

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Департамент научно-технологической политики и образования
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Красноярский государственный аграрный университет»
Институт агроэкологических технологий
Кафедра почвоведения и агрохимии

Агроэкологическая характеристика удобрений

Красноярск, 2024

Рецензент: О.А. Бекетова, к.б.н., доцент кафедры общего земледелия

Составитель: Сорокина О.А.

Сорокина О.А. Методическая разработка "Агроэкологическая характеристика удобрений". – Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2024. - 77 с.

Предназначена для практических занятий и закрепления теоретических знаний по дисциплине «Агрохимия» студентами очной и заочной форм обучения Института агроэкологических технологий по направлению "Агрономия".

© Сорокина О.А.

© Красноярский государственный аграрный университет

ВВЕДЕНИЕ

Мировая и отечественная практика интенсивного земледелия убедительно показывает, что удобрения - это материальная основа количества и качества получаемой растениеводческой продукции, источник биогенных элементов для растений.

Удобрения - самое сильное средство воздействия агрохимии на круговорот веществ в земледелии. Удобрения оказывают комплексное воздействие на почву, пополняя ее всеми видами биогенных элементов. Биогенные элементы - это химические элементы, входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции.

Удобрения улучшают химические, агрохимические и физические свойства почвы, повышают ее биологическую активность, содействуют мобилизации питательных веществ самой почвы, ингибируют или предотвращают поступление в растения тяжелых металлов и радионуклидов, повышают стойкость культур к различным заболеваниям и т.д.

Научно обоснованная система применения агрохимических средств позволяет решать задачи расширенного воспроизводства плодородия почв, бездефицитного или положительного баланса биогенных элементов и гумуса в системе «почва-растение-удобрение», получения растениеводческой продукции, сбалансированной по химическому составу и питательной ценности, повышения рентабельности сельскохозяйственного производства, улучшения экологической ситуации в сельском хозяйстве.

В то же время применение удобрений и других средств химизации - это весьма активное влияние на природную среду. Наличие различных токсических примесей в минеральных удобрениях, неудовлетворительное их качество, а также возможное нарушение технологии их использования могут привести к серьезным негативным последствиям. В настоящее время в индустриально раз-

витых странах, а также в ряде регионов нашей страны применяются высокие дозы минеральных удобрений, и их негативное влияние на природную среду приобретает все более опасный характер и глобальные масштабы. Поэтому в нашей стране особое внимание обращается на необходимость повышения эффективности мер по охране природы, внедрения научно обоснованных систем ведения сельского хозяйства, прогрессивных технологий. А для реализации этого у граждан страны необходимо воспитать чувство высокой ответственности за сохранение и приумножение природных богатств, бережливое их использование.

В связи с решением экологических проблем и биологизации земледелия в настоящее время расширяются и углубляются агрохимические исследования. Это требует системного подхода к оценке агрохимических средств и их экологических функций.

Поэтому, в последние годы остро встал вопрос о влиянии различных видов удобрений на окружающую человека природную среду. Удобрения могут нарушить природные циклы круговорота веществ в земледелии, что ведет к ухудшению химического состава почвы, природных вод и растений. Это отрицательно сказывается на питательной ценности продукции и может привести к функциональным заболеваниям человека и животных.

1. ПУТИ ВОЗМОЖНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ УДОБРЕНИЯМИ

Основные причины загрязнения природной среды удобрениями, пути их потерь и непроизводительного использования следующие:

- несовершенство технологии транспортировки, хранения, туков смешения и внесения удобрений;

- нарушение агрономической технологии их применения в севообороте и под отдельные культуры;

- водная и ветровая (дефляция) эрозия почвы;

- несовершенство качества свойств минеральных удобрений;
- интенсивное использование различных промышленных, городских и бытовых отходов на удобрения без систематического и тщательного контроля их химического состава.

В несовершенстве технологии транспортировки и внесения удобрений необходимо выделить ряд моментов. Так, недостаток в транспортировке удобрений заключается в перевалочной системе от завода до поля и в дефиците специализированных автотранспортных средств. Значительная часть агрохимических средств перевозится автосамосвалами общего назначения, что приводит к существенным их потерям.

