученых содержание кадмия в рисе снижалось при внесении птичьего помета, компоста или муки из рисовой соломы в качестве удобрения. Уменьшение токсичности соединений хрома отмечено при внесении торфа или осадка сточных вод в норме не менее 100 т/га.

Внесение минеральных удобрений также оказывает большое влияние на токсичность тяжелых металлов в почве. Так, внесение азотных удобрений снимало отрицательное действие свинца, мышьяка, меди и других элементов на развитие всходов растений. Присутствие

минеральных фосфатов ослабляло вредное действие свинца на растения. Содержание меди, никеля и цинка в листьях шелковицы значительно уменьшалось при внесении высоких доз фосфатов. При внесении фосфатов снижалось токсическое действие кадмия на растения, хотя содержание его в растениях не уменьшалось. В условиях щелочной реакции заливного рисового поля внесение соединений фосфора приводило к образованию в почве нерастворимого и труднодоступного для растений фосфата кадмия. Внесение в почву различных соединений магния снижало токсическое действие на растение избытка фтора и никеля. Добавление в почву серы химически связывало ртуть (Большаков и др., 1978).

В борьбе с токсичностью металлов, по-видимому, найдут применение различные химические соединения, прочно фиксирующие металлы и переводящие их в недоступные для растений формы, а также ионообменные смолы, образующие хелатные соединения.

Создание оптимальных условий для питания растений подбором соответствующих минеральных и органических удобрений является важным приемом улучшения почв, загрязненных различными токсическими металлами.

Следует отметить, что в некоторых индустриально развитых районах при интенсивном загрязнении отдельных территорий токсическими элементами хорошо растут отдельные виды растений. Это наводит на мысль о необходимости развития работ по селекции растений, устойчивых к различным токсическим веществам. Они могли бы найти применение при рекультивации отвалов с высоким содержанием тяжелых металлов.

Высокое содержание нитратов в продуктах и кормах снижает их качество. Однако растения могут поглощать большое количество нитратов, и это не сказывается отрицательно на их росте и развитии. Использование же нитратного азота в метаболизме органических соединений возможно лишь после восстановления нитратов до аммония. Первым промежуточным продуктом восстановления нитратов являются нитриты. Если растения обычно не страдают от избытка в них нитратов и нитритов, то эти соединения весьма токсичны для животного организма и человека, особенно нитриты, токсичность которых в 10 раз выше нитратов. Это объясняется тем, что образующиеся вследствие восстановления нитратов

нитриты переводят двухвалентное железо гемоглобина в трехвалентное; получающийся при этом метгемоглобин красных кровяных телец не способен быть переносчиком кислорода. Нитриты могут также вступать в необратимую реакцию с гемоглобином, образуя при этом нитрогемоглобин, который также не способен быть переносчиком кислорода, в результате чего наблюдается удушье всех тканей живого организма (Церлинг, 1979).

Французский ученый R. В. Verney (1978) считает, что превращение нитратов в нитриты может происходить и в желудке при наличии в организме бактерий, благоприятствующих этой трансформации. Нитрицианоз поражает почти исключительно новорожденных в первые 4 месяца их жизни; позднее в крови детей, а также взрослых появляются ферменты, нейтрализующие цианоз.

Нитриты в кислой среде реагируют со вторичными аминами, образуя нитрозамины. Эти соединения опасны тем, что могут вызвать раковые заболевания, врожденные и мутагенные уродства (Lijinsky, Epstein, 1970). В последние годы немало опасений подобного толка высказывается и в нашей стране. Так, П. А. Боговский (1979) отмечает, что активные канцерогенные вещества (N-нитрозосоединения — нитрозамины и нитрозамиды) обладают также мутагенным и эмбриотоксическим действием. N-нитрозосоединения могут образовываться в окружающей среде, в пищевых продуктах и в организме, если в него одновременно попадают нитраты или нитриты, амины и амиды. Образованию нитрозосоединений способствуют катализаторы (тиоцианат, повышенная температура, галловая кислота) и препятствуют антагонисты — аскорбиновая кислота и др.

Следует подчеркнуть, что в здоровых растениях при нормальном азотном питании нитраты и нитриты в свободном состоянии не накапливаются. Поступив в растения, они подвергаются процессам восстановления под действием нитратредуктазы и нитритредуктазы. Полученное промежуточное соединение — гидроксилламин или аммиак — связывается с органическими кислотами, которые превращаются в аминокислоты. Следовательно, нитраты могут накапливаться при избыточном их количестве в почве и при нарушенных биологических процессах в растении.

Нитрозамины как весьма токсичные соединения обычно накапливаются в любой среде при наличии азотистой

кислоты и вторичных аминов. Конечно, одной из причин их образования является внесение чрезмерно высоких доз азота. В этом случае нитриты могут поглощаться растениями, реагировать со вторичными аминами и образовывать токсические нитрозамины.

Наличие в окружающей среде предшественников нитрозосоединений не менее важно, чем присутствие самих нитрозосоединений, так как в животном организме образование нитрозосоединений может произойти под влиянием разных катализаторов. П. А. Боговский (1979) считает, что нитрозосоединения могут образовываться в природных условиях, в пищевых продуктах при технологической обработке и в организме человека. Однако процессы и особенно условия образования нитрозаминов в растениях, пути предотвращения этих процессов изучены пока недостаточно. Поэтому влияние их на качество растениеводческой продукции и на корма, да и вообще на окружающую среду требует дальнейшего изучения.

Нарастающее количество связанного азота в биосфере и увеличение производства минеральных азотных удобрений ведут к нарушению природного круговорота азота. В результате увеличивается возможность накопления нитратов в питьевой воде и растительных пищевых продуктах. Вот почему важно установить строгий контроль над содержанием нитратов в продуктах питания, особенно в зеленых овощах.

Однако эти вопросы еще мало изучены, а имеющиеся данные противоречивы, что не позволяет сделать определенные выводы и соответствующие рекомендации. Одно лишь ясно, что эта проблема требует глубокого и комплексного исследования. Например, D. Fritz (1978) отмечает, что оценивать все вещества, содержащиеся в овощных культурах, нужно с учетом использования их как продуктов питания. Некоторые специалисты по питанию считают, что роль нитратов как фактора, влияющего на образование нитрозаминов в пищеварительном тракте, незначительна. Если даже две части аскорбиновой кислоты (витамин С) приходится на одну часть нитратов, то нитрозамины не образуются. Если же принять в расчет среднее потребление овощей человеком, то ситуация складывается более благоприятная, чем это представляется. Нужно иметь в виду, что повышенное накопление нитратов в растениях может быть не только при высоких дозах азотных удобрений, но и на высоко-

гумусированных почвах, если имеются благоприятные условия для минерализации органического вещества и мобилизации почвенного азота.

В снижении накопления нитратов растениеводческой продукцией важная роль должна принадлежать сорту, что хорошо показано А. А. Жученко и А. К. Андрющенко (1980) на примере овощных культур. В продукции этих культур часто содержится повышенное количество нитратов. Если же учесть, что, согласно медицинским нормам, взрослый человек ежедневно должен съесть 400 г овощей и 300 г картофеля, то с этими продуктами в организм человека может поступать больше нитратов, чем допускается медицинскими нормами (5 мг/кг массы тела). В зависимости от сорта овощной культуры на одинаковом азотном фоне различия могут достигать 200—500%. Поэтому селекционную работу по снижению содержания нитратов в овощах необходимо проводить по всем культурам с предельно допустимым содержанием нитратов — не более 100 мг/кг сырой массы.

Министерство здравоохранения США установило следующее предельное содержание азота нитратов: в питьевой воде менее 10 мг/л, а желательно полное их отсутствие, в овощах от 11 мг/кг в сухом веществе спаржи до 700 мг/кг в сухом веществе шпината. Исследования показывают, что шпинат обладает способностью сильно поглощать нитраты. В овощах, предназначенных для приготовления пищи детям, нитратов не должно быть совсем. ПДК для нитратов установлены во многих странах мира. Например, в ФРГ в диетических продуктах (также и в овощах) 250 мг/кг сырого вещества, в ГДР для свежего шпината 1200 мг (для питания младенцев до 900 мг), для кочанной капусты до 271 мг/кг сырого вещества. Всемирная организация здравоохранения считает допустимым содержание нитратов в диетических продуктах (в том числе и во многих овощах) до 300 мг/кг сырого вещества (Ярван, 1980).

На скорость восстановления нитратов в растениях влияют не столько дозы азота, сколько освещение, соотношение питательных элементов, агротехника, условия погоды и т. д. Так, затенение растений, преобладание азота над фосфором и калием, дождливая погода способствуют накоплению нитратов в растениях.

В процессе вегетации содержание нитратов в растениях снижается, поэтому убирать их и особенно овощ-

ные культуры необходимо в оптимальные сроки, а подкармливать азотом за 1,5—2 месяца до уборки урожая, чтобы растения смогли переработать поступившую нитратную форму азота.

ФАО установлена ПДК для потребления нитратов человеком 500 мг в день, в США эта величина равна 700 мг в день (Хвощева, 1977). По допустимому содержанию нитратов в кормовых культурах в разных странах приняты различные нормы.

На основании обобщения многочисленных данных установлено, что совершенно безвредно содержание в корме до 0,07% нитратов, а верхний допустимый предел — 0,2%. Отмечено также, что применение азота в норме до 360 кг/га при условии хорошего влагообеспечения трав и правильном распределении нормы в течение вегетации (50—60 кг/га под стравливание или укос) не вызывает повышения уровня нитратов в травостое до опасной концентрации. Вносить азот необходимо в оптимальные сроки, с началом активной весенней вегетации трав, т. е. при переходе среднесуточных температур воздуха через 5 °С, а затем дробно после каждого укоса на сенокосах и каждого стравливания на пастбищах.

Оптимальным для животных содержанием фосфора в сухом веществе пастбищного или многократного скашиваемого лугового корма является 0,25—0,30% Р (0,6—0,7% Р₂О₅). Это достигается при дождевании интенсивно удобряемых кормовых угодий.

Содержание калия в корме не должно превышать 2,5—3%. Нормы калия устанавливаются по соотношению с азотом — N : К₂О = 1 : 0,5, а на интенсивно удобряемых азотом сенокосах — 1 : 0,75. Высокие дозы калийных удобрений ухудшают соотношение К : (Са + Mg), что может вызвать магниевую недостаточность у животных и появление заболевания под названием пастбищная тетания (Андреев и др., 1980).

При нарушении научно обоснованной технологии применения удобрений содержание нитратов в кормах может быть значительно большим. Так, в опытах университета штата Флорида (США) в зимнее время в теплицах на почвах, богатых азотом, при недостаточном освещении количество нитратов в сухом веществе редиса разных сортов составило 1,17—1,68%, а в листьях шпината — 0,32—0,49%.

Датский ученый Н. Hansen (1974) в условиях полевых опытов изучал влияние доз азотных удобрений (0, 100, 200, 400 кг/га) на содержание протеина и нитратов в салате, шпинате и цветной капусте. Количество протеина в овощах возрастало при внесении азотных удобрений до 100 кгN/га. Дальнейшее повышение доз снижало содержание протеина, но резко увеличивало содержание нитратов (с 0,11—0,19 до 0,78—1,43% в сухом веществе).

Накопление нитратов в растениях зависит от формы и дозы удобрений, сбалансированности питательных элементов, вида и сорта культуры, фазы развития растений, освещенности и других факторов, влияющих на редукцию нитратов. Все это необходимо учитывать при разработке технологии выращивания культуры.

Исследователи Чехословакии изучали влияние доз азотного удобрения на накопление нитратного азота в луговом сене. При дозе азота 120 кг/га содержание нитратов в большинстве случаев составляло тысячные доли процента на массу сухого вещества, при внесении 240 кг только в 4 случаях из 70 их содержание превысило 0,07% сухого вещества. При самой высокой дозе азота (480 кг/га) содержание нитратов в сене в 7 случаях из 70 превысило 0,20%, а в 25 случаях было больше 0,07% на массу сухого вещества (Masaryk, 1978). В этих опытах содержание нитратов в сене находилось в достоверной зависимости от доз азотных удобрений. В образцах растений, отобранных в южных областях страны, накопление нитратов было меньше, чем в образцах из северных областей. Это объясняется лучшими условиями для восстановления повышенной активности нитратредуктазы, более высоким содержанием углеводов в травостое и более высоким рН почвы.

Агрехимия и физиология растения располагают достаточным арсеналом знаний, чтобы значительно повысить эффективность азота удобрений и почвы, а также улучшить качество сельскохозяйственной продукции. Это возможно лишь при создании оптимального режима азотного питания растений, при котором предотвращается накопление свободных нитратов и нитритов в результате повышенного расходования их на синтез сложных органических соединений урожая.

Как известно, между минеральным (корневым) и углеродным (фотосинтезом) питанием растений существу-

ет тесная взаимосвязь. Создание оптимальных условий корневого питания правильными нормами и соотношением макро-и микроэлементов в питательном растворе возможно при использовании удобрений с учетом свойств и плодородия почвы, особенностей климата и погодных условий, биологических требований выращиваемой культуры и их сортов. Вполне понятно, что применение удобрений должно быть звеном всего агрокомплекса выращивания культуры (способы посева и размещения культур, площади питания, приемы ухода за растениями и т. д.), направленного на создание оптимального светового режима и максимальной фотосинтетической деятельности возделываемых растений.

Для предотвращения избыточного накопления нитратов из удобрений нельзя допускать избыточное одностороннее внесение азотных удобрений, особенно при недостатке в почве фосфора, калия и других питательных элементов. В противном случае нарушается азотный обмен в растениях, задерживается синтез белков, накапливается избыточное количество нитратов, свободных аминокислот. Если калий и магний усиливают использование нитратов в азотном обмене растений, то кальций при его избытке ухудшает этот процесс. Имеются также данные о том, что хорошая обеспеченность растений сульфатами усиливает синтез белков в зерне и снижает накопление нитратов в растениях. При прочих равных условиях неправильный режим корневого (минерального) питания растений ослабляет фотосинтез и наоборот. Все это лишь подтверждает, что в питании растений существует сложная взаимосвязь катионов и анионов, минерального и углеродного питания растений, которая пока еще недостаточно изучена и требует более полного экспериментального обоснования.

Успешное использование растениями всех питательных элементов, поступивших через корневую систему, в том числе и утилизация нитратов, возможно при высокой фотосинтетической деятельности растений. Только при оптимальных условиях растение будет иметь достаточно продуктов фотосинтеза и прежде всего углеводов, окисление которых происходит одновременно с процессом восстановления нитратов. Образовавшиеся в результате окисления углеводов органические кислоты в процессе аминирования аммонием, полученным при восстановлении нитратов, превращаются в аминокислоты, из

которых в дальнейшем синтезируются белки. Важно создание необходимых условий для активного протекания процесса фотосинтеза. Это возможно при правильном выборе норм и способов посева культуры, обеспечивающих высокую освещенность листьев, создание оптимальных условий корневого питания и т. д. Одним словом, необходимо применять комплекс агроприемов, который бы обеспечил такое состояние растений, при котором они могли лучше использовать ФАР на синтетические процессы.

Восстановление нитратов в растении представляет собой сопряженность многих биохимических реакций с участием ряда ферментов, начиная с нитратредуктазы. Как известно, молибден активизирует нитратредуктазу при восстановлении нитратов, а марганец активизирует нитратредуктазу для восстановления нитритов. Отмечается также положительная роль бора и железа в снижении содержания нитратов и увеличении количества органических соединений, усилении активности нитратредуктазы под действием сульфатов. Активность нитратредуктазы можно значительно повысить также созданием уравновешенного минерального питания растений в каждую фазу их роста.

Вопросы накопления нитратов в растениях и их влияние на животный организм требуют дальнейшего глубокого исследования. Прежде всего важно установить ПДК нитратов для тех сельскохозяйственных культур, у которых в пищу употребляются вегетативные части, — зеленные, огурцы, капуста и т. д.

Агрохимики, физиологи и биохимики должны более глубоко изучить условия роста и прежде всего питания растений с физиолого-биохимической точки зрения с тем, чтобы создавать такой режим питания, при котором нитраты не накапливались бы, а активно расходовались при синтезе органических соединений. Это особенно необходимо в условиях интенсивного земледелия с применением высоких доз удобрений. Важно также установить творческое содружество агрохимиков с селекционерами, поскольку создание высокопродуктивных сортов связано с их интенсивным минеральным питанием и максимальным использованием ФАР. Актуальнейшей задачей ученых и работников сельскохозяйственного производства является разработка сортовой агротехники и систем удобрения отдельных сортов.

АГРОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УЛУЧШЕНИЯ БИОСФЕРЫ

Правильное применение минеральных удобрений является важным источником плодородия почвы, фактором значительного повышения продуктивности растений и качества урожая, поддержания активного биологического и хозяйственного баланса питательных веществ. В этом случае они не ухудшают окружающую среду. Поэтому необходимо постоянно совершенствовать технологию применения минеральных удобрений.

В существенном улучшении нуждаются транспортировка, хранение, тукосмещение и внесение минеральных удобрений в почву. Важнейшая задача состоит в повышении производительности и качества всех работ, направленных на предотвращение потерь минеральных удобрений и более эффективное их использование. Работникам агрохимической службы и сельскохозяйственных органов необходимо не только подсчитывать возможные потери при нарушении технологии применения удобрений, но и вскрывать и устранять источники этих потерь от завода до поля.

В предотвращении загрязнения окружающей среды важную роль играет высокая культура земледелия, совершенствование и разработка новых более эффективных технологий применения удобрений в севообороте и под каждую сельскохозяйственную культуру с учетом почвенно-климатических условий района, биологических особенностей культур и сортов, специализации севооборотов и других прогрессивных приемов интенсивного земледелия. В. Д. Панников (1974), указывая на важность учета всего комплекса факторов, влияющих на продуктивность растений, пишет: «Каждое хозяйство должно возделывать такие культуры и сорта, которые в конкретных условиях способны максимально использо-

вать все космические и земные факторы жизни — солнечную энергию, воздух, воду, питательные вещества почвы и давать максимально высокие урожан».

Важнейшей задачей является повышение коэффициента использования питательных веществ растениями, снижение их потерь в окружающую среду, повышение урожая и качества сельскохозяйственной продукции.

Как известно, наибольшую опасность с экологической точки зрения представляет азот. Между тем агрохимической наукой и практикой земледелия далеко еще не использованы пути улучшения баланса этого элемента. Так, D. Sauerbeck (1979), анализируя круговорот азота в аграрных и экологических системах считает, что наиболее важными задачами сельскохозяйственной науки являются: совершенствование прогноза потребности растений в азотных удобрениях, повышение коэффициента использования азота растениями, снижение потерь этого элемента, повышение ресурсов биологически связываемого азота и увеличение количества азотсодержащих органических остатков, возвращающихся в природный круговорот. О необходимости улучшения использования азотных удобрений свидетельствуют следующие данные (табл. 78).

78. Состояние азота минеральных удобрений в год их применения (в среднем по Европе)

Вынос или потери	Доля азота (в %)	
	в среднем	пределы колебаний
Использование растениями (вынос урожаем)	60	25—70
Вымывание	6	0—60
Переход в органическое вещество почвы и последующая минерализация	14	0—40
Газообразные потери (NH_3)	5	0—50
Денитрификация	15	0—40

Важным приемом в этом отношении может быть сочетание применения минеральных и органических удобрений, в частности азотных удобрений, особенно их высоких доз, с соломой и другими растительными остатками. Исследования, выполненные в нашей стране и за рубежом, показывают, что в этих случаях потери азота за-

метно снижаются благодаря иммобилизации его в процессе гумификации и образованию легкогидролизуемых органических соединений.

Исследования, выполненные в Польше (Вуйчик-Войтковяк, 1976) с использованием меченных ^{15}N азотных удобрений NaNO_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и соломы, показали, что солома снижает потери азота благодаря его закреплению в органической форме и торможению процесса нитрификации. При этом гумификация сопровождалась образованием главным образом фульвокислот, а в присутствии $\text{NH}_4 - \text{N}$ наблюдалось и небольшое увеличение содержания гуминовых кислот. В растворимой фракции $\text{NH}_4 - \text{N}$ преобладал в гуминовых кислотах, а $\text{NO}_3 - \text{N}$ в фульвокислотах.

Об интенсивности процессов превращения азота в почве свидетельствуют следующие данные (табл. 79).

79. Интенсивность иммобилизации и минерализации азота в почве (в мг/кг в день) (Wojcik-Wojtkowiak, 1976)

День взятия образца после начала инкубации	Без соломы				С соломой			
	$\text{Na}^{15}\text{NO}_3$		$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$		$\text{Na}^{15}\text{NO}_3$		$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	
	И	М	И	М	И	М	И	М
0—1	5,5	5,4	10,5	8,7	8,8	8,5	12,7	7,2
1—3	3,3	0,9	15,1	9,9	12,2	3,7	24,2	13,3
3—5	11,7	2,0	14,0	13,9	23,6	12,2	39,9	5,9
5—7	0,2	2,2	13,1	11,9	9,3	3,0	11,6	3,2
7—9	0,6	2,3	0,8	3,5	1,2	1,6	—	—
9—15	0,5	2,3	0,8	4,5	0,4	4,1	0,3	2,7
15—24	0,3	2,1	0,3	3,5	0,3	0,3	0,3	0,3
24—39	0,5	1,9	0,3	2,0	0,3	0,4	0,1	0,3
39—50	0,2	1,5	0,5	1,0	0,8	0,9	0,8	0,8
50—80	0,2	1,0	0,4	0,9	0,3	0,3	0,3	0,4

Примечание. И — иммобилизация; М — минерализация.

Наибольшая интенсивность превращения азота отмечалась в первые 7 дней инкубации, при наличии соломы и без нее преобладал процесс иммобилизации; $\text{NH}_4 - \text{N}$ более интенсивно участвовал в превращениях, чем $\text{NO}_3 - \text{N}$ (большее количество его было в органической форме, выше скорость иммобилизации, более интенсивная минерализация почвенного азота).

Важно изучать санитарную роль сельскохозяйственных растений, способность отдельных их органов накап-

ливать биогенные и небιοгенные элементы. В связи с проблемой охраны окружающей среды остро ставится вопрос о поступлении тяжелых металлов в цепь почва — растение — животное — человек, о метаболизме в этой цепи различных токсических соединений.

По предварительным данным, полученным в Англии, злаковые травы обладают большим преимуществом перед другими видами растений; они задерживают в своих корнях около 90% поступающих тяжелых металлов. При техногенном загрязнении почв следует использовать такие растения, которые хорошо растут и не накапливают в съедобной части токсические элементы или соединения, а также могли бы быть использованы при рекультивации загрязненных земель. Например, в Великобритании (Smith, Bradshaw, 1979) изучали растения, устойчивые к действию тяжелых металлов, содержащихся в отходах свинцово-цинковых и медных рудников. Многолетними наблюдениями показано, что высокая концентрация токсичных тяжелых металлов является основной причиной гибели растительного покрова на землях, загрязненных отходами этих предприятий. В то же время выявлено три вида трав, устойчивых к влиянию тяжелых металлов. Для земель, загрязненных кислыми отходами свинцово-цинковых рудников, таким растением является полевица тонкая, для земель, загрязненных отходами этих же рудников, но содержащих известь, — овсяница красная, а при загрязнении отходами медных рудников — полевица обыкновенная. Эти растения быстро росли и обеспечивали хороший и устойчивый растительный покров. При достаточном обеспечении минеральными удобрениями эти травы сохранялись в течение 9 лет (с небольшим выпадом).

В отношении рекультивации земель интересные исследования выполнены в США (Bride, 1977). Там изучали влияние осадка сточных вод на накопление тяжелых металлов в растениях ржи, овсяницы канареечника и суданской травы, используемых при рекультивации нарушенных горной промышленностью земель. В качестве субстрата для выращивания растений использовали поверхностный слой шахтных отвалов. Осадки сточных вод вносили из расчета 336 и 676 т/га, а известь из расчета 22,4 и 44,8 т/га. С меньшей дозой в почву поступало: меди 250 кг/га, хрома 1680, кадмия 70, свинца 770, никеля 17, цинка 1144 кг/га. Наибольшей способностью

накапливать кадмий отличались суданская трава и канареечник, особенно при высоких дозах извести.

Несомненный интерес представляют исследования по взаимодействию макро- и микроэлементов в почве при участии их в химических и физико-химических реакциях. Важное значение имеет разработка моделей превращения в почве подвижных форм токсичных элементов в недоступные для растений формы. Так, Kunishi и Taylor (1972) изучали влияние различных фосфорных соединений на иммобилизацию радиоактивного стронция в почве. Были использованы фосфаты: Na_3PO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + \text{NH}_4\text{F}$. В опытах применяли меченный стронций ^{85}Sr , а также известь с целью изучения ее влияния на стабильность продуктов реакции.

Результаты опытов показали, что при внесении диаммонийфосфата в количестве 0,3 мэкв P/г почвы с низким уровнем обменного кальция (0,6 мэкв/100 г почвы), органического вещества и слабокислой рН (соотношение $\text{P} : \text{Ca} = 50$) фиксация стронция составила 93%. На почвах с высоким уровнем обменного кальция (22 мэкв/100 г почвы) с содержанием 3,4% органического вещества и нейтральной рН фиксация радиоактивного стронция составила 95%. При внесении 0,6 мэкв P/г почвы (соотношение $\text{P} : \text{Ca} = 2,8$) или 0,3 мэкв P + 0,1 мэкв F в виде NH_4F при соотношении $\text{P} : \text{Ca} = 1,4$ иммобилизация стронция составила 86%. Авторы отмечают, что добавление с фосфатом небольших количеств фтора улучшает иммобилизацию стронция и снижает дозы фосфора. В полевых условиях для иммобилизации 95% стронция на почве с высоким уровнем обменного кальция такой фосфатно-фторидной смеси требуется 2200 кг/га.

Авторы пришли к заключению, что щелочные ортофосфатные соли при внесении их в достаточных количествах могут иммобилизовывать до 98% ионов стронция в верхних слоях почвы с ненарушенной структурой. Лучшей формой являются фосфаты аммония, так как аммонийный азот хорошо потребляется растениями, переходит также в нитраты в результате нитрификации, поэтому проблемы удаления его избытка из почвы не возникает. Недостаток фосфатов натрия состоит в том, что натрий ухудшает свойства почвы и требуется удаление его избытка путем выщелачивания по профилю почвы. Недостаток калийных солей — их меньшая доступность и усвояемость растениями, а также большой атом-

ный вес иона К, что повышает объем требуемого продукта для достижения одинакового результата.

Весьма актуальны исследования по синтезу новых видов и форм минеральных удобрений с постепенным (заданным) переходом питательных веществ удобрений в почвенный раствор в процессе вегетации растений. Это позволит повысить коэффициент продуктивного их использования и снизить потери питательных элементов в окружающую среду.

Изучение влияния удобрений и других химических средств на окружающую среду, особенно на качество сельскохозяйственной продукции, требует усиления комплексных исследований специалистов смежных отраслей науки: агрономов и агрохимиков, мелиораторов и химиков, зоотехников и ветеринарных врачей, работников санитарно-эпидемиологической службы, гигиены питания и др. При этом важно разработать и ввести определенные требования к технологии использования удобрений. Так, в ГДР в 1977 г. введен новый стандарт «Защита вод при обращении с органическими и минеральными удобрениями». Этим стандартом предусмотрен комплекс мероприятий, предотвращающий загрязнение окружающей среды применяемыми удобрениями. Например, жидкие органические удобрения должны храниться в водонепроницаемых ямах. Длительность хранения твердых органических удобрений на необорудованных площадках не должна превышать 3 мес, в исключительных случаях не более 8 мес. Площадки должны быть расположены на расстоянии не менее 100 м от поверхностных водных источников.

Транспортные средства и машины по внесению удобрений необходимо очищать на моечных и профилактических пунктах. Нормы и условия внесения азотных удобрений надо устанавливать в зависимости от разновидности почвы и характера залегания грунтовых вод. Так, в водозащитной зоне, на территориях предполагаемого использования грунтовых вод, в районах карста и обвалов нормы азотных удобрений не должны превышать 300 кг/га (Schulz et al., 1977).

В каждой стране должна быть хорошо организованная служба с целью изучения, контроля и разработки мер по предотвращению загрязнения окружающей среды всеми отраслями хозяйства. Большую роль в изучении действия химизации земледелия на окружающую среду

в нашей стране должна сыграть государственная агрохимическая служба.

Во многих странах принимаются меры к решению вопросов предохранения биосферы от загрязнения. Например, в ФРГ разработана программа, предусматривающая сохранение и улучшение природной среды. Создается централизованная система информации по окружающей среде, в которой в качестве подсистемы выделено сельское хозяйство. Основная задача этой подсистемы — ускорение обобщения и систематизации данных о взаимодействии сельского хозяйства с окружающей средой и о влиянии сельскохозяйственного производства на почву, поверхностные и грунтовые воды, атмосферный воздух, растительный и животный мир, ландшафт, влиянии загрязнения окружающей среды на качество продуктов сельского хозяйства и др. Централизованная система информации призвана повысить оперативность выработки административных, хозяйственных и других мер, направленных на улучшение природной среды (Werschnitzky, 1977).

Большой интерес представляет дальнейшее изучение теоретических основ минерального питания растений. В настоящее время установлена общность процессов обмена веществ в животных, растениях и микроорганизмах. Синтез и превращения белков, нуклеиновых кислот, углеводов, жиров, витаминов и других соединений идут одними и теми же путями во всех живых организмах и подчиняются одним и тем же закономерностям. Здесь, как нигде, возникает необходимость проведения комплексных исследований агрохимиков, физиологов и биохимиков растений, генетиков, селекционеров и других специалистов.

Прежде всего ставится проблема создания новых высокопродуктивных сортов растений, способных интенсивно усваивать повышенное количество питательных элементов и использовать их для синтеза большего количества сельскохозяйственной продукции. Это возможно на первых этапах селекции с учетом генетической специфики питания растений на глубокой физиологической и биохимической основе.

Для агрохимиков, физиологов и биохимиков весьма важно знание особенностей обмена веществ в культурных растениях, а также внешних факторов, которые оказывают влияние на отдельные звенья этого обмена и в

конечном счете влияют на изменчивость химического состава растений. Знание этих процессов и условий дает возможность управлять развитием растений и получать высокие урожаи хорошего качества. В связи с этим в перспективе все бóльшая роль будет отводиться молекулярной биологии, генетической инженерии и другим фундаментальным разделам биологической науки по переработке природы растений, их физиологической и биохимической основы. Методы этих наук могут быть использованы при дальнейшем развитии теории биологической фиксации азота.

В научной литературе появляются предположения о возможности пересадки генов фиксации азота из бобовых на злаковые растения. Сегодня это звучит почти фантастично, так как осуществление этих идей связано с рядом весьма сложных проблем. Поэтому А. Баев (1979) отмечает, что сегодня едва ли целесообразно пытаться вводить гены фиксации азота, заимствованные у азотфиксирующих клубеньковых бактерий, в какой-либо орган растения. Ведь этот процесс требует значительных энергетических затрат и едва ли приведет к благоприятному исходу. Другое дело — создание бактерий-симбионтов, приспособленных к тем полевым или луговым культурам, которые в отличие от бобовых не имеют собственных «поставщиков» азота. Как бы то ни было, но эта проблема весьма заманчива, поскольку она представляет огромный научный и еще больший практический интерес. Решение ее позволит благодаря азотфиксирующей способности бактерий или самого растения хотя бы частично уменьшить использование технического азота. С другой стороны, деятельность существующих клубеньковых бактерий обычно подавляется при внесении высоких доз азотных удобрений. Поэтому создание новых видов азотфиксирующих бактерий, вступающих в симбиоз с небобовыми растениями, в условиях интенсивной химизации земледелия должно быть направлено на придание им нечувствительности к угнетающему действию минеральных азотных удобрений.

В природе известно немало случаев, когда азотфиксирующие бактерии поселяются в клубеньках небобовых растений (ольха, мирт болотный, казуария, кориария и др.). Азотфиксирующей способностью обладают синезеленые водоросли при участии специальных ферментативных систем. Такие системы уже выделены из

отдельных растений и бактерий. Эти факты свидетельствуют о возможности решения проблемы биологической фиксации атмосферного азота.

Проблема рационального сочетания технического и биологического азота в земледелии требует большего к себе внимания. Ее научные основы были заложены Д. Н. Прянишниковым. Часто возникает вопрос: нужно ли вносить под бобовые культуры минеральные азотные удобрения? Многочисленные опыты показывают, что на хорошо окультуренных почвах при наличии достаточного количества подвижных форм фосфора, калия и других микроэлементов, а также таких микроэлементов, как молибден, бор, кобальт, бобовые культуры и без азотных удобрений дают высокие урожаи. Тем более если семена подвергаются инокуляции клубеньковыми бактериями нитрагином. В настоящее время установлено, что при любых размерах биологической фиксации азота бобовыми в них около одной трети из суммарного азота поступает минерального азота из почвы.

Конечно, применением высоких доз минерального азота можно подавить симбиотическую фиксацию бобовыми молекулярного азота воздуха, и они перейдут на потребление технического азота, тем более что им не требуется в этом случае затрачивать большого количества энергии на усвоение молекулярного азота воздуха. Вопрос в том, следует ли это делать? Нам представляется, что ответ должен быть отрицательным. Прежде всего это связано с тем, что во многих земледельческих районах нашей страны ощущается острый дефицит азотных удобрений, особенно на зерновых хлебах, которые не удобряются почти на половине площади посевов. В большей же части этих районов азот под зерновые весьма эффективен, тем более что баланс азота в земледелии крупных зерновых районов страны остается резко отрицательным.

Конечно, удобрение азотом зернобобовых культур в ряде случаев необходимо. Хорошие результаты получаются от применения минерального азота под сою, в ряде случаев под бобовые в условиях орошения. Довольно часто возникает необходимость во внесении небольших, так называемых стартовых доз азота, особенно на слабоокультуренных почвах и в условиях холодной весны (Дальний Восток), когда нитрификация подавлена и молодые растения сои испытывают азотное голодание.

Важная задача науки — изучать и разумно использовать биологический азот — этот дар природы, изыскивать пути усиления симбиотической фиксации азота бобовыми. Кроме того, необходимо использовать все пути окультуривания низкоплодородных кислых почв, что приведет к повышению фиксации азота клубеньковыми бактериями и получению высокого урожая бобовых растений без внесения минерального азота в почву. Важно повышение эффективности фиксации молекулярного азота высшими бобовыми растениями — этой поистине природной фабрики по производству азота. К сожалению, агротехническая роль бобовых культур в севообороте часто недооценивается. Ведь бобовые являются не только поставщиками азота, но и хорошим предшественником зерновых культур, надежным фактором окультуривания почвы.

Многие отечественные и зарубежные исследователи бобовые считают мощным резервом улучшения азотного баланса. Так, Е. П. Трепачев (1980) подчеркивает немалую роль бобовых в охране окружающей среды. Симбиотическая и несимбиотическая азотфиксация позволяет снижать нормы азотных удобрений, уменьшать опасность загрязнения почвы и растений избыточным количеством нитратов. Культура бобовых трав и их смесей со злаками — сильное средство борьбы с эрозией почвы, потерями азота от поверхностного и внутрипочвенного стока и инфильтрации в глубокие слои почвы. В условиях интенсивной химизации роль биологической фиксации азота еще не оценена должным образом.

Решениями XXVI съезда КПСС предусмотрено значительное расширение площадей под бобовыми культурами в одиннадцатой пятилетке как важного фактора улучшения кормовой базы животноводства и повышения плодородия почв, а также пополнения азотных ресурсов в интенсивном земледелии.

Одним из важных направлений науки по сохранению и улучшению окружающей среды могут явиться микробиологические исследования. Известно, например, что микроорганизмы способны вовлекать в свой обмен метан, водород, молекулярный азот, закись азота, угарный газ и образовывать соединения, которые в состоянии усваивать растения и животные. Микробиологическое направление исследований должно привлечь большее внимание в связи с загрязнением водных источников ни-

тратами при интенсивном применении азотных удобрений.

В ряде западноевропейских стран широко применяется методика определения оптимальных доз азотных удобрений для зерновых и пропашных культур по содержанию минерального азота в почве до их посева с последующей их корректировкой при использовании растительной диагностики. Однако этот метод имеет и недостатки. Основной из них состоит в том, что вследствие микробиологических процессов минерализации органического вещества почвы в период вегетации растений в природный цикл поступает дополнительный минеральный азот. Количество и темпы его поступления определить довольно трудно, так как на эти динамические процессы влияет много факторов. Повышенное накопление азота в почве, превышающее биологические потребности растений, приводит к выщелачиванию его в грунтовые воды и их загрязнению. Вот почему микробиологический контроль за процессом нитрификации в почве играет важную роль в оптимизации азотного питания растений в процессе их вегетации.

Микробиологические исследования представляют интерес не только в отношении азотного питания высших растений, но и при решении проблемы биологического самоочищения почвы. Известны почвенные бактерии, образующие симбиотические ассоциации с высшими растениями и значительно улучшающие рост растений в тех случаях, когда в почве недостаточно доступного фосфора. Благодаря их деятельности может существенно улучшаться фосфорное питание растений. Эти бактерии встречаются на разных почвах и могут ассоциироваться со многими культурами.

Представляют интерес исследования, выполненные в Англии. В Ротамстеде на почвах с разным уровнем содержания доступного растением фосфора изучали механизм поглощения его растениями при инокуляции их микоризными бактериями. Установлено, что инокуляция лучше всего влияла на рост растений на почвах с низким содержанием доступного фосфора. Урожай таких культур, как клевер белый, клевер луговой, огурцы, люцерна, салат, морковь, бобы и картофель, резко возрастал по сравнению с контролем. Отзывчивость на инокуляцию бактериями фасоли обыкновенной, кукурузы и ячменя на почвах, бедных доступным фосфором, была

слабой. В то же время инокуляция не влияла на рост пшеницы. По мере увеличения в почве количества доступного растениям фосфора отзывчивость культур на инокуляцию снижалась, а на некоторых почвах, богатых фосфором, наблюдалось торможение роста растений.

Английские ученые считают, что инокуляция препаратом бактерий может иметь практическое значение на возвышенных территориях, в почвах которых содержится недостаточное количество доступного растениям фосфора. Опыты показали, что пастбище на возвышенности можно улучшить высевом бобовых, например клевера белого, инокулированного микоризными и клубеньковыми бактериями (ризобиум). Первые улучшают фосфорное питание растений, вторые благодаря азотфиксирующей способности улучшают азотное питание бобовых растений. Так, в полевом опыте на возвышенности в Уэльсе при известковании и подкормке фосфором клевер, инокулированный микоризными бактериями, дал втрое больший урожай сухого вещества, в 2 раза увеличилось образование побегов и в 5 раз образование клубеньков ризобиума (Phosporus и Potassium, 1978). Аналогичные данные получены на почвах, бедных доступным фосфором, в тропической Африке, в Бразилии, Австралии и Испании.

Стерилизация почвы подавляет активность микоризы, поэтому возникает необходимость в повторной инокуляции. Например, в цитрусовом питомнике Калифорнии (США) проводили фумигацию с последующим обильным удобрением. В этом случае рост был хороший только после инокуляции микоризой. Пестициды и большие дозы азотных удобрений ингибируют ассоциации растений с микоризой, поэтому при инокуляции бактериями важно учитывать весь комплекс агротехнических мероприятий.

Что касается фосфорного питания растений, то несомненный интерес представляет и внеклеточная, фосфатазная активность корней растений. В этом отношении требуются глубокие и обстоятельные исследования. Создание почвенных условий для оптимальной деятельности фосфатаз является в определенных условиях важным фактором создания необходимого режима фосфорного питания растений. Деятельность же этих энзимов можно активизировать и ингибировать; это может сущест-

венно сказываться на питании растений фосфором. Так, R. E. Malcolw и D. Vanghan (1979) установили, что все изученные фракции органического вещества ингибировали активность фосфатазы, полученной из корней пшеницы. Однако гуминовые кислоты ингибировали активность энзимов в большей степени, чем фульвокислоты. Причем компоненты гуминовых кислот с более низким молекулярным весом подавляли активность фосфатазы в большей степени, чем фракции с большим молекулярным весом. Фульвокислоты с низким молекулярным весом слабее ингибировали активность энзим, чем соответствующие компоненты гуминовых кислот с аналогичным молекулярным весом. Роль биологической (в том числе и ферментативной) активности почвы как фактора ее плодородия требует дальнейшего изучения. Это одно из важных перспективных направлений изучения оптимального режима питания высших растений.

Сохранение здоровой биосферы тесно связано с заботой об устойчивости биоценозов и особенно агроценозов, условия жизни в которых определяются сложившимися взаимоотношениями организмов. Хозяйственная деятельность человека должна направлять их в желательную сторону. Мощным средством воздействия на агроценозы является химизация земледелия. Удобрения и химические мелиоранты оказывают огромное влияние на ценотические взаимоотношения растений на лугопастбищных угодьях и в условиях полевого севооборота. Химические средства оказывают большое влияние на жизнь почвы, соотношение различных организмов и их активность. Особенно сильное влияние на агроценозы оказывают пестициды, при внесении которых уничтожаются представители полезной фауны и микрофлоры. Поэтому при использовании средств химии в сельском хозяйстве необходимо осуществлять научно обоснованный прогноз о возможных последствиях, о нарушении нормального агроценоза.

Все химические средства, в том числе и удобрения, в сельском хозяйстве должны применяться с учетом научно обоснованной технологии при постоянном агрономическом контроле и, конечно же, в комплексе с другими приемами агротехники зональных систем земледелия.

Не случайно N. Knaueг (ФРГ, 1982) отмечает, что с точки зрения экологии следует прекратить дальнейшее разрушение элементов ландшафта, сократить приме-

ние гербицидов и инсектицидов в результате последовательного применения метода интегрированной защиты растений, вводить виды культурных растений, поставляющих энергию, применять такую технику производства, которая позволяла бы использовать аграрно-экономическую систему без ущерба для экологии, так как введение современных машин и орудий ведет не только к успехам в производстве продукции, но и несет в себе значительный экологический риск.

Важным аспектом улучшения окружающей среды является определение и создание оптимальных параметров агрохимических показателей плодородия различных типов почв. В ряде случаев такие параметры плодородия почв уже установлены и находят практическое применение при разработке и внедрении эффективных систем применения удобрений. Например, для почв дерново-подзолистого типа важным показателем является оптимальный уровень ее кислотности, который определяется с учетом специализации севооборота, биологических особенностей культур, механического состава, суммы и состава поглощенных катионов и т. д.

Например, для Московской области рекомендованы следующие уровни реакции почв в зависимости от типа севооборота и механического состава почв (табл. 80).

80. Ориентировочные оптимальные уровни реакции почв (pH_{KCl}) для различных типов севооборотов

Почвы	Севообороты		Культурные пастбища и сенокосы	
	полевые	кормовые и овоще-кормовые	злаковые	бобово-злаковые
Песчаные и супесчаные	5,3—5,5	5,5—5,7	5,0—5,2	5,4—5,6
Легко- и средне-суглинистые	5,6—5,8	5,8—6,0	5,4—5,6	5,6—5,8
Тяжелосуглинистые и глинистые	5,8—6,0	6,0—6,2	5,6—5,8	6,0—6,2
Торфяные	4,8—5,2	5,2—5,4	4,6—4,8	5,0—5,2

Оптимальные уровни pH_{KCl} для дерново-подзолистых почв с учетом биологических особенностей культур и механического состава почвы установлены также

для условий Белоруссии, Литвы, ряда районов Украины и других регионов.

Одной из основных причин различной чувствительности растений к кислой реакции почвы является наличие в ней алюминия и неодинаковая его подвижность.

Культуры реагируют не только на содержание в почве активных его форм, но и на соотношение обменного кальция к алюминию или суммы кальция и магния к алюминию. Чем выше это соотношение, тем слабее отрицательное действие алюминия.

Проблема оптимизации реакции почвенного раствора обострена еще и тем, что в связи с интенсификацией химизации земледелия расширяется применение физиологически кислых минеральных удобрений, приводящих к резкому обеднению пахотного горизонта кальцием. Поэтому поддержание оптимальной реакции среды кислых почв неразрывно связано с научно обоснованной технологией их известкования.

Известно также, что важнейшим веществом почвы, наличие и формы которого в наибольшей степени определяют плодородие, является гумус. Его запас в различных почвах сильно колеблется. В гумусе содержится почти весь азот, значительная часть фосфора и серы, а также небольшое количество калия, кальция, магния и других питательных веществ. Поэтому способы создания бездефицитного баланса гумуса в почвах и расширенного его воспроизводства составляют главную задачу агрохимии.

Для установления оптимальных параметров содержания гумуса в почвах разного типа использованы материалы опытов с применением удобрений в севооборотах, проведенные в европейской части СССР. Длительность их проведения (10—20 лет) позволила получить сведения, которые можно отнести к усредненным для каждой зоны погодным условиям.

На дерново-подзолистых почвах продуктивность севооборотной площади 35—45 ц зерновых единиц с 1 га достижима при содержании гумуса 1,5—2%, P_2O_5 (по Кирсанову) 10—15 мг, K_2O (по Масловой) 15—20 мг/100 г почвы, рН 5—5,5. Нормы удобрений, обеспечивающие этот уровень почвенного плодородия и урожай, не выходят за пределы средних.

В Лесостепи УССР продуктивность севооборотной

площади выщелоченного чернозема 45 ц зерновых единиц с 1 га возможна при содержании гумуса 3%, P_2O_5 (по Труогу) 12—18 мг, K_2O (по Масловой) 10—15 мг/100 г почвы, рН больше 6. Нормы навоза составляют около 10 т, минеральных удобрений 50 кг действующего вещества на 1 га в среднем за год.

На обыкновенных черноземах европейской части страны по 35 ц зерновых единиц с 1 га севооборотной площади было получено при содержании гумуса 4—4,2%, P_2O_5 (по Чирикову) 10—15 мг, K_2O (по Масловой) 20 мг/100 г почвы, рН 7. В этих опытах в среднем за год на 1 га севооборотной площади вносили по 5 т навоза и по 15—20 кг азота, фосфора и калия.

И все же установление оптимальных параметров содержания органического вещества в почвах затруднено, так как при незначительном варьировании количества гумуса в почве урожай сельскохозяйственных культур часто сильно колеблется.

Таким образом, вопрос об оптимальном содержании гумуса в почвах не должен решаться однозначно. Он может быть рассмотрен только в комплексе с другими факторами почвенного плодородия.

Не менее противоречивые сведения имеются по вопросам связи урожайности с количеством азота в почве, ибо его содержание варьирует в широких интервалах в пределах одной почвенной разности и даже одного поля. Для всех земледельческих зон страны не может быть одинаковой зависимости между эффективностью азотных удобрений и содержанием в почве подвижных форм азота. В то же время для отдельных регионов страны найдена корреляционная связь между содержанием нитратного азота в почвах и прибавкой урожая зерновых культур от азотных удобрений.

Для условий Западной Сибири установлено, что количество нитратного азота в слоях 0—20 и 0—40 см, обнаруженное осенью или весной, служит надежным показателем обеспеченности растений доступным азотом. На основе этого разработаны, а в последнее время уточнены шкалы обеспеченности почв нитратным азотом и потребности полевых культур в азотных удобрениях.

Для светло-каштановых почв Заволжья найдена корреляционная зависимость между содержанием нитратного азота в слое почвы 0—60 см в период всходов

и урожаем озимой пшеницы. Запасы нитратов 65—70 кг/га (9 мг/кг почвы) обеспечивают получение урожая зерна 50 ц/га. Для такого урожая запасы нитратного азота весной в период кущения должны быть на 15—20 кг/га больше, чем в период всходов.

Метод почвенной диагностики по минеральному азоту получил распространение в ГДР, ФРГ, США, Канаде и других странах. В ГДР полные нормы азота определяются по данным многолетних опытов; эти нормы приемлемы для усредненных условий. Весной перед началом вегетации (как правило, вторая половина февраля) в слое почвы 0—60 см определяют содержание минерального азота (сумма аммиачного и нитратного) и с учетом его делают поправки к рекомендованным нормам. Для условий ГДР этот метод является наиболее обоснованным и универсальным. Он практически приемлем для всех почвенных зон республики под зерновые. В ФРГ для ферм с высоким уровнем применения удобрений и урожайностью озимой пшеницы 60—100 ц/га разработан метод оптимизации норм азотных удобрений для этой культуры, в основу которого положен учет запасов минерального азота в слое почвы 0—90 см. Дозу удобрения для подкормки определяют по разнице между нормативным количеством минерального азота, необходимым для получения планируемого урожая, и фактическим запасом его в слое 0—90 см. Этот метод приемлем для плодородных лессовидных почв и требует большой глубины отбора почвенных проб.

В нашей стране при существующем уровне химизации на основе результатов полевых опытов для отдельных районов определены оптимальные нормы азотных удобрений. Например, в Московской области появилась возможность применять повышенные нормы азотных удобрений. В связи с этим становится необходимой корректировка норм с учетом содержания минерального азота в почве перед внесением удобрений. Результаты обследования в 1982 г. почв 98 хозяйств Московской области показали, что содержание минерального азота в слое 0—90 см колебалось в пределах 15—589 кг/га при среднем содержании азота 110 кг/га.

Придавая важное значение методам диагностики и оптимизации азотного питания и удобрения сельскохозяйственных культур, считаем необходимым отме-

тить, что разработанные для конкретных условий и перечисленные выше методы оптимизации для уточнения доз азотной подкормки не могут быть применены во всех зонах нашей страны. Пригодность методов определения запасов азота в почве для оптимизации азотного питания растений может быть обоснована только статистически достоверной корреляцией результатов анализа почвы и данных полевых опытов (особенно многолетних) с азотными удобрениями в конкретных почвенно-климатических условиях. Для этого необходимо прежде всего широко использовать имеющиеся данные полевых опытов с азотными удобрениями, особенно стационарных. Для разработки метода оптимизации азотного питания необходимо опытным путем установить для каждого конкретного района основные варьируемые параметры: исходный уровень содержания азота, необходимый для формирования планируемого урожая с учетом содержания фосфора и калия в почве, рН, биологическую активность почвы, число, сроки и глубину отбора почвенных проб, глубину залегания грунтовых вод, характер формирования корневой системы культур и др.

Для определения запасов минерального азота почвы и оптимизации азотного питания необходимо широко использовать новые методы и последние достижения агрохимической науки. Так, применение в агрохимических исследованиях метода стабильного изотопа ^{15}N наряду с определением фактического количества азота удобрений, используемого сельскохозяйственными культурами, позволило установить размеры минерализации и дополнительного использования растениями органического азота почвы. Количественная оценка этого процесса имеет большое практическое значение не только для установления наиболее объективного баланса азота при различных системах земледелия, но и для увеличения эффективности азотных удобрений и повышения плодородия земель. В частности, познание процессов мобилизации азота дает возможность прогнозировать нормы азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры с учетом наличия водорастворимых форм азота в почве.

Основными критериями оптимального фосфатного режима почв являются содержание подвижного фосфора, при котором достигается наибольший урожай воз-

делываемой культуры, и отсутствие эффекта от дополнительно вносимых фосфорных удобрений. При этом следует ориентироваться на ведущие и наиболее требовательные к уровню фосфорного питания культуры севооборота в конкретных почвенно-климатических условиях.

Важность оптимизации фосфатного режима диктуется еще и тем, что, хотя во многих районах страны наблюдается постепенное повышение обеспеченности почв этим элементом, а в отдельных регионах даже имеются примеры зафосфаченности, значительные площади пахотных земель до сих пор характеризуются низкой обеспеченностью подвижным фосфором. Дефицит фосфора из-за ограниченности ресурсов будет иметь место и в перспективе.

На основе многочисленных экспериментальных данных установлены следующие оптимальные уровни фосфатного режима для отдельных типов почв и природно-климатических зон: для дерново-подзолистых и сырых лесных почв Нечерноземной зоны — 10—15 мг/100 г почвы (по Кирсанову), для обыкновенных, оподзоленных и мощных черноземов — 10—15 мг/100 г почвы (по Чирикову), для карбонатных черноземов, каштановых и сероземных почв — 3—3,5 мг/100 г почвы (по Мачигину).

Указанный уровень фосфатного режима позволяет получать в условиях обеспечения другими факторами роста максимально возможные урожаи возделываемых культур: на дерново-подзолистых и серых лесных почвах Нечерноземной зоны — озимой пшеницы 50—55 ц/га, картофеля 250—300, ячменя 40—45 ц/га; на обыкновенных, оподзоленных и мощных черноземах — озимой пшеницы 50—55 ц/га, кукурузы 70—75, сахарной свеклы 350—400 ц/га; на каштановых и сероземных почвах — хлопчатника 40—50, сахарной свеклы 500—600 ц/га.

Продуктивность севооборотов достигает 30—52 ц кормовых единиц с 1 га. На орошаемых землях в условиях повышенной продуктивности требуются более высокие уровни обеспеченности подвижным фосфором.

В результате обобщения (с помощью математического моделирования) экспериментальных данных многолетних стационарных опытов с удобрениями, проведенных в период 1970—1981 гг. на искусственно со-

зданных фосфорных фонах в Московской, Калининской и Смоленской областях, установлено, что увеличение содержания подвижного фосфора в почве от низкого (2—4 мг/100 г почвы) до среднего (8—10 мг/100 г почвы) сопровождается наиболее высокими прибавками урожая. Дальнейшее его повышение приводит к снижению прибавок. Урожай, достигнув максимальных величин в зоне оптимальных значений содержания подвижного фосфора в почве, стабилизируются.

На почвах с низким содержанием подвижного фосфора фосфорные удобрения весьма эффективны, и положительное их действие наблюдается вплоть до самой высокой в опытах нормы — 270 кг/га. С увеличением обеспеченности почвы подвижным фосфором эффективность фосфорных удобрений падает, уменьшаются нормы, необходимые для получения максимального урожая. И наконец, при оптимальном содержании подвижного фосфора в почве фосфорные удобрения становятся неэффективными и не окупаются прибавками урожая. Максимальный урожай получается тогда, когда эти взаимодействующие факторы находятся в оптимуме.

Для дерново-подзолистых суглинистых почв оптимум по содержанию подвижного фосфора, как уже отмечалось, находится в пределах 10—15 мг/100 г почвы, а оптимум норм фосфорных удобрений в зависимости от культуры — 40—80 кг/га. При любом другом количественном выражении указанных факторов максимальный урожай будет меньшим. Оптимальное содержание фосфора в почве с ростом урожайности сельскохозяйственных культур изменяется. Для высоких урожаев зерна порядка 50—80 ц/га необходим качественно новый уровень обеспеченности почв питательными веществами. Эти вопросы требуют дальнейшего изучения в специально заложенных опытах.

Оптимизацию калийного режима почв принято характеризовать показателем содержания обменного калия. Однако в исследованиях последнего времени все чаще становится под сомнение способность данного показателя надежно характеризовать калийный режим почв, так как во многих случаях не удается установить тесную связь этого показателя с эффективностью калийных удобрений. Объясняется это прежде всего значительными запасами калия в почвах и динамическим

равновесием между различными его формами. Способность почв непрерывно в течение вегетации снабжать растения необходимым количеством усвояемого калия зависит не столько от его содержания, сколько от способности почв восполнять запасы калия в почвенном растворе по мере потребления его растениями, в том числе и за счет необменных форм, т. е. в процесс питания растений вовлекаются все формы почвенного калия.

Поэтому при характеристике плодородия почв в отношении калия нужно учитывать не только легкоподвижные формы, какими являются калий почвенного раствора и обменный калий, но и необменный калий первичных и глинистых минералов, являющийся резервом пополнения запасов обменного калия в почве.

Оптимальный калийный режим в пределах отдельной разновидности почвы значительно колеблется под влиянием ряда факторов: реакции почвенной среды, степени насыщенности ППК калием и другими ионами (Ca, Mg).

На основании экспериментальных данных установлены следующие границы содержания обменного калия, обеспечивающие оптимальные условия калийного питания для отдельных разновидностей почв: для дерново-подзолистых супесчаных — 10—15 мг/100 г почвы, дерново-подзолистых суглинистых — 15—20 мг/100 г почвы (по Масловой), для обыкновенных мощных черноземов — 15—20 мг/100 г почвы (по Чирикову), для каштановых почв — 2,5—3,5 мг/100 г почвы (по Мачигину).

Оптимизация режимов основных элементов питания культурных растений должна обязательно осуществляться с учетом содержания подвижных форм микроэлементов в почве. В ВИУА разработана шкала обеспеченности почв различных зон страны микроэлементами. Однако при определенном уровне обеспеченности и составлении практических рекомендаций следует проявлять известную осторожность, так как содержание подвижных форм микроэлементов в течение вегетационного периода сильно изменяется.

Таким образом, оптимальные параметры почвенного плодородия, на основе которых можно принять правильное решение по применению удобрений, могут быть объективно установлены при условии изучения их во взаимосвязи с другими факторами, одновремен-

но участвующими в формировании урожая. В этом направлении должны развиваться и совершенствоваться исследования моделирования и оптимизации показателей плодородия почв.

Сложность проблемы сохранения биосферы от загрязнения (в том числе химическими и другими средствами, применяемыми в сельском хозяйстве) требует разработки комплексной программы исследований с участием в ее реализации ученых многих отраслей сельскохозяйственной и биологической науки. Она должна предусматривать широкий круг задач — от просвещения до внедрения в производство конкретных и эффективных технологий и организационных мероприятий.

Защита и улучшение биосферы Земли — важнейшая глобальная задача человечества всей Планеты, так как ее успешное решение будет определять не только его насущные материальные блага, но и всестороннюю полноценную жизнь людей во всем Мире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев Н. Г. и др. Луга и пастбища в животноводческих комплексах.— М.: Колос, 1980.
- Антропогенное эвтрофирование природных вод.— Тезисы докладов на II Всесоюзном совещании по антропогенному эвтрофированию природных вод 19—23 декабря 1977 г. Ч. I и II.— Черноголовка, 1977.
- Базилевич С. Д., Дегтярева Н. И. Влияние ингибиторов нитрификации на использование азота удобрения растениями и его превращения в почве.— Доклады ТСХА, вып. 218, 1976.
- Баранов П. А. Растение, удобрение, охрана почвы.— В кн.: VIII Международный конгресс по минеральным удобрениям. Доклады советских участников конгресса. Ч. I. М., 1976.
- Башкин В. Н., Бочкарев А. Н. К изучению регионального баланса азота.— В кн.: Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. Пущино, 1979.
- Беличенко Ю. П., Долгополова Т. Л. Защита окружающей среды от загрязнения и использование жидкого навоза.— Животноводство, 1976, № 5.
- Бетехтина Р. А. Что остается после перевозок.— Экономика и организация промышленного производства, 1980, № 5.
- Благовещенская З. К., Юркин С. Н. Потери элементов питания в интенсивном земледелии и охрана окружающей среды.— М.: ВНИИТЭМСХ, 1978.
- Бобрицкая М. А. Вымывание питательных веществ из удобрений и почвы в Нечерноземной зоне (по данным лизиметрических исследований).— В кн. VIII Международный конгресс по минеральным удобрениям. Доклады советских участников конгресса. Ч. I, М., 1976.
- Большаков В. А. и др. 1978. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами.— М.: ВНИИТЭМСХ, 1978.
- Бондарев Л. Г. Ландшафты, металлы и человек.— М.: Мысль, 1976.
- Будыко М. И. Глобальная экология.— М.: Мысль, 1977.
- Варюшкина Н. М., Кирпанева Л. И. Баланс минерального азота в условиях ежегодного применения удобрений.— В кн.: Трансформация азота в почве и эффективность азотных удобрений. София, 1979.
- Ганжара Н. Ф., Хохлов В. Г. Сезонная и многолетняя динамика содержания органических веществ в дерново-подзолистых почвах Смоленской области.— М.: Изв. ТСХА, вып. 6, 1978.
- Герасимов И. П. Биосфера Земли.— М.: Педагогика, 1976.

- Герасимов И., Будыко М. Актуальные проблемы взаимодействия человека и природы.— Коммунист, 1974, № 10.
- Гинзбург К. Е. Фосфор основных типов почв СССР.— М.: Наука, 1981.
- Гладушко В. И. Техногенное ускорение миграции фтора в природе и его последствия.— Агрохимия, 1979, № 2.
- Горбалетов Ю. И., Сажнев И. Н., Кондрашов А. К. О снижении потерь удобрений при погрузочно-разгрузочных работах на прирельсовых складах.— Химия в сельском хозяйстве, № 4, 1977.
- Горышина Г. К. Экология растений.— М.: Высшая школа, 1979.
- Григорьева Т. И. и Храмова С. И. К вопросу о гигиенической оценке миграции свинца из почвы в растения.— В кн.: Свинец в окружающей среде. Гигиенические аспекты. М.: 1978.
- Гринченко А. М. и др. Трансформация гумуса при сельскохозяйственном использовании почв.— Вестник с.-х. науки, № 1, 1979.
- Дегтярева Н. И. Использование азота удобрений растениями и его превращения в почве.— Докл. ТСХА, вып. 218, 1976.
- Джеронимо Дж. Стабилизатор азота «N — serve». Сводные данные по недавней разработке препарата в США.— В кн.: Доклады на советско-американском симпозиуме. Технология применения и результаты производственных испытаний ингибитора нитрификации «N — serve» на хлопчатнике и рисе. Ташкент, 1980.
- Динерман А. А. Роль загрязнителей окружающей среды в нарушении эмбрионального развития.— М.: Медицина, 1980.
- Динчев Д. Режим и баланс азота в условиях многолетних полевых опытов с удобрениями.— В кн.: Трансформация азота в почве и эффективность азотных удобрений. София, 1979.
- Добровольский В. В. Тяжелые металлы: загрязнение окружающей среды и глобальная геохимия.— В кн.: Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: изд-во МГУ, 1980.
- Дылис Н. В. Учение о биогеоценозе и его проблема.— М.: Знание, 1975.
- Дювиньо П., Танг М. Биосфера и место в ней человека.— М.: Прогресс, 1968.
- Ефимов Ю. И. и др. Экология и мировоззрение.— М.: Знание, 1979.
- Жученко А. А., Андрющенко А. К. Возможности снижения содержания нитратов в овощах методом селекции.— Вестник с.-х. науки, 1980, № 12.
- Закиров Т. С. и др. К вопросу о балансе калия в земледелии (хлопководство) Узбекистана.— Химия в сельском хозяйстве, 1978, № 12.
- Заренцев И. Н. Баланс и эффективность основных элементов питания на орошаемых темно-каштановых почвах юга Украины.— Агрохимия, 1979, № 7.
- Заславский М. Н. Почва и эрозия.— Человек и природа, 1980, № 4.
- Захарченко И. Г., Пироженко Г. С., Шилина Л. И. Баланс питательных веществ в земледелии Украины.— Земледелие, 1977, № 1.
- Зырин Н. Г., Обуховская Т. Д. Ртуть в почвах и растениях.— Агрохимия, 1980, № 7.

- Иванов П. Превращение и потери мочевины в почвах Северо-Восточной Болгарии.— В кн.: Трансформация азота в почве и эффективность азотных удобрений. София, 1979.
- Ильин В. Б., Степанова М. Д. Защитные возможности системы почва — растение при загрязнении почвы тяжелыми металлами.— В кн.: Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: изд-во МГУ, 1980.
- Ковда В. А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком.— В кн.: Биогеохимические циклы в биосфере. М.: Наука, 1976.
- Ковда В. А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана.— М.: Наука, 1981.
- Ковда В. А. Советское почвоведение на службе сельского хозяйства СССР.— Тбилиси, 1981.
- Кордунянц П. Н. Круговорот основных элементов питания сельскохозяйственных культур.— Кишинев, 1978.
- Круговорот и баланс азота в системе почва — удобрение — растение — вода.— М.: Наука, 1979.
- Кудеяров В. Н., Башкин В. Н. Азотный баланс в условиях сельскохозяйственного использования водосборной территории реки Оки.— В кн.: Опыт и методы экологического мониторинга. Пушкино, 1978.
- Кудло К. К. Кобальт, в почвах, грунтовых водах и растениях БССР.— В кн.: Биология, химия и география. Минск, 1973.
- Кузнецов Ю. П., Родионов А. И., Клушин В. Н. Некоторые направления использования пиритных огарков.— ЖВХО, 1979, № 1.
- Кулаковская Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев.— Минск: Ураджай, 1978.
- Леонтьев А. К. Сочетания, дозы и соотношения минеральных удобрений и навоза в зернопропашном севообороте.— В кн.: Результаты исследований в длительных опытах с удобрениями по зонам страны, 1978, вып. 6.
- Маккентун И. Эвтрофикация и биологические вещества.— В кн.: Фосфор в окружающей среде. М.: Мир, 1977.
- Мишустин Е. Н., Лебедев Е. М. и Черепков Н. И. Интенсификация химизации в земледелии и охрана природы (на примере азотных удобрений).— В кн.: Охрана природы и применение химических средств в сельском и лесном хозяйстве. Л., 1981.
- Мишустин Е. Н., Черепков Н. И. Роль бобовых культур и свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов в азотном балансе земледелия.— В кн.: Круговорот и баланс азота в системе почва — удобрение — растение — вода. М.: Наука, 1979.
- Минеев В. Г., Хабарова А. И., Фарафонова Г. И. Баланс питательных веществ при различных системах удобрения в севооборотах по почвенно-климатическим зонам.— В кн.: Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. Пушкино, 1979.
- Минеев В. Г., Шевцова Л. К. Влияние длительного применения удобрений на гумус почвы и урожай культур.— Агрохимия, 1978, № 7.

- Минеев В. Г., Годунов И. Б., Рудай И. Д., Хабарова А. И. Научные основы эффективного использования удобрений в Центрально-Черноземной зоне.— В кн.: Научные основы применения удобрений по зонам страны, вып. 28. М.: 1981.
- Мовсумов З. Р. Азот в земледелии Азербайджана.— Баку, 1978.
- Музычкин Е. Т. Плодородие мощных черноземов и создание уравновешенного баланса питательных веществ.— В кн. Научн. основы рационального использования и повышения плодородия почв. Ростов-на-Дону, 1978.
- Найштейн С. Я. и др. Критерии гигиенического нормирования вредных веществ в почве.— В кн.: Актуальные вопросы гигиены почв. Кишинев, 1975.
- Никитин Д. П., Новиков Ю. В. Окружающая среда и человек.— М.: Высшая школа, 1980.
- Никитишен В. И. К вопросу об оценке методов изучения круговорота и баланса веществ в земледелии.— В кн.: Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. Пущино, 1979.
- Никитишен В. И. и др. Действие и последствие азотного удобрения в связи с миграцией нитратов по профилю почвы.— Агрохимия, 1979, № 7.
- Обухов А. И. и др. Научные основы разработки предельно допустимых концентраций тяжелых металлов в почвах.— В кн.: Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1980.
- Останин А. И., Злобина Л. С. Равномерность распределения удобрений и урожай зерновых культур.— Тр. НИУИФ, 1976, вып. 229.
- Оуэн О. С. Охрана природных ресурсов. Перевод с англ.— М.: Колос, 1977.
- Панников В. Д. Культура земледелия и урожай.— М.: Колос, 1974.
- Постников А. В. Баланс питательных веществ в земледелии и регулирование почвенного плодородия в связи с применением удобрений.— В кн.: VIII Международ. конгресс по минеральным удобрениям. Доклады советских участников конгресса. Ч. I, М., 1976.
- Пресман А. С. Идеи В. И. Вернадского в современной биологии.— М.: Знание, 1976.
- Разоружение и окружающая среда.— Сб. статей под ред. Е. К. Федорова и Р. А. Новикова. М.: Наука, 1981.
- Разрушение природной среды.— В кн.: Экологический кризис империализма. Под ред. В. А. Мартынова и Р. А. Новикова. М.: Экономика, 1981.
- Синкевич З. А. Охрана почв от нитратного загрязнения в условиях интенсификации сельского хозяйства.— В кн.: Оптимизация природной среды в условиях концентрации и специализации производства. Кишинев, 1978.
- Симакин А. И., Ширинян М. Х. Системы удобрения в полево-м севообороте Кубани и баланс питательных веществ.— В кн.: Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии. Пущино, 1979.
- Синдяшкина Р. И., Могиндовид Л. С. Сохранность качества минеральных удобрений при бестарных перевозках и хранении.— Сельское хозяйство за рубежом, 1980, № 11.

- Скоропанов С. Г., Кармовский В. Ф., Брезгунов В. С. Мелиорация земель и охрана окружающей среды.— Минск: Ураджай, 1982.
- Скрипниченко И. И., Золотарева Б. Н. Оценка токсического действия тяжелых металлов (свинца) на растения овса.— Агрохимия, 1981, № 1.
- Смирнов П. М. Итоги испытания препарата «N-serve» и перспективы применения ингибитора нитрификации в СССР.— В кн.: Доклады на советско-американском симпозиуме. Технология применения и результаты производственных испытаний ингибитора нитрификации «N-serve» на хлопчатнике и рисе. Ташкент, 1980.
- Смирнов П. М., Торина Н. А., Базилевич С. Д. Влияние ингибиторов нитрификации на эффективность сульфата аммония и превращение его в почве.— Агрохимия, 1979, № 1.
- Сонина К. И., Мельникова М. Н. Изучение потерь элементов питания растений из почвы.— М.: ВНИИТЭИСХ, 1975.
- Социализм и природа.— М.: Знание, 1976.
- Тихомиров Ф. А. Радиоэкология на факультете почвоведения МГУ.— М.: Вестник МГУ, сер. «Почвоведение», 1980, № 2.
- Тихомиров Ф. А. Теоретические и прикладные вопросы охраны почвенно-растительного покрова от радиоактивного загрязнения.— Биологические науки, 1980, № 4.
- Томас Ю. А. Фосфор и эвтрофикация.— В кн.: Фосфор в окружающей среде. М.: Мир, 1977.
- Трепачев Е. П. Роль биологического азота в азотном балансе земледелия РСФСР.— В кн.: Круговорот и баланс азота в системе почва — удобрение — растение — вода. М.: Наука, 1979.
- Трепачев Е. П. Биологический и минеральный азот в земледелии: пропорции и проблемы.— Сельскохозяйственная биология, 1980, т. 15.
- Турбин Н. В. Биология и сельское хозяйство.— М.: Знание, 1978.
- Федоров Е. Природа и люди.— Коммунист, 1975, № 13.
- Федоров Е. К. Экологический кризис и социальный прогресс.— Л.: Гидрометеониздат, 1977.
- Федосеев П. Н. Философские основания естественных наук.— М.: Наука, 1976.
- Филимонов Д. А., Руделев Е. В. Потери азота удобрений и почвы при вымывании на основных почвенных разностях Нечерноземной зоны.— В кн.: Круговорот и баланс азота в системе почва — удобрение — растение — вода.— М.: Наука, 1979.
- Черепанов Г. Г. Удобрения и качество окружающей среды.— Химия в сельском хозяйстве, 1980, № 10.
- Шатилов И. С., Замараев А. Г., Чаповская Г. В. Баланс азота в севообороте в дерново-подзолистой почве.— М.: Изв. ТСХА, 1977, вып. 1.
- Шатилов И. С., Замараев А. Г., Чаповская Г. В. Химический состав атмосферных осадков и поверхностно стекаемых вод.— Вестник с.-х. науки, 1979, № 6.
- Шевелуха В. С. О задачах почвоведения и земледелия в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства.— Доклады на пленарном заседании VI Всесоюзного съезда почвоведов.— Тбилиси, 1981.

- Шипилов А. А. Гигиеническая оценка производства хлорида калия как источника загрязнения водоемов.— Гигиена и санитария, 1980, № 12.
- Шконде Э. И., Благовещенская З. К. Проблема потерь питательных веществ в интенсивном земледелии. III. Газообразные потери. IV. Система мероприятий по борьбе с потерями питательных веществ.— Сельское хозяйство за рубежом, 1979, № 3.
- Юдинцева Е. В., Жигарева Т. Л., Сидорова Е. Д. Влияние минеральных удобрений на накопление ^{90}Sr в урожае озимых культур и картофеля.— М.: Доклады ВАСХНИЛ, 1979, № 5.
- Ярван М. Э. Содержание нитратов в продукции овощеводства.— Химия в сельском хозяйстве, 1980, № 10.
- Austin R. B. Actual and potential yields of wheat and barley in the United Kingdom— ADAS Q. Rev., 1978, N 29.
- Aldrich S. R. Fertilizing for optimum yields will give you minimum pollution.— Crops and Soils, 1972, v. 24, N 4—6.
- Alternative waste management techniques for best practicable waste treatment.— Irrigat. Assoc., 1977.
- Andersson Å. Heavy metals in commercial fertilizers, manure and lime. Cadmium balance for cultivated soils.— Lantbr. Högs. Meddn A 283,— Uppsala, 1977.
- Andersson Å. On the influence of manure and fertilizers on the distribution and amounts of plant-available Cd in soils.— Swedish J. Agric. Res., 1976, v. 6, N 1.
- Andersson Å., Nilsson K. O. Influence on the levels of heavy metals in soil and plant from sewage sludge used as fertilizer.— Swed. J. Agr. Res., 1976, v. 6, N 2.
- Balland D. La fertilisation calcique et magnésienne des céréales à pailles.— Producteur Agr. Franç, 1978, an. 54, N 234.
- Banwart W. L., Bremmer J. M. Evolution of volatile sulfur compounds from soil treated with sulfur-containing organic materials.— Soil Biol. and Biochem., 1976, v. 8, N 5.
- Barrows H., Kilmer V. Plant nutrient losses from soils by water erosion.— Adv. in Agronomy, 1963, v. 15.
- Bartholomew W. V. Soil nitrogen: Supply processes and crop requirements. Techn. Bull. N 6. International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program.— Washington, 1972.
- Basdeo, Gangwar B. R. Studies on losses of ammonia by volatilization from nitrogenous fertilizers applied to soils.— J. Indian Soc. Soil Sci., 1976, v. 24, N 2.
- El-Bassam N., Thorman A. Potentials and limits of organic wastes in crop production.— Compost Sci. Land Utilization, 1979, v. 20, N 6.
- Best E., Strauch D. Zur Frage einer möglichen Umweltbelastung durch Wirtschaftsdünger, dargestellt am Beispiel des Regierungsbezirkes Osnabruck sowie der Kreise Cloppenburg und Vechta des Verwaltungsbezirkes Oldenburg.— Tierarztl. Umsch., 1975, Jg. 30, N 3.
- Bingham F. T., Page A. L. Growth and cadmium accumulation of plant grown on a soil treated with a cadmium-enriched sewage sludge.— J. Environm. Qual., 1975, v. 4, N 2.

- Borowiec S. Ilosci sklandników mineralnych wymywane z posiomów akumulacyjnych gleb przediponawozeni u posez wode infiltrujaca i splywajaca.— Zeszyty naukowe akademii rolniczej w Szczecinie, 1977, 64. Rolnictwo 16.
- Bovay M. E. Les tendances actuelles concernant l'utilisation des fertilisants organiques et des interrelations avec les engrais chimiques, compte tenu de la fertilité des sols. Rapp. Colloque sur les perspectives d'utilisation des engrais pour ameliorer la fertilité des sols et les rendements et proteger l'environnement humain FAO/ECE.— Geneva, 1979.
- Boysen P. Nährstoffauswäschtung aus gedüngten und ungedüngten Böden in Abhängigkeit von Standorteigenschaften und Nutzung der Möränen — und Sändergebiete Schleswig-Holsteins.— Kiel, 1977.
- Bremner J. M. et al. Formation of nitrous oxide and dinitrogen by chemical decomposition of hydroxylamine in soils.— Soil Biol. and Biochem., 1980, v. 12, N 2.
- Burford J. R., Bremner J. M. Relationships between the denitrification capacities of soils and total, water-soluble and readily decomposable soil organic matter.— Soil Biol. Biochem. 1975, v. 7, N 6.
- Chaney W. R., Strickland R. C., Lamoreaux R. J. Phytotoxicity of Cadmium inhibited by lime.— Plant Soil, 1977, v. 47, N 1.
- Cooke G. W. A review of the effects of agriculture on the chemical composition and quality of surface and underground waters.— Agriculture and Water Quality Techn. Bull. 32.— London, 1976.
- Cooke G. W. Long-term fertilizer experiments in England: the significance of their results for agricultural science and for practical farming.— Annales agronomiques, 1976, v. 27, N. 5—6.
- Cottene A. Le sol comme reservoir et tampon naturel dans l'environnement.— Pedologie, 1977, 27, 1.
- Czeratzki W. Die Stickstoffauswaschtung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion.— Landbauforsch. Völkenrode, 1973, B, 23, N 1.
- Dam Kofoed A., Nemming O. Askov 1894: Fertilizers and manure on sandy and loamy soils.— Ann. Agron., 1976, v. 27, NN 5, 6.
- Dambroth M., Tietjen C., El-Bassam N. Trends in the use of organic fertilizers and interrelations between organic and mineral fertilizers for crop production and soil fertility. Trans. Symposium on prospects for the use of fertilizers with a view to raising soil fertility and yields and to protecting the human environment.— FAO/ECE, Geneva, 1979.
- Davidson J., Lloyd R. Environment Protectional Agriculture 1977.
- Deb D. L., Sen A. et al. Copper Toxicity problem in soils.— J. Indian Soc. Soil Sci., 1978, v. 26, N 3.
- Dörter K. Der Einfluss intensiver landwirtschaftlicher Produktion auf die Eutrophierung des Wassers in Trinkwasserschutzgebiet der Rappbodetalsperre des Harzes in der DDR.— Acta Fyto-techn. Nitra., 1979, N 35.

- Dowdy R. H. et al. Growth and metal uptake of snap beans grown on sewage sludge-amended soil: a four year field study.—*J. Envir. Qual.*, 1978, v. 7, N 2.
- Dunigan E. et al. Surface runoff losses of fertilizers.—*Louisiana Agriculture*, 1977, v. 17, N 4.
- Extend new nitrogen regulator from Kalo Laboratories.—Kansas City, Missouri, 1978.
- Findenegg G. R., Haunold E. Die Quecksilberaufnahme von Sommerweizen aus verschiedenen Böden — *Bodenkultur* 1972, B. 23, H. 3.
- Gast R. G. et al. Nitrate accumulation in soils and loss in till drainage following nitrogen applications.—*J. Env. Qual.*, 1978, v. 7, N 2.
- Glatzel H. Mineraldüngung und Nahrungsqualität.—*Der Stickstoff*, 1978, n 12.
- Ham G. E., Dowdy R. H. Soybean growth and composition as influenced by soil amendments of sewage sludge and heavy metals: Field Studies.—*Agronomy, J.*, 1978, v. 70, N 2.
- Hansen H. The influence of nitrogen fertilization on the chemical composition of vegetables.—*Qual. Plantarum*, 1978, v. 28, N 1.
- Hardh J. E. The heavy metals in alimentary crops and in soils.—*J. of the Scient. Agron. Soc. of Finland*, 1977, v. 49.
- Hewgill D., Grice S. L. Lysimeter study with pig slurry.—*Agric. Water Quality. Techn. Bull.* 32.—London, 1976.
- Honma Y., Hirata H. Noticeable increase in cadmium absorption by zinc deficient rice plants.—*Soil Sci. Plant Nutr.*, 1978, v. 24, N 2.
- Jaakola A. Effect of fertilizers, lime and cadmium added to soil on the cadmium content of spring wheat.—*J. Sci. Agric. Soc. Finland*, 1977, v. 49, N 5.
- Jäggli F. Sickerverluste an Mineralstoffen.—*Mittl. Schweiz. Landwirtschaft.*, 1978, j. 26, N 7.
- Kladivko E. J., Nelson D. Changes in soil properties from application of anaerobic sludge.—*J. Water Pollution Control*, 1979, v. 51, N 2.
- Klausner S. D. Surface runoff losses of soluble nitrogen and phosphorus under two systems of soil management.—*J. Env. Qual.*, 1974, v. 3, N 1.
- Kloke A. Blei-Zink-Cadmium. Anreicherung in Böden und Pflanzen.—*Staub-Reinhalt. Luft*, 1974, Bd 34, H 1.
- Kovda V. A. Soil cover an irreplaceable asset of nature.—*Interdiscipl. Sci. Rev.*, 1979, v. 4, N 2.
- Kradel J. Landwirtschaft zwischen Agrarchemikalien und Verbrauchswünschen.—*BASF-Mittl. für den Landbau, Düngung, Pflanzenschutz*, 1972, dezember.
- Kramer D. et al. Auswirkungen des steigenden Düngereinsatzes auf landwirtschaftlichen Nutzflächen auf die Nährstoffeinwaschung in die Gewässer.—*Mittl. Inst. Wasser-Wirtsch. Berlin, S. H.*, 1977, N 2.
- Lee K. W., Keeney D. R. Cadmium and zinc additions to Wisconsin soils by commercial fertilizers and wastewater sludge application.—*Water, Air and Soil Pollution*, 1975, v. 5, N 1.

- Lidgate H. J. The nitrogen requirements of winter wheat grown in predominantly cereal crop rotation in south eastern England. Trans. Symposium on prospects for the use of fertilizers.—FAO/ECE, Geneva, 1979.
- Loginow W. Wplyw nawozenia na staw srodowiska rolnego.—Zeszyty problemowe postepow nauk rolniczych, 1979, 217.
- Lumpungu-Kabamba. Die Ammoniakfreisetzung aus Harnstoff und die Harnstoff-N-Wirkung bei verschiedenen Behandlungen.—Diss. Bonn, 1978.
- Lysimeteruntersuchungen in der Grossanlage Limburgerhof 1927—1977.—Limburgerhof, 1977.
- McBride J. R. Evaluation of vegetation in environmental planning.—Landscape Planning, 1977, v. 4, N 4.
- McKenzie R. M. The effect of two manganese dioxides on the uptake of lead, cobalt, nickel, copper and zinc by subterreanean clover.—Austr. J. Soil Res. 1978, v. 16, N 2.
- Malcolm R. E., Vaughan D. Comparative effects of soil organic matter fractions on phosphatase activities in wheat roots.—Plant Soil, 1979, v. 51.
- Masaryk S. Uplyv hnojenia stupnovanymi dávkami dusika na obsah N—NO₃ v lucnom sene.—Polnohospodárstvo, 1976, r. 22, c. 11.
- Mathy P. Le cadmium dans l'Environnement.—Annales de Gembloux, 1975, An. 80, N 4.
- Matsuo H., Nayase T., Yokoi H., Onikura Y. Results of long-term fertilizer experiments on paddy rice in Japan.—Ann. Agron., 1976, 27 (5—6).
- Miller J. E., Hassett I. J., Koeppe D. E. Interactions of lead and cadmium on metal uptake and growth of corn plants.—J.—Env. Qual. 1977, v. 6, N 1.
- Mineyev V. G. Changing of soil fertility and crops productivity under long-term fertilizations. Trans. Symposium on prospects for the use of fertilizers.—FAO/ECE, Geneva, 1979, 1—21.
- Nitrogen Fertilizer: a plus for the uzone.—Farm Chem., 1979, v. 142, N 4.
- Novak B. The use of fertilizers in relation to the protection of the human environment. Trans. Symposium on prospects for the use of fertilizers with a view to roising soil fertility and yields and to protecting the human environment.—FAO/ECE, Geneva, 1979.
- Phosphates from fungi? — Phosphorus and Potassium, 1978, N 97.
- Podany P. et al. Vliv nerovnoměrnosti rozmetání prumyslových hnojiv na výnosy pestovaných plodin.—Uroda, 1977, r. 25.
- Purves D., Johnson J. Trace element contamination of the environment.—Amsterdam, Elsevier Sci., Publ., 1978.
- Rao D. N., Pal D. Effect of fluoride pollution on the organic matter content of soil.—Plant soil, 1978, v. 49, N 3.
- Schweisheimer W. Bienen als Hilfe im Kämpf gegen Umweltverschmutzung.—Schweizerische Bienenzeitung, 1978, v. 101, N 9.
- Schwertmann U., Attenberger E. Veränderungen von Bodeneigenschaften durch langjährige pH—verändernde Düngung.—Landw. Forsch., 1979, Bd 32, n. 1/2.

- Senesi N. et al. Content and distribution of As, Bi, Li and Se in mineral and synthetic fertilizers and their contribution to soil.—Comm. in Soil Sci. and Plant Analysis, 1979, v. 10, N 8.
- Sheriff M. P. Be wary—you may be overliming.—N. Z. Fertilizer Journal, 1979, N 53.
- Smilde K. W. Trends in fertilizer formulation and use. Trans. Symposium on prospects of the use of fertilizers with a view to raising soil fertility and yields and protecting the human environment.—FAO/ECE, Geneva, 1979.
- Smith R., Bradshaw A. The use of metal tolerant plant populations for the reclamation of metalliferous wastes.—J. Appl. Ped., 1979, v. 16, N 2.
- Sommers L. E. et al. Transformation of Carbon, nitrogen and metals in soils treated with waste materials.—J. Env. Qual., 1979, v. 8, N 3.
- Tomlinson T. E. Nutrient losses from agricultural land.—Outlook on Agr., 1971, v. 6, N 6.
- Uhlen G. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers and farm manure in long-term experiments with rotation crops in Norway.—Ann. Agronomiques, 1976, v. 27, N 5—6.
- Vetter H. Umwelt und Nahrungsqualität.—Wilhelm Heyne Verlag, Munchen, 1980.
- Vetter H., Klasink A. Untersuchungen zu den Grenzen der Anwendung von Schweinen—und Hühnergülle.—Landw. Forschung, 1972, S. H., 27/1.
- Wagner R. E. Interactions of phosphor in a high yield environment.—Phosphorus in Agriculture, 1979, v. 33, N 76.
- Walker W. M. et al. Effect of land and cadmium upon the calcium, magnesium and phosphorus concentrations in young corn plants.—Soil Sci., 1977, v. 124, N 3.
- Wiklander L., Vahtras K. Solubility and uptake of heavy metals from a swedish soil.—Geoderma, 1977, v. 19, N 2.
- Williams C. H. Trace metals and superphosphate toxicity problems.—J. Austr. Inst. Agr. Sci., 1977, v. 43, N 3—4.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Научно-технический прогресс в химизации земледелия и биосфера	6
Влияние удобрений на круговорот и баланс биогенных элементов	20
Баланс азота, фосфора и калия в зависимости от уровня химизации земледелия	20
Удобрение и баланс гумуса в почве	50
Пути предотвращения возможного загрязнения окружающей среды удобрениями	77
Совершенствование технологии транспортировки, хранения и внесения удобрений	79
Технология применения удобрений	89
Защита почв от эрозии и снижение потерь питательных элементов в окружающую среду	115
Улучшение свойств и качества удобрений	125
Негативное действие удобрений на окружающую среду	143
Влияние удобрений на эвтрофикацию природных вод	143
Газообразные потери азота удобрений и почвы в атмосферу	158
Возможное негативное влияние удобрений на плодородие почвы	166
Влияние биогенных и токсических элементов на качество растениеводческой продукции	179
Агрохимические аспекты улучшения биосферы	215
Список литературы	237

Василий Григорьевич Минеев

АГРОХИМИЯ И БИОСФЕРА

Заведующая редакцией М. М. Антонова

Редактор А. И. Григорьева

Художник Д. А. Шпаков

Художественный редактор А. И. Бершачевская

Технический редактор В. И. Смирнова

Корректоры: М. И. Бынеев, З. Т. Бегичева,

Н. Э. Аухатова

ИБ № 3420

Сдано в набор 15.07.83. Подписано к печати 12.12.83.
Т-22157. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 1. Гарни-
тура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 13,02.
Усл. кр.-отт. 13,34. Уч.-изд. л. 14,05. Изд. № 135.
Тираж 1950 экз. Заказ № 4439. Цена в обложке —
90 коп. (1830 экз.). Цена в переплете — 1 р. 20 к.
(120 экз.).

Ордена Трудового Красного Знамени издательство
«Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-
Спасская, 18.

Областная ордена «Знак Почета» типография
им. Смирнова Смоленского облуправления издательств,
полиграфии и книжной торговли, 214000, г. Смоленск,
пр. им. Ю. Гагарина, 2.

72



Задача агрохимии состоит не только в том, чтобы дать научно обоснованные рекомендации по созданию оптимальных условий питания растений с учетом климата и плодородия почвы, биологических особенностей вида и сорта культуры, свойств удобрений и их действия на растение и почву, но и в том, чтобы предотвратить негативное влияние средств химизации на окружающую среду.