

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Конспект лекций

по дисциплине

Теоретическая агрохимия

Краснодар, 2015

Ведущий преподаватель:

Шеуджен А.Х., член-корр. РАН, профессор

Фамилия И.О., ученая степень, ученое звание

_____ *подпись*

_____ *дата*

Учебно-методическое пособие обсуждено на
заседании кафедры агрохимии

_____ протокол от _____ № _____

Заведующий кафедрой

Шеуджен А.Х., член-корр. РАН, профессор

Фамилия И.О., ученая степень, ученое звание

_____ *подпись*

Учебно-методическое пособие рассмотрено на заседании методической
комиссии факультета агрохимии и почвоведения

_____ протокол от _____ № _____

Председатель методической комиссии

Терпелец В.И., д.с.-х.н., профессор

Фамилия И.О., ученая степень, ученое звание

_____ *подпись*

Цель и задачи дисциплины

Цель изучения дисциплины – формирование у аспирантов знаний, умений и навыков решения актуальных проблем в агрохимии, при изучении теоретических основ и инструментальных методов исследования, используемых агрохимиками в научной, опытной и производственной работе.

Задачи дисциплины:

- рассмотрение и практическое освоение теоретических основ современных методов изучения и обоснования рациональных приемов использования удобрений ;
- разработка и освоение экологически безопасных агротехнологий, позволяющих снизить экономические риски производства заданного количества и качества продукции растениеводства;
- разработка проектов оптимизации почвенного плодородия различных агроландшафтов и технологий за счет использования вещественных и технологических факторов;
- проведение агроэкологического мониторинга сельскохозяйственных угодий и разработка методов снижения загрязнения почв и их реабилитация;
- агроэкологическая оценка средств химизации земледелия;

Дисциплина «Теоретическая агрохимия» входит цикл Б1.В.ДВ.2 (цикл Б1.В.ДВ. «Дисциплины по выбору» основной образовательной программы подготовки аспиранта направление 35.06.01 — Сельское хозяйство профиль – Агрохимия)

Требования к формируемым компетенциям

Аспиранты, завершившие изучение данной дисциплины, должны:

Иметь представление:

- об особенностях применения минеральных и органических удобрений, современных почвенных и удобрительных смесях;
- о путях предотвращения отрицательного воздействия удобрений на окружающую среду;
- о круговороте, балансе и путях превращения питательных веществ в системе «почва-растение-удобрение-окружающая среда».

Знать:

- методы определения доз удобрений и химических мелиорантов для получения планируемых урожаев сельскохозяйственных культур;
- - способы, сроки и технологии внесения удобрений и мелиорантов;
- - особенности минерального питания сельскохозяйственных культур и его влияние на качество урожая.

Уметь:

- анализировать почвы, растения и удобрения;
- разрабатывать и обосновывать системы удобрения, направленные на сохранение и повышение плодородия почв;
- рассчитывать дозы удобрений;
- давать оценку достоверности полученных экспериментальных данных, используя статистические методы обработки, а также научно-обоснованной схемы полевого опыта.
- Перечень компетенции, формируемых при изучении дисциплины – Теоретическая агрохимия

Шифр	Формулировка
ОПК-1	владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области сельского хозяйства, агрономии, защиты растений, селекции и генетики сельскохозяйственных культур, почвоведения, агрохимии, ландшафтного обустройства территорий, технологий производства сельскохозяйственной продукции
ОПК-2	владением культурой научного исследования в области сельского хозяйства, агрономии, защиты растений, селекции и генетики сельскохозяйственных культур, почвоведения, агрохимии, ландшафтного обустройства территорий, технологий производства сельскохозяйственной продукции, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
ОПК-3	способностью к разработке новых методов исследования и их применению в области сельского хозяйства, агрономии, защиты растений, селекции и генетики сельскохозяйственных культур, почвоведения, агрохимии, ландшафтного обустройства территорий, технологий производства сельскохозяйственной продукции с учетом соблюдения авторских прав
ОПК-4	готовностью организовать работу исследовательского коллектива по проблемам сельского хозяйства, агрономии, защиты растений, селекции и генетики сельскохозяйственных культур, почвоведения, агрохимии, ландшафтного обустройства

	территорий, технологий производства сельскохозяйственной продукции
ПК-1	Способность понимать сущность современных проблем агрохимии, современных технологий воспроизводства плодородия почв
ПК-2	Владением физическими, химическими и биологическими методами оценки почвенного плодородия агроландшафтов
ПК-4	Готовность применять разнообразные методологические подходы к воспроизводству плодородия почв
ПК-5	Способностью обосновать оптимальный способ использования удобрений для получения наибольшей экономической и экологической эффективности
УК-1	способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
УК-2	способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки
УК-3	готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач
УК-5	способностью следовать этическим нормам в профессиональной деятельности
УК-6	способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ

Таблица 1

№ темы лекции	Наименование темы и план лекции
1	Экология минерального питания растений
2	Плодородие почв и его экологическое значение
3	Круговорот и баланс биогенных элементов и гумуса
4	Методы исследований в агрохимии
5	Статистическая обработка результатов опыта.
6	Функционирование агрохимического сервиса сельскохозяйственного производства

Тема 1. Предмет, методология и задачи агрономической химии.
Предмет и объекты агрономической химии. Цель и задачи агрономической химии. Содержание агрохимии и ее связь с общепрофессиональными и специальными дисциплинами.