Увеличение объема складских емкостей для хранения минеральных удобрений, а также совершенствование механизированной технологии работы на складах, т.е. погрузочно-разгрузочных работ и тукосмешения с заданным соотношением питательных элементов в тукосмеси, существенно снижают потери минеральных удобрений, повышают их эффективность, сохраняют природную среду от загрязнения.

Существенным источником непроизводительного расходования минеральных удобрений, снижения их положительного действия являются неравномерное распределение по поверхности поля и их сегрегация (расслоение) при транспортировке и внесении. Например, потери урожая ячменя при внесении нитрофоски в дозах 60-80 кг/га NPK с неравномерностью 60-80% достигают 5 ц/га, картофеля - 15, сахарной свеклы - 20 ц/га. Недобор урожая от неравномерности внесения удобрений возрастает при использовании высококонцентрированных удобрений, повышении доз, высокой отзывчивости культуры на удобрения. Поэтому по агрохимическим требованиям к машинам по внесению минеральных удобрений в нашей стране показатель неравномерности разбросного внесения удобрений не должен превышать 15%.

В Чехии в опытах с озимой пшеницей при неравномерности внесения минеральных удобрений под эту культуру в 40-70% урожай зерна в зависимости от зоны возделывания снижается от 3-5 (5-8 %) до 10-11 ц/га (15-16%).

В Германии выделены группы культур по степени чувствительности к неравномерному внесению удобрений. К первой группе отнесены картофель и озимый ячмень - снижение урожая достигает 8-10 зерн. ед. с 1 га, ко второй - озимая пшеница и рожь, кукуруза на силос. Потери урожайности этих культур составили 4,5 ц/га зерн. ед. Сеяные злаковые травы и свекла снижали урожай лишь на 2-4,5 ц/га зерн. ед. Негативное действие неравномерности посева в большей степени проявлялось на подзолистых почвах по сравнению с черноземами.

В России проводится большая работа по совершенствованию техники внесения удобрений, повышению качества работ, снижению непроизводительных потерь удобрений, химических мелиорантов и других агрохимических средств, совершенствуются технологии работы с удобрениями. К таким технологиям следует отнести, прежде всего, технологию централизованного приготовления и внесения тукосмесей, контейнерную технологию, перегрузочную технологию транспортировки и внесения удобрений с использованием высокопроизводительных автомобильных перегрузчиков грузоподъемностью 8 т, технологию дробного внесения удобрений (для интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур) и технологию внутрпочвенного внесения удобрений. Для осуществления этих прогрессивных технологий промышленность уже частично поставляет сельскохозяйственному производству необходимые средства механизации.

Для применения твердых минеральных удобрений используют тукосмесительные установки УТС-30, растариватели-измельчители слежавшихся удобрений АИР-20, машины по внесению удобрений для интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур РУМ-5-03 и СТТ-10 (обеспечива-

ют дробное внесение удобрений с высоким качеством их распределения). Будут выпускаться также более совершенные технические средства - тукосмесительные установки УТМ-30, автомобильные машины для внесения удобрений МХА-7 и агрегаты ААП-5, оснащенные штанговыми рабочими органами.

Для применения жидких минеральных удобрений (ЖКУ, аммиачной воды и жидкого аммиака) намечается серийный выпуск машин ПЖУ-2,5 и ПЖУ-5 (для поверхностного и внутрипочвенного внесения ЖКУ и аммиачной воды). Для внесения жидкого аммиака необходимый комплекс машин выпускается уже сегодня: транспортировщики типа МЖА, машины для внесения аммиака типа АБА и АША и машины для его внесения на лугах и пастбищах типа УЛП.

Для внесения пылевидных известковых удобрений вместо поставляемых сегодня сельскохозяйственному производству машин РУП-8 и АРУП-8, оснащенных устройствами для бокового рассева удобрений, будут поступать автомобильные транспортировщики большей грузоподъемностью МТП-10 и МТП-13 (на 8 и 13 т) и тракторные машины для внесения РУП-10 и РУП-14, оснащенные штанговыми рассеивающими устройствами, существенно снижающие пыление и, следовательно, потери удобрений и загрязнение окружающей среды.

Для внесения жидких и твердых органических удобрений будет продолжена поставка машин типа РОУ, ПРТ и РЖТ грузоподъемностью 5,16 т. Сейчас налаживается производство высокопроизводительного (200 т/ч) погрузчика ПНД-250. Поставка его решит проблему эффективной загрузки твердых органических удобрений в машины для их внесения.

Нарушение научно обоснованной агрономической технологии применения удобрений также является существенным источником их потерь и загрязнения окружающей среды. При рассмотрении влияния агрохимических средств на природную среду первостепенное значение имеет азот. Азотные удобрения решают проблему белка в сельском хозяйстве, а следовательно, и уровень продуктивности земледелия и животноводства. При нарушении же технологии

их применения они могут оказать существенное негативное воздействие на биосферу - почву, воду, атмосферу, растения, а через них - на животных и человека. Потери азота из удобрений бывают довольно значительными. Он усваивается в полевых условиях примерно на 40%, в отдельных случаях - на 50-70, иммобилизуется в почве на 20-30%. Большая его доля включается в состав трудногидролизуемых гумусовых веществ. Потери азота за счет улетучивания различных газообразных соединений составляют в среднем 15-25 % от внесенного, а потери от вымывания зависят от свойств почвы, климата, водного режима, формы и дозы удобрения, вида культуры и т.д. Например, в земледелии Европы 2/3 потерь азота приходится на зимний период и 1/3 - на летний.

Факторами, определяющими потери азота, являются дозы, формы, сроки и способы внесения азотных удобрений, правильное соотношение азота с другими питательными элементами; гранулометрический состав и другие свойства почвы, степень ее эродированности; погодноклиматические условия; особенности технологии применения удобрений в условиях орошения и на осушенных землях; вид культуры и специализация севооборота. Доля азота удобрений в общих потерях азота от вымывания составляет 10-15 %), остальная часть - азот почвы. Поэтому необходим комплексный подход к разработке приемов и мер борьбы с потерями азота.

В Нечерноземной зоне в среднем вымывается 10-15 кг/га нитратного азота, на супесчаных почвах - 20-25, а на суглинистых - до 10 кг/га. В годы с нормальным увлажнением эти показатели снижаются примерно вдвое. В целом же способность почвы удерживать питательные элементы определяется ее разновидностью (песок < суглинок < глина), но всегда она ограничена. Поэтому избыток элементов питания, внесенных в почву с удобрениями, является потенциальным источником их вымывания. На дерново-подзолистых легких почвах Украины при внесении за 6 лет 345 кг азота потери его на рыхло-песчаной поч-

ве составили 161, а на связно-песчаной - 83 кг/га. Аналогичные примеры имеются во многих странах мира.

Важнейшим агрономическим мероприятием, предотвращающим потери удобрений и биогенных элементов почвы в природную среду, является освоение научно обоснованных севооборотов.

Зависимость между вымыванием питательных элементов и видом сельскохозяйственных культур можно представить следующим порядком: овощные > корнеплоды > зерновые > кормовые травы.

Значительный ущерб окружающей среде наносит бессистемное использование бесподстильного навоза, навозных стоков и других отходов животноводства в нарушение научно обоснованных рекомендаций.

Наиболее существенными нарушениями технологии использования органических удобрений являются:

1) недостаточное использование подстильных материалов и несовершенство систем навозоудаления, что в 1,5-2 раза уменьшает выход высококачественных органических удобрений, приводит к ежегодным потерям миллионов тонн жидких органических фракций;

2) неравномерное внесение навоза и компостов из-за недостаточного количества навозоразбрасывателей и применения бульдозеров и других примитивных средств, значительно снижающих эффективность органических удобрений;

3) нарушение соотношения численности животных и удобряемой площади, что ведет к избыточному удобрению полей, загрязнению окружающей среды;

4) недостаток при животноводческих комплексах ирригационно-подготовленных площадей для использования животноводческих стоков (при гидросмыве) и жидкой фракции бесподстильного 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;

5) недооценка использования бесподстилочного навоза в сочетании с измельченной и рассеянной по полю во время уборки зерновых соломой и сидерацией полей.

Обобщение отечественного и зарубежного опыта использования органических удобрений позволяет заключить, что для предотвращения потерь биогенных элементов, особенно азота, необходимо руководствоваться следующими общими положениями:

1) на 1 га севооборотной площади должно вноситься ежегодно не более 200 кг азота;

2) в хозяйствах, имеющих животноводческие комплексы, в севооборотах необходимо вводить промежуточные культуры на корм скоту или в качестве зеленого удобрения (уплотненный посев сельскохозяйственных культур в севообороте практически предотвращает потери нитратов за счет вымывания, вследствие интенсивного их использования растениями);

3) осенью бесподстилочный навоз можно комбинировать с запахиваемой соломой или зеленым удобрением (в этом случае азот биологически иммобилизуется осенью и в весенне-летний период, что значительно сокращает потери).

Фосфор как биогенный элемент меньше теряется в окружающую среду вследствие малой его подвижности в почве и не представляет такой экологической опасности, как азот. Потери фосфатов чаще всего происходят в процессе эрозии почвы. В результате поверхностного смыва почвы с каждого гектара уносится до 10 кг фосфора. Потери же водорастворимых фосфатов с поверхностным стоком небольшие. При вымывании из почвы потери фосфора составляют не более 1 кг/га. Высокая фиксирующая способность глинистых и суглинистых почв препятствует его миграции по профилю почвы, тем более до грунтовых вод.

Потери калия более значительны, чем фосфора. В Нечерноземной зоне России вымывание калия составляет 5-10 кг/га пашни и более в зависимости от вида

культуры, гранулометрического состава почвы, количества атмосферных осадков и т.д.

Использование же современных методов оптимизации применения удобрений в севообороте с учетом правильного соотношения питательных элементов в зависимости от плодородия и свойств почвы в комплексе с другими приемами земледелия (специализированные севообороты, уплотненные посевы промежуточных культур, дифференцированные почвозащитные системы обработки почвы, химическая мелиорация почв, орошение и осушение и др.) -важнейшее условие повышения коэффициента использования питательных элементов удобрений, непроизводительных их потерь в окружающую среду.

Большой ущерб в условиях интенсивного земледелия на-носит эрозия почвы. Она приобретает глобальный характер и требует коллективных усилий всех стран, как и при решении других проблем охраны окружающей среды. Только овраги ежедневно «съедают» 100-200 га земли, а площадь, выводимая из сельскохозяйственного использования, в 5—10 раз превышает площадь оврага. В результате эрозии почвы теряется 20% продукции растениеводства. Степень развития эрозии почвы и размер ущерба от нее зависят от многих факторов: рельефа местности, вида культуры, гранулометрического состава почвы, интенсивности орошения или выпадающих атмосферных осадков, уровня удобренности полей, системы обработки почвы и др.

За счет водной эрозии пахотных почв потери органического вещества могут значительно превышать то количество, которое минерализуется при распашке и которое не может быть восстановлено запашкой растительных остатков и органических удобрений. Потери отдельных питательных элементов от эрозии почвы бывают разными в зависимости от характера использования сельскохозяйственных угодий, крутизны склона, интенсивности орошения и т.д. По обобщенным данным научных учреждений, недобор урожая на слабосмытых почвах составляет 10-12%, на среднесмытых - 30-50, а на сильносмытых - 60-80%.

Среди комплекса важнейших противоэрозионных мероприятий мощным агротехническим средством повышения противоэрозионной устойчивости почв является применение органических и минеральных удобрений. Растения на удобренной почве развивают более мощную корневую систему, улучшают физические свойства почв, что способствует защите почв от эрозии (табл. 10.3). Правильный выбор форм, доз, сроков и способов внесения и заделки удобрений является важным средством предотвращения потерь питательных веществ при смыве и выщелачивании из почвы.

Анализ причин появления эрозии почвы показывает, что это не неизбежное явление, а вызывается оно в значительной мере нарушением научных принципов и законов земледелия, научно обоснованного комплекса приемов агрономической технологии.

Анализ отечественных и зарубежных исследований и практической деятельности передовых хозяйств позволяет рекомендовать следующий комплекс основных агрономических мероприятий по предотвращению эрозии почвы и потерь питательных веществ:

1. Разработка и освоение научно обоснованных специализированных с учетом степени эрозионной опасности почвозащитных севооборотов.
2. Система противоэрозионной обработки почвы: безотвальная, плоскорезная, минимальная, полосная, контурная, гребнистая, ячеистая, чизелевание, щелевание почвы и т.д.
3. Внедрение контурного, террасного, полосного земледелия и комплекса противоэрозионных мелиоративных мероприятий.
4. Использование пожнивных посевов, а также уплотненный посев почвозащитной культуры в междурядье основной (пропашной). Этот прием особенно эффективен на легких почвах.
5. Залужение посевами многолетних трав участков, сильно подверженных эрозии.

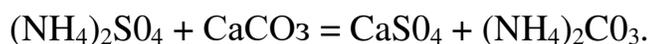
6. Правильный выбор форм, доз, сроков и способов внесения минеральных и органических удобрений - важное средство предотвращения потерь питательных веществ при смыве и выщелачивании почвы.

7. Применение полимеров-структурообразователей.

Значительное количество биогенных элементов теряется в окружающую среду вследствие *несовершенства свойств и химического состава удобрений и различных удобрительных средств*. Например, потери азота мочевины, аммиачных форм удобрений в виде газообразного аммиака (NH_3) происходят под влиянием химических и микробиологических процессов, особенно при поверхностном их внесении. Эти потери возрастают на легких по гранулометрическому составу и высококарбонатных почвах. Заделка мочевины в почву значительно снижает потери азота. 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. Внесение же мочевины с заделкой ее в почву (под вспашку, предпосевную культивацию, в рядки при севе и т.д.) весьма эффективно.

Второй биологический путь потери азота из удобрений - процесс денитрификации в почве. Газообразные потери азота вследствие этого процесса достигают 15-25% и более от внесенной дозы этого элемента. Выделенные из почвы газообразные продукты азота представлены большей частью N_2 и N_2O .

Наиболее существенный химический путь потерь азота из удобрений - выделение свободного аммиака (NH_3) вследствие взаимодействия аммиачных форм удобрений со щелочными, высококарбонатными почвами. Часто биологические и химические процессы в почве взаимосвязаны. Например, потери NH_3 из сернокислого аммония можно представить реакцией



Карбонат аммония - соединение нестойкое и распадается, как и при разложении мочевины, с выделением NH_3 , который улетучивается.

Все формы азота в естественных условиях в течение определенного времени переходят в наиболее подвижную форму, которая в значительном количестве может теряться с инфильтрационными водами. В настоящее время для торможения процесса нитрификации широко испытываются в производстве различные ингибиторы, позволяющие повысить коэффициент использования азота удобрений и существенно снизить потери его в окружающую среду. Среди ингибиторов нитрификации наиболее распространены американские препараты: нитрапирин (N-Serve), Extend, а также японский АМ, которые задерживают нитрификацию как аммонийных ионов почвы, так и внесенных удобрений. 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.

Существенным недостатком многих минеральных удобрений, особенно азотных, является их физиологическая кислотность, а также наличие остаточной кислоты вследствие технологии их производства. Интенсивное применение таких удобрений в севообороте приводит к заметному подкислению почв, созданию неблагоприятных условий для роста растений. В этом случае возрастает потребность в известковании почв и нейтрализации кислотности самих удобрений. Требуют улучшения и физические свойства минеральных удобрений, а также необходима разработка новых форм химических соединений в качестве удобрений. Эти исследования должны быть направлены на оптимизацию питания растений макро- и микроэлементами, сочетания питательных элементов со стимуляторами роста, ретардантами, ингибиторами нитрификации и т.д. В настоящее время распространен прием капсулирования удобрений, покрытия гранул различными пленками, элементарной серой. Важно получать удобрения

с контролируемым освобождением питательных элементов, особенно азота, в процессе вегетации культур.

Еще одним недостатком многих минеральных удобрений является наличие в них сопутствующих балластных элементов (фтора, хлора, натрия), а также токсических тяжелых металлов (кадмия, свинца и др.). Некоторые из этих элементов в небольших количествах могут оказывать положительное действие на рост и развитие растений. При систематическом же внесении повышенных доз удобрений балластные элементы могут накапливаться в почве в значительных количествах, отрицательно влияя на ее свойства и плодородие, на урожай и его качество, а мигрируя в грунтовые воды, повышать в них концентрацию солей. Пределы колебаний содержания токсических элементов в минеральных удобрениях могут быть довольно значительными (табл.1). Например, в фосфоритной муке содержится 2-3% фтора и 1,2-1,7% стронция; в суперфосфате - соответственно 1,2-2,7 и 1%, а также ряд других элементов. Другие примеси в суперфосфатах представлены в табл. 10.5.

Таблица 1 - Содержание технических примесей в минеральных удобрениях и мелиорантах

Наимено-	Содержание,	Наимено-	Содержание,
Бор	0,1-0,2	Стронций	0,5-2,1
Молибден	0,05-0,13	Фтор	0,3-3,8
Марганец	1,0-1,5	Мышьяк	Ю ³ _Λ
Медь	0,01-0,5	Кадмий	ю ⁻⁴
Цинк	0,05-1,5	Свинец	ю ⁻⁴

Токсические элементы попадают в минеральные удобрения главным образом с сырьем для их производства, частично загрязняют их в технологическом процессе. Например, 50-80% фтора, поступающего с фосфатным сырьем, остается в удобрениях, поэтому с 1 т необходимого растениям фосфора на поля

поступает около 160 кг фтора. А это приводит к ухудшению свойств и плодородия почвы, к ингибированию в ней биологических процессов, нарушению биохимических процессов в растениях.

Таблица 2 - Основные примеси в суперфосфатах (Франсуа Рамад, 1981)

Примеси	Содержание,	Примеси	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

Фтор отрицательно влияет на фотосинтез и биосинтез белка, нарушает деятельность таких ферментов, как энолаза, фосфоглукомутаза, фосфатаза. Он может накапливаться в продуктах питания, в пшенице, картофеле, рисе, отрицательно влияя на здоровье животных и человека.

В какой степени опасно загрязнение почв тяжелыми металлами в результате применения минеральных удобрений?

При современном уровне химизации на 1 га попадает, например, несколько граммов кадмия и для допустимого обогащения им почвы (0,1 мг/кг) требуется 100 лет. Однако нужно учесть, что интенсивное техногенное загрязнение почвы происходит комплексно не только минеральными удобрениями и не только кадмием, а и другими токсическими элементами. Например, навоз также является некоторым источником накопления кадмия в почве. Содержание кадмия в стойловом навозе в среднем 0,4 мг/кг, свинца - 6,6 мг/кг сухого вещества. При норме расхода до 5 т сухого вещества на 1 га с навозом ежегодно вносится 1-4 г Cd/га, что менее 1% от содержания кадмия в верхнем слое почвы.

Потенциальным источником загрязнения почв сельхозугодий являются представляющие особую опасность применяемые на удобрение отходы про-

мышленности, осадки сточных вод (ОСВ), фосфогипс, а также сапропель и др. Обычно их применяют в высоких дозах, так как они содержат низкий процент биогенных элементов. Систематическое их использование может привести к накоплению в почве тяжелых металлов, различных токсических соединений. Так, пиритные огарки содержат 40-63% железа, 1-2 -серы, 0,33-0,47 -меди, 0,42—1,35 - цинка, 0,32-0,58% - свинца и другие металлы. В свежих отвалах пиритных огарков содержится до 0,15% мышьяка. Под воздействием атмосферных осадков из них выщелачиваются многие токсические вещества, которые загрязняют почву и водоемы. Использование же 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.

Средний химический состав фосфогипса из апатитового концентрата следующий (%): Ca - 28,3; S₀₃ - 55,5; P₂O₅ - 1,5; Sr -1,8-2. Норма фосфогипса в зависимости от условий и целей его использования составляет от 5 до 20 т/га, с ними в почву попадает от 100 до 400 кг/га Sr. Качество кормов в значительной мере определяется отношением в них Ca (г) и Sr (мг). Оптимальная величина его 160. Уменьшение указанного соотношения до 80 и ниже делает корм неполноценным. Критическое содержание стронция может создаваться в почве при внесении 40 т/га этого отхода и более.

Содержащийся в фосфогипсе фтор снижает плодородие почвы и вызывает деградацию, имеется определенная опасность загрязнения растений фторидами.

Значительное загрязнение почв токсическими элементами возможно при использовании на удобрение осадков сточных вод. Для сравнения приведен средний уровень мг/кг микроэлементов, экстрагируемых раствором уксусной кислоты, в осадках сточных вод и в незагрязненных пахотных землях юго-востока Шотландии (среднее из 37 образцов ОСВ) (табл. 3).

Таблица 3 - Содержание микроэлементов в ОСВ и в незагрязненной почве в Шотландии

Объекты анализа	B	C	№	P	Z	Cd
Осадки сточных вод	1	1	7	3	4	1,9
	3,3 0,6	46 4,0	,2 1,1	7,1 1,2	89 3,4	0,13

По данным ученых Шотландии, удобрение осадком, содержащим 5 мг/кг доступного кадмия, даже в дозе 25 т/га может повысить уровень доступного кадмия в почве на 50%, а превышение 5 мг/кг доступного кадмия в почве опасно с точки зрения экологии.

В США при условии непрерывного использования сточных вод для орошения на почвах всех типов концентрация Cd не должна превышать 0,01 мг/л, Cr - 0,10, Си - 0,20, РЬ - 5,0, № - 0,2 и Zn -2 мг/л.

За последние годы довольно настоятельно ставится вопрос о широком использовании сапропеля в качестве органического удобрения. С ним возможно попадание в почву тяжелых металлов и токсических соединений. По данным Катре (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, и прежде чем его использовать, необходимо тщательно изучить его химический состав, установить допустимое содержание тяжелых металлов и токсических соединений в сапропеле, используемом в качестве удобрения.

Многочисленные пути возможного загрязнения природной среды агрохимическими средствами не остаются без последствий, а оказывают многостороннее негативное влияние практически на все звенья биосферы.

2. ПУТИ ВОЗМОЖНОГО НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

С экологической точки зрения студентам необходимо знать основные звенья потерь удобрений в хозяйственном круговороте, т.е. пути возможного загрязнения окружающей среды удобрениями и их предотвращение.

Основные пути потерь элементов питания удобрений и возможного негативного воздействия на окружающую природную среду следующие:

1. Добыча и переработка агроруды как сырья для производства удобрений. В процессе первичного и вторичного обогащения агрономических руд (промывка, дробление, размол, флотация и др.) теряется до 30-40% добытых руд. При механических операциях переработки природных фосфатных руд на суперфосфат, фосфорную кислоту, концентрированные удобрения теряется приблизительно 5-6% фосфора. В целом это звено потерь удобрений приводит к рассеиванию и миграции значительных количеств химических элементов в природной среде.
2. Потери готовых удобрений при транспортировке, погрузке, выгрузке удобрений от завода - изготовителя до поля составляют в среднем 2-3%. Использование в основном перевалочной системы транспортировки минеральных удобрений приводит к увеличению потерь до 5-6%. Испытания разных типов вагонов по перевозке минеральных удобрений показали, что потеря продукта при погрузочно-разгрузочных работах колеблется от 100 до 600 кг на вагон. При новой технологии приема удобрений из саморазгружающихся вагонов типа «Хоппер» потери незатаренных удобрений на перегрузочных операциях снижаются более чем в 3 раза по сравнению с приемом из крытых вагонов общего назначения.
3. Следующим звеном потерь удобрений является их неправильное хранение. Складские емкости часто не соответствуют объемам и требованиям или совсем отсутствуют. Не налажен серийный выпуск специальных установок для

тукосмешивания. Потери удобрений при хранении даже в приспособленном помещении составляют около 3% общей массы, а вне помещения - 11%. В последнем случае удобрения в основном теряются в результате утечки из порванных мешков и перемешивания с землей.

4. Существенный путь потерь удобрений и возможного загрязнения природной среды - нарушение технологии внесения удобрений под сельскохозяйственные культуры в самом хозяйстве. Особого внимания требует совершенствование технологии внесения удобрений разбрасывателями, которые дают очень большую неравномерность внесения удобрений. Так, внесение полного минерального удобрения с неравномерностью 50% снижало урожай зерновых культур на 6-7%, при этом сроки созревания затягиваются на 3-6 дней, уменьшается продуктивная кустистость, снижается выровненность зерна. В настоящее время в производственных условиях фактическая неравномерность внесения удобрений центробежными разбрасывателями 1-РМГ-4, РУМ-3, КСА-3 и НРУ-0,5, как правило, в два - три раза превышает допустимые значения (25%). Особенно неудовлетворительно вносятся смеси, приготовленные из удобрений с неоднородным гра-нулометрическим составом. Это снижает коэффициент использования элементов питания из удобрений растениями, увеличивает потери, приводит к непроизводительному расходованию агрохимикатов и загрязнению окружающей среды.
5. Следующий возможный путь потерь питательных веществ удобрений и почв - нарушение научных основ агрономической технологии применения удобрений в севооборотах и под отдельные культуры. При этом также происходит миграция питательных веществ удобрений. Основные причины миграции следующие:
 - а) действие водной, ветровой и ирригационной эрозии (дождевыми, талыми и поливными водами);
 - б) фильтрация элементов в дренажные и грунтовые воды;

- в) улетучивание в газообразной форме неправильно внесенных удобрений;
- г) нерациональные способы и сроки внесения удобрений (сплошное поверхностное, осеннее внесение легковымываемых удобрений и т.п.).

Для предотвращения потерь и миграции элементов питания удобрений требуется дифференцированный подход в разработке системы удобрения с учетом особенностей климата, свойств и плодородия почвы, специализации растениеводства, использования высокопродуктивных сортов, уровня агротехники. В системе применения удобрений важно правильно определить дозы и соотношение питательных элементов, выбрать оптимальные формы удобрений, сроки и способы их внесения. Все это позволит существенно повысить коэффициент продуктивного использования удобрений сельскохозяйственными культурами на создание урожая, а, следовательно, снизить их потери.

2.1. Возможное негативное влияние удобрений на природную среду

Рассмотрев возможные пути потерь удобрений и загрязнения окружающей среды (прежде всего из-за несовершенства организации и технологии использования удобрений), важно знать последствия, к которым это может привести. Негативное влияние удобрений может быть самое различное. В основном оно сводится к следующему:

- а) попадание питательных элементов удобрений и почвы в грунтовые и поверхностные воды, что может привести к усиленному развитию водорослей и образованию планктона, т.е. к эвтрофикации природных вод и резкому ухудшению их качества.
- б) потери элементов в атмосферу отрицательно сказываются на деятельности сельскохозяйственных и других предприятий (ухудшается микроклимат и т.д.). Высказываются также опасения о возможности действия этих продуктов на разрушение озонового экрана стратосферы;

- в) неправильное применение удобрений может ухудшить круговорот и баланс питательных веществ, агрохимические свойства и плодородие почвы;
- г) нарушение оптимизации питания растений макро- и микроэлементами приводит к различным заболеваниям растений, а часто и способствует развитию фитопатогенных грибных болезней, ухудшает фитосанитарное состояние посевов;
- д) нарушение агрономической технологии применения удобрений, несовершенство качества и свойств минеральных удобрений могут снизить продуктивность сельскохозяйственных культур и качество продукции.

Рассмотрим подробнее причины и механизм негативного действия удобрений на природную среду.

Неблагоприятное воздействие удобрений, различных отходов, применяемых в качестве удобрений и химических мелиорантов, можно свести в основном к следующему.

1. Неправильное применение удобрений может ухудшить круговорот и баланс питательных веществ, агрохимические свойства и плодородие почвы.

2. Нарушение агрономической технологии применения удобрений, несовершенство качества и свойств минеральных удобрений могут снизить урожай сельскохозяйственных культур и качество продукции.

3. Попадание питательных элементов удобрений и почвы в грунтовые воды с поверхностным стоком может привести к усиленному развитию водорослей, образованию планктонов, т.е. к эвтрофированию природных вод с вытекающими отсюда негативными последствиями.

4. Попадание удобрений и их соединений в атмосферу отрицательно сказывается на