Тема 2. Экология минерального питания растений.
Реакция растений на минеральное питание рассматривается в сочетании: почва-удобрение-растение-климат. Поглощение растениями питательных веществ зависит от их биологических особенностей и свойств почвы – реакции, состава, концентрации почвенного раствора, а также влажности, освещенности, аэрации и температуры, содержания в почве доступных форм элементов. Окислительно-восстановительные процессы, происходящие в почвах. Почвенная микрофлора и питание растений.

Тема 3. Плодородие почв и его экологическое значение.
Плодородие почв – основное специфическое свойство почвы; способность почвенного покрова удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, воздухе, тепле, свете и физико-химических условиях. Естественное, искусственное, потенциальное, эффективное, относительное, экономическое плодородие почв. Агрохимические, агрофизические, биологические, гидромелиоративные показатели плодородия почв.

Тема 4. Круговорот и баланс биогенных элементов и гумуса.
Удобрения – источник биогенных элементов. Биогенные питательные элементы – химические элементы, входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции. Д.Н. Прянишников о проблеме круговорота веществ в земледелии и о балансе питательных веществ. Значение органических и минеральных

удобрений в создании положительного баланса гумуса. Ассортимент минеральных и органических удобрений, современные почвенные и удобрительные смеси, регуляторы роста. Охрана окружающей среды.

Тема 5. Методы исследований в агрохимии. Лабораторный, вегетационный, полевой, лизиметрический. Значений, сущность, методика и техника закладки опытов.

Тема 6. Статистическая обработка результатов опыта.

Задачи статистической обработки данных, полученных в агрохимических исследованиях: лизиметрические, вегетационные и полевые опыты, методы используемые в научной и практической работе. Рассмотреть кривую нормального распределения вероятностей, доверительные интервалы, критерии оценки экспериментальных данных. Определение основных показателей статистической оценки данных. Виды ошибок. Дробный, обобщенный и дисперсионный методы статистической обработки данных определения точности опыта и НСР₀₅. Методика преподавания: проблемное обучение.

Тема 7. Функционирование агрохимического сервиса сельскохозяйственного производства.

Ресурсное и технологическое обеспечение химизации земледелия РФ. Производство сельскохозяйственной продукции. Характеристика земельных ресурсов и причины деградации. Производство и применение минеральных, органических удобрений и биопрепаратов в РФ.

В мировой практике в качестве одного из основных рычагов повышения урожайности сельскохозяйственных культур используются минеральные удобрения. За счет их применения обеспечивается не менее 50 % прироста урожая. Успехи агрохимии, с одной стороны, позволили в сравнительно короткий срок существенно поднять урожайность сельскохозяйственных культур. Однако, с другой стороны, их применение вызвало массу новых проблем, связанных с процессами загрязнения биосферы и, в конечном счете, отрицательным воздействием на человека. Справедливости ради следует отметить, что минеральные удобрения при научно обоснованном их применении не являются существенным фактором загрязнения окружающей среды. Однако полностью исключить негативное влияние их на биосферу нельзя.

Загрязнение природной среды удобрениями происходит по следующим причинам: 1) несовершенство технологии транспортировки, хранения, тукосмешивания и внесения удобрений; 2) нарушение норм и сроков их применения; 3) водная и ветровая эрозия почв; 4) несовершенство качества минеральных удобрений; 5) интенсивное использование промышленных и бытовых отходов в качестве удобрений без контроля их химического состава.

Потери отдельных питательных элементов в результате эрозии почвы бывают различными в зависимости от характера использования сельскохозяйственных угодий, крутизны склонов и интенсивности орошения. Недобор урожая из-за вымывания питательных веществ на слабосмытых почвах составляет 10–12 %, на среднесмытых – 30–50, а на сильносмытых – 60–80 %. В связи с этим постоянное увеличение объемов

применения удобрений требует более детального представления о превращениях питательных элементов. Установлено, что вымывание из почвы катионов подчиняется следующей закономерности: $\text{NH}_4 > \text{Na} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$, анионов – $\text{Cl} \geq \text{NO}_3 > \text{PO}_4$. Потери удобрений при транспортировке, хранении и внесении в почву достигают 10–15 %. Из-за несовершенства самих удобрений и нарушения технологии их применения ежегодно с одного гектара пашни теряется 80–110 кг азота, 5–10 фосфора и 60–70 кг калия. В среднем по сельскохозяйственным культурам усвоение растениями из удобрений азота составляет 40–50 %, фосфора 10–20, калия 50–60 %.

Одной из причин таких низких коэффициентов использования удобрений является их неравномерное распределение по площади поля. При неравномерном их внесении одни растения получают избыточное, а другие недостаточное количество питательных веществ, что приводит к неодинаковым темпам развития и созревания растений, снижению урожая и качества продукции, причем, чем концентрированнее удобрение, тем выше потери урожая. Особенно неудовлетворительно вносятся смеси, приготовленные из удобрений с неоднородным гранулометрическим составом. Оптимальный, с точки зрения усвоения питательных веществ, размер гранул минеральных удобрений находится в пределах 1,5–3 мм. Такие гранулы удобны при распределении их и туковыми сеялками, и разбрасывателями.

В системе применения удобрений важно правильно определить нормы и соотношения питательных элементов, выбрать оптимальные формы удобрений, сроки и способы их внесения. Избыточное, несбалансированное, с нарушением правил агротехники внесение удобрений снижает урожай, ухудшает его качество, вызывает заболевания культурных растений, делает растениеводческую продукцию опасной для животных и человека. Предельно допустимая концентрация (ПДК) нитратного азота в кормах составляет 0,25 % сухой массы. Содержание в них калия свыше 3 % вредит животным и человеку. Чрезмерно высокие нормы удобрений могут привести к загрязнению поверхностных и грунтовых вод, аккумуляции в них нитратов, нитритов, сульфатов, хлоридов и тяжелых металлов в концентрациях, превышающих предельно допустимую.

Чрезмерное повышение концентрации питательных веществ в водоемах вызывает усиленное размножение планктона, разрастание прибрежной флоры, что постепенно приводит к сокращению площади зеркала водной поверхности, обмелению, заилению, а также гибели водных организмов из-за дефицита растворенного в воде кислорода.

Предельно допустимая концентрация вредных веществ в природных водах, мг/л

Вещество*	Хозяйственно-питьевые воды	Рыбохозяйственные водоемы
Аммиак	2,0	0,005
Анилин	0,1	0.0001
Бор	0,5	0,1
Медь	1,0	0,004
Молибден	0,25	0,0012
Мочевина	0,1	80
Мышьяк	0,05	0,05
Нитраты	45	40
Нитриты	3,3	0,08
Сульфаты	500	100
Хлориды	350	30
Циклогексанол	0,5	0,001
Циклогексанон	0,2	0,0005
Цинк	1,0	0,01

*Дополнено А.Х. Шеудженом

Опасность загрязнения окружающей среды в значительной степени зависит от вида удобрений.

Азотные удобрения и окружающая среда

Азотным удобрениям принадлежит ведущая роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. При их внесении усиливается рост не только надземных органов растений, но и корневой системы. Это сопровождается, в свою очередь, накоплением в почве большого количества корневых остатков, которые обогащают ее органическим веществом, способствуют разрыхлению и улучшению водно-физических свойств. В то же время, при несбалансированном применении азотные удобрения могут воздействовать на агроэкосистему и в нежелательном направлении. Все формы азотных удобрений в почве трансформируются в нитраты. Эта самая опасная форма в смысле загрязнения окружающей среды. Нитраты не поглощаются почвой и свободно перемещаются по ее профилю с гравитационной и капиллярной водой. Нитраты – неперенный атрибут круговорота азота в природе, необходимая часть азотного питания растений. Они были, есть и будут, даже если полностью отказаться от применения удобрений. Главное, чтобы содержание нитратов в воде и продуктах питания не превышало ПДК (табл. 104; Титова В.И., Бусоргин В.Г., Шафранов О.Д. и др., 2005). Накопление нитратов в растениях может быть вызвано торможением биосинтеза сложных органических соединений. Скорость их образования зависит от освещения, сбалансированности минерального питания, а также от стрессовых факторов – мороз, засуха, сильное затемнение. Чем менее благоприятнее климатические условия, тем большая возможность накопления в растениях нитратов до токсического уровня от применения высоких норм удобрений.

Максимальное количество нитратов, не причиняющее вред человеку, составляет 5 мг/кг массы тела. Попадая с пищей и питьевой водой в организм животных и человека, нитраты после соответствующих превращений – нитриты, нитрозоамины, нитрозоамиды – переводят двухвалентное железо, содержащееся в гемоглобине крови, в трехвалентное. Образующееся при этом соединение – метгемоглобин не способно к переносу кислорода. В результате происходит ухудшение снабжения организма кислородом. От недостатка последнего человек чувствует удушье, становится вялым, кожа приобретает голубоватый оттенок, интенсивность дыхания и число ударов сердца в минуту увеличиваются. Пороговой дозой нитрит-иона, вызывающей достоверное повышение концентрации метгемоглобина в крови человека, является примерно 0,05 мг/кг массы тела. При замещении 20 % гемоглобина у людей наблюдается анемия, а при замещении 80 % наступает летальный исход. У крупного рогатого скота при избытке нитратов в питьевой воде или в корме наблюдается увеличение аборт, снижение молочной продуктивности, неподвижность, хромота. В целях охраны здоровья населения Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) установлены нормы по потреблению нитратов и нитритов, которые не должны превышать для нитратов 200 мг, а для нитритов 10 мг/день. Предельно допустимые концентрации нитратов в питьевой воде не должны быть более 22 мг/л в умеренных широтах, а в тропиках, где потребление воды больше, 10 мг/л.

Азот вымывается из почв главным образом в районах с избыточным увлажнением и меньше – на почвах с периодически промывным режимом. При внесении азотных удобрений в избыточных количествах не только возрастают потери азота удобрений, но и отмечаются факты повышенного накопления нитратов в растениеводческой продукции и питьевой воде.

Накопление нитратов в сельхозпродукции в большой степени зависит от нормы и сроков внесения азотных удобрений, от освещения и длины светового дня, а также времени посева семян. Доля азотных удобрений среди всех названных факторов, влияющих на накопление нитратов, составляет 50 %. Их внесение усиливает интенсивность денитрификационных процессов и приводит к улетучиванию азота. Потери

Фосфорные удобрения и окружающая среда

Фосфор минеральных удобрений, заделанный в почву, практически не передвигается в ней и прочно закрепляется почвенными коллоидами за счет химического и обменного поглощения. При внесении P_{35-100} содержание подвижного фосфора в почве повышается на 1 мг/100 г. Скорость его перемещения в глубь почвенного профиля не превышает 0,2–0,5 мм в год. Вынос фосфора с фильтрационными водами, как правило, находится в диапазоне 0,05–0,5 кг/га. Даже при поверхностном внесении удобрения вымывание фосфора незначительно и не превышает 1 % внесенной нормы. Систематическое внесение фосфорных удобрений приводит к накоплению в почве остаточных фосфатов в усвояемой форме в среднем 22,6 % от внесенного количества фосфорных удобрений. Значительная часть этого элемента все же попадает в водоемы с твердыми почвенными частицами со сбросными и фильтрационными водами, вызывая еще более усиленную эвтрофикацию водоемов, чем азот.

Наиболее нежелательным последствием эвтрофикации является чрезмерное развитие водорослей в водоемах. Цветение воды в результате бурного развития водорослей возникает тогда, когда в воде концентрация фосфора превышает 0,1 мг/л. Экологические последствия загрязнения водоемов фосфором не ограничиваются лишь их эвтрофикацией. Фосфор, образуя лигандные комплексы, вовлекает в круговорот многие тяжелые металлы, повышение мобильности которых приводит к загрязнению природных вод. Присутствие полифосфатов в почве и воде сильно осложняет химическую очистку последних, сдвигая динамическое равновесие в сторону увеличения растворимости фосфорсодержащих соединений, что является фактором, затрудняющим осаждение естественным путем фосфорных солей в водоемах.

Внесение фосфорных удобрений может способствовать значительному увеличению содержания в почве подвижных форм марганца, цинка, свинца и других элементов. Увеличение количества подвижных форм элементов в почве может привести к большему их поглощению культурными растениями. Совершенно очевидно, что доля этих элементов, в первую очередь тяжелых металлов, вносимых с фосфорными удобрениями, весьма незначительна. Одной из возможных причин увеличения подвижности макро- и микроэлементов в почве при систематическом применении простого и двойного суперфосфата может быть растворяющее действие остатков неорганических кислот, входящих в состав этих удобрений. Так, под влиянием фтора и фосфат-ионов может увеличиваться подвижность меди, марганца и железа.

Влияние фосфорных удобрений на содержание подвижных форм элементов в почве

Элемент	Содержание в водной вытяжке, мг/кг почвы		
	без удобрений	суперфосфат простой	суперфосфат двойной
Кальций	150000	80000	81000
Марганец	300	670	760
Железо	17000	3800	3900
Цинк	83	220	320
Барий	22	24	30
Ванадий	43	76	64
Свинец	37	51	66
Медь	16	28	20

Токсичность фосфора для человека зависит от соотношения Ca:P и считается безвредным, если величина этого соотношения составляет 1:1–1,5. Избыток фосфора может вызвать различные заболевания. Внесение фосфорных удобрений представляет опасность и в связи с наличием ряда радиоактивных элементов в качестве примесей. С суперфосфатом в почву

вносятся в виде примесей мышьяк, кадмий, свинец, фтор, уран, радий, селен, торий, стронций, которые должны рассматриваться как потенциальные источники загрязнения окружающей среды и строго учитываться при внесении в почву удобрений (табл. 106; Рамад Ф., 1981).

Таблица 106 – Содержание балластных элементов в суперфосфатах, мг/кг

Элемент	Содержание	Элемент	Содержание
Мышьяк	1,2–2,2	Свинец	7–92
Кадмий	50–170	Никель	7–32
Хром	66–243	Селен	0–4,5
Кобальт	0–9	Ванадий	20–180
Медь	4–79	Цинк	50–1430

Токсичные элементы попадают в минеральные удобрения главным образом с сырьем для их производства, а также частично загрязняют их в технологическом процессе. В 1 т суперфосфата содержится около 15 кг фтора, который находится в растворимой форме и легко поступает в растение. Увеличение содержания фтора вызывает торможение фотосинтеза, процессов дыхания и роста, нарушает структуру ассимиляционного аппарата. Предельно допустимая концентрация фтора в почве – 3 мг/кг. При содержании в питьевой воде 2 мг/л этого элемента у человека повреждается эмаль зубов и возникает флюороз костей. При внесении фосфорных удобрений нельзя не учитывать и его антагонистические взаимоотношения со многими элементами минерального питания растений. Он связывает в почве цинк, медь и кобальт в недоступные для растений соединения.

Калийные удобрения и окружающая среда

Калий удобрений сравнительно быстро поглощается почвенными коллоидами и не оказывает вредного влияния на окружающую среду. Тем не менее, калийные удобрения должны также использоваться с большой осторожностью. К нежелательным последствиям их применения следует отнести калиево-натриевое и сульфатно-хлоридное засоление и подкисление почвы, нарушение физиологической уравновешенности почвенного раствора и баланса таких элементов, как кальций, магний, натрий и бор. Неправильное использование концентрированных калийных удобрений может вызвать натрий-магний-кальциевое голодание растений, выщелачивание кальция и деструкцию почвы. Кроме того, внесение калийных удобрений может оказывать косвенное влияние на процесс нитрификации, изменяя поглощение почвой аммония. Удобрения – главный источник загрязнения водоемов калием. Размеры потерь этого элемента с фильтрационными водами составляют 10–20 кг/га, а средние величины вымывания калия из почвы – 20–25 кг/га.

Калий не вызывает эвтрофикации водоемов. Однако практически все калийные удобрения, применяемые в сельском хозяйстве, являются хлорсодержащими, а присутствие большого количества хлора в почве нежелательно из-за возможного образования хлорорганических соединений. Одновременно с внесением хлористого калия из расчета K_{45-60} в почву поступает 30–35 кг/га хлора. По данным многолетнего опыта Д.Н. Прянишникова, величина вымывания хлора, внесенного с хлористым калием, при ежегодной норме этого удобрения 100 кг/га д.в. составляет 60 кг/га. При внесении в почву 60 кг/га д.в. хлористого калия растения поглощают примерно 10 кг/га хлора, а остальное его количество вымывается в дренажные воды. Вместе с тем, ПДК этого элемента в местах водоснабжения установлена на уровне 0,25–0,5 мг/л. Кроме того, избыточное внесение калийных удобрений нарушает баланс Mg, Na, Ca и B в почве, что, в свою очередь, может отрицательно сказаться на питании растений риса этими элементами.

Органические удобрения и окружающая среда

Органические удобрения являются необходимым элементом современного сельскохозяйственного производства. Они способствуют уменьшению дегумификации почвы, а в сочетании с посевом многолетних трав – созданию бездефицитного баланса гумуса. Вместе с тем их применение активно влияет на биогеохимические циклы обмена веществ и на экологическое равновесие природных систем.

В состав органических удобрений, помимо питательных веществ, входят около 0,08–0,6 % соды, нитрозамины, вирусы, бактерии, личинки и яйца гельминтов и других микроорганизмов, в т. ч. и возбудителей инфекционных заболеваний человека и животных.

Возбудители болезней животных и человека сохраняются в навозе и помете летом от 7 до 20 дней, в осенне-зимний период от 19 до 60 дней. Разбавление навоза водой приводит к увеличению периода их выживаемости более чем в 3 раза по сравнению с сохраняемостью в компактной массе навоза. Яйца гельминтов в жидком навозе, заложенном в отстойниках открытого типа в октябре–ноябре, сохраняют жизнеспособность 12 мес. и более, а в навозе весенне–летнего периода – 4–5 мес. В связи с этим необходимо постоянно обеззараживать получаемый навоз.

Содержание микроорганизмов в жидком навозе, клеток/мл

Микроорганизмы	Навоз	
	свиней	крупного рогатого скота
Бактерии: аэробные	$10^6-7,5 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^6-4 \cdot 10^6$
анаэробные	$10^7-2 \cdot 10^8$	$8 \cdot 10^7-2 \cdot 10^{12}$
Колиформы	$10^4-3,8 \cdot 10^6$	$10^3-3 \cdot 10^5$
Энтерококки	$10-1,2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6-7 \cdot 10^5$
Стафилококки	$10^{10}-10^{12}$	10^5-10^7
Клостридии	$1,8 \cdot 10^{12}-4 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^2-1,6 \cdot 10^4$
Сальмонеллы	в большинстве случаев	в большинстве случаев

С экологической точки зрения чрезвычайно важным является вопрос о количестве вносимых органических удобрений. При систематическом применении жидкого навоза крупного рогатого скота нормы его не должны превышать 30–35 м³/га, свиного – 20–25 и птичьего помета 15–20 м³/га. С жидким навозом должно вноситься не более 200 кг/га азота. При внесении избыточного количества животноводческих стоков в почву усиливается накопление ионов аммония, хлора, сульфат-ионов, значительно повышается концентрация одновалентных катионов, что может способствовать ее засолению. Легкоподвижные формы азота, содержащиеся в навозе, легко вымываются и улетучиваются из почвы, вызывая загрязнение грунтовых вод и атмосферы. Избыток фосфатов приводит к переходу содержащегося в почве железа в недоступное для растений состояние. Избыточное поступление с навозом калия блокирует усвоение растениями магния. При длительном использовании для удобрения осадков сточных вод в почве накапливаются тяжелые металлы, которые в больших количествах не только ухудшают условия роста и развития растений, но и накапливаются в урожае, снижая его качество.

Продукты распада навоза и птичьего помета вызывают аллергические и сердечные заболевания, воспаление слизистых оболочек у людей и животных. При большом разрыве между внесением и заделкой органических удобрений в атмосферу выделяется аммиак, сероводород, органическая пыль, которые, попадая в воздух, распространяются в радиусе более 3–4 км. Поэтому, для уменьшения вредного воздействия требуется строгое соблюдение установленных технологических операций.

Наиболее существенными нарушениями технологии использования органических удобрений В.Г. Минеев (2004) считает:

- недостаточное использование подстилочных материалов и несовершенство систем навозоудаления, что не только в 1,5-2 раза уменьшает выход высококачественных органических удобрений, но и приводит к потерям жидких фракций;
- неравномерное внесение навоза и компостов;
- нарушение соотношения численности животных и удобряемой площади, что ведет к избыточному удобрению полей, загрязнению окружающей среды;
- недостаток при животноводческих комплексах ирригационно-подготовленных площадей для использования животноводческих стоков (при гидросмыве) и жидкой фракции бесподстилочного навоза на орошение, а также слабое развитие трубопроводного транспорта и полевых навозохранилищ, что значительно повышает эксплуатационные затраты по сравнению с использованием мобильных средств, возрастают и потери навоза;
- недооценка использования бесподстилочного навоза в сочетании с измельченной и рассеянной по полю во время уборки зерновых соломой и сидерацией полей.

Микроэлементы и окружающая среда

Микроэлементы являются неотъемлемой частью биосферы. Они в незначительных количествах необходимы для всех без исключения растений, животных и человека. Вместе с тем, микроэлементы занимают особое место среди загрязнителей, т. к. они в разной степени, но хорошо адсорбируются почвенными коллоидами в пахотном слое почвы, особенно при высокой гумусированности и тяжелом гранулометрическом составе. Предельно допустимая концентрация микроэлементов в почвах представлена в таблице.

Содержание микроэлементов в почвах, мг/кг

Микроэлемент	Диапазон	Наиболее часто встречающиеся концентрации	ПДК
Бор	2–100	5–30	100
Кобальт	1–50	1–10	50
Молибден	0,2–10,0	1–5	10
Цинк	10–300	10–50	300
Марганец	30–3000	400–2000	3000
Медь	2–100	5–20	100

Большинство микроэлементов являются тяжелыми металлами. Их соединения довольно устойчивы и долго сохраняют свои токсические свойства, поэтому важно знать темпы накопления микроэлементов в почве, размеры их поступления в растения и факторы, усиливающие эти процессы. Накоплению микроэлементов в почвах могут способствовать: 1) применение органических удобрений с ферм, где в корм животных добавляют микроэлементы; 2) использование в качестве удобрений промышленных, городских и бытовых отходов без систематического и тщательного контроля их химического состава; 3) нарушение технологии применения микроудобрений; 4) несовершенство качества и свойств микроудобрений. При накоплении в почве в значительных количествах они оказывают токсическое действие на растения, а через них по пищевой цепи могут попасть в организм животных и человека.

В основе токсического действия избыточных концентраций микроэлементов-металлов на растения лежит их денатурирующее действие на метаболически важные белки. Так как каталитическая и регуляторная роль белков для метаболической системы организмов является всеобъемлющей, нарушения могут затрагивать самые различные звенья обмена веществ. Возможны перевод фосфора в недоступную для метаболизма форму труднорастворимых фосфатов тяжелых металлов, а также конкуренция тяжелых металлов с необходимым элементом минерального питания, замена на специфических

переносчиках и передатчиках этого элемента в метаболической цепи, что может привести к его дефициту.

Применение микроудобрений оказывает весьма активное влияние на окружающую среду. Неправильное их использование ухудшает агрохимические свойства почвы, снижает урожай и его качество. Под воздействием тяжелых металлов, входящих в состав микроудобрений, изменяются показатели биологической активности почв. При их поступлении в почву изменяется численность и физиологическая активность отдельных групп микроорганизмов.

Тяжелые металлы могут оказать ингибирующее действие и на процесс естественного вовлечения азота в биологический круговорот – азотфиксацию. Это происходит при обоих типах азотфиксации: как симбиотической в результате угнетения жизнедеятельности азотфиксирующих клубеньковых бактерий, так и не симбиотической. Отчетливо ингибирование азотфиксации наблюдается при загрязнении тяжелыми металлами в концентрациях, в 10 и более раз превышающих фоновые. При поступлении избыточных количеств тяжелых металлов снижается ферментативная активность почвы.

Попадание микроудобрений в грунтовые и поверхностные воды может отрицательно сказаться на здоровье животных и человека. Нарушение сбалансированности питания растений макро- и микроэлементами приводит к различным заболеваниям и ухудшению фитосанитарного состояния почвы. У микроэлементов очень узок оптимальный и безвредный интервал концентрации – в этом их опасность.

Однако полный отказ от микроэлементов приведет к резкому снижению эффективности вносимых минеральных удобрений и недобору урожая, т. к. многие почвы не содержат необходимое количество микроэлементов. Вместе с тем, им принадлежит важное место в комплексе приемов природоохранной агротехники возделывания сельскохозяйственных культур. Ингибируя процесс нитрификации и подавляя активность уреазы, микроэлементы, внесенные в оптимальных нормах, способствуют сохранению аммонийного и амидного азота в почве более продолжительное время, тем самым предохраняя от загрязнения окружающую среду нитратами и нитритами. Они, усиливая минерализацию почвенного азота, увеличивают размеры усвоения растениями экстра-азота*. Аналогичное воздействие микроэлементы оказывают на органические соединения фосфора и калия в почве. Они повышают фунгистатичность почвы и коэффициенты использования растениями азота, фосфора и калия из удобрений; увеличивают урожай и улучшают его качество.

Для снижения темпов поступления тяжелых металлов из почвы в растения можно использовать известкование почв, внесение фосфорных удобрений, поддержание положительного баланса гумуса в почве за счет внесения навоза и сидератов, применение активированных углей в качестве фильтров для предотвращения накопления тяжелых металлов в урожае.

Пути предотвращения отрицательного воздействия удобрений на окружающую среду

Применение удобрений должно быть сбалансированным с обязательным учетом их взаимодействия с объектами окружающей среды. Предотвращению нарушения равновесия экосистемы* будет способствовать строгое соблюдение технологической дисциплины их внесения. Усилия по охране окружающей среды и рациональному использованию удобрений необходимо прилагать, начиная с их транспортировки и хранения. Поэтому, прежде всего,

* Экстра-азот – минерализованный (мобилизованный) или дополнительно усвоенный растениями азот почвы под влиянием азотных удобрений.

* Экосистема – 1) природный комплекс животных, растений и элементов среды их обитания (вода, воздух, почва), связанных между собой обменом веществ и энергии; 2) элементарная функциональная единица биосферы; система, включающая все организмы (биоценоз) на данном участке (биотопе) и взаимодействующая с физической средой таким образом, что поток энергии создает определенную трофическую структуру, видовое разнообразие и круговорот веществ внутри системы.

следует поставить заслон всем потерям от завода до поля. Большое значение имеет технология внесения удобрений. При использовании туковсевающих машин центробежного типа необходимо соблюдать точное расстояние между проходами и выбирать оптимальную ширину их захвата. Выполнение этих требований способствует равномерному распределению удобрений и более полному их использованию растениями. Значительные потери удобрений наблюдаются при их внесении с помощью сельскохозяйственной авиации, так как определенная часть их сносится на дороги и в лесополосы. Для снижения этих потерь специалистами хозяйств должны быть приняты меры по обеспечению более точной сигнализации и строгого контроля за качеством работы. Важно соблюдать научно обоснованные нормы, сроки и способы внесения удобрений, а также вести подбор наиболее оптимальных в данных условиях их форм. Это позволит повысить коэффициенты использования питательных элементов растениями и снизить их непроизводительные потери. Применение высоких норм удобрений зачастую не способствует увеличению урожая и улучшению его качества, но приводит к потерям питательных веществ и снижению степени их использования.

Наибольшую опасность среди удобрений с экологической точки зрения представляют азотные. Для повышения коэффициента использования азота необходимо, после посева удобрений туковсевающими машинами, сразу же заделывать их в почву на глубину 8–10 см. Эффективность азотных удобрений значительно возрастает, если увязывать их внесение с физиологическими потребностями растений в азоте. Более рациональное использование этого элемента растениями достигается при дробном их применении. Другим, не менее важным агроприемом повышения эффективности азотных удобрений служит локальный способ их внесения. Его сущность заключается в том, что удобрение не перемешивается с почвой, а располагается на определенном расстоянии от семян или корневой системы в виде концентрированных очагов. В результате этого в ограниченном объеме почвы возникает зона с экстремально высокой концентрацией азота, во взаимодействие с которой вступает лишь часть корневой системы растения. Локализация азота создает неблагоприятные условия для микроорганизмов, связывающих азот, и препятствует необменному поглощению его почвой. Высокая концентрация азота в местах внесения подавляет нитрификацию и способствует сокращению его потерь за счет вымывания нитратов из корнеобитаемого слоя. Благодаря этому коэффициент использования азота заметно возрастает. При фактическом равенстве вносимых вразброс и локально норм удобрений, а также ресурсов внешней среды гетерогенное распределение азота обеспечивает более дружное появление всходов, равномерное развитие растений во время вегетации и позволяет значительно повысить продуктивность сельскохозяйственных культур. Повышение коэффициента использования азота при локальном внесении дает возможность существенно снизить нормы удобрений.

К приемам, снижающим загрязнение окружающей среды нитратами и нитритами, следует отнести также применение ингибиторов нитрификации. Это химические препараты, избирательно подавляющие рост и развитие нитрифицирующих микроорганизмов, осуществляющих первый этап нитрификации – окисление аммония до нитритов. Под влиянием ингибиторов нитрификации обеспечивается консервация азота удобрений в аммонийной форме в течение 1–1,5 месяцев, в результате чего улучшается азотное питание растений в начале вегетации и повышается их продуктивность. Это позволяет уменьшить кратность внесения азотных удобрений с двух-трех до одной и получить ощутимую экономическую выгоду.

Наиболее радикальным способом повышения эффективности азота удобрений может быть замена традиционных форм – сульфата аммония, аммиачной селитры и мочевины на ультраконцентрированные, медленнодействующие, пролонгирующие азотные удобрения, способные освободить азот со скоростью его метаболизма в растениях. Последние получают конденсацией мочевины с альдегидами или путем покрытия гранул тонкими пленками из органических (полимерных) или неорганических (элементарная сера) материалов. Заслуживает внимания удобрение почвы соломой зерновых культур. Внесение соломы снижает потери азота из минеральных удобрений благодаря закреплению в

органической форме и торможению процесса нитрификации. Консервации аммонийного азота в почве способствует и внесение цеолитов. Немаловажное значение в повышении эффективности азотных удобрений имеют микроэлементы. Они участвуют в редукации нитратов и способствуют усвоению азота растением, тем самым снижая опасность загрязнения окружающей среды. Кроме того, микроэлементы тормозят гидролиз мочевины и подавляют жизнедеятельность нитрифицирующих микроорганизмов и тем самым являются в какой-то степени ингибиторами нитрификации. Одним из возможных направлений повышения эффективности азотных удобрений является применение регуляторов роста растений. Они усиливают поглощение и обмен азота в растениях, тем самым обеспечивают более полное использование ими азота удобрений.

Максимальное использование растениями азота удобрений достигается при полном их обеспечении фосфором, калием, кальцием, магнием, серой, железом, кремнием и другими элементами минерального питания. Внесение питательных элементов в соотношениях, не отвечающих биологическим потребностям культуры, может значительно снизить эффективность вносимых азотных удобрений и явиться причиной загрязнения окружающей среды токсичными остатками. Загрязнение окружающей среды нитратами возможно значительно уменьшить широким использованием биологического азота, увеличивая площади посева бобовых культур, и применении генной инженерии с целью усиления способности к азотфиксации. Потери в результате вымывания нитратов можно свести к минимуму путем научно обоснованного чередования сельскохозяйственных культур с включением в севооборот растений, имеющих глубокопроникающую корневую систему. Это способствует лучшему использованию питательных веществ из глубоких горизонтов почвы. Зависимость между вымыванием питательных элементов и видами сельскохозяйственных культур можно представить следующим порядком: овощные > корнеплоды > зерновые > кормовые травы.

Вынос фосфора из почвы может быть уменьшен за счет проведения противоэрозионных мероприятий, необходимых агротехнических приемов и очистки сточных вод. Потери калия можно регулировать сроками и способами внесения удобрений в сочетании с комплексом приемов противоэрозионной обработки почвы. Охрана окружающей среды в связи с применением органических удобрений должна предусматривать совершенствование технологии производства, создание научно обоснованных санитарно-защитных зон и утилизацию навоза с целью уменьшения вредного воздействия животноводческих отходов на литосферу, гидросферу, атмосферу, флору и фауну.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды при работе с микроудобрениями необходимо: вносить оптимальные нормы в соответствующие сроки; выбирать оптимальный способ использования; применять хелатные формы микроэлементов; равномерно распределять их по удобряемой площади. Труднее устранить токсичность микроэлементов, чем их недостаток. Поэтому нарушение технологической дисциплины при внесении микроудобрений недопустимо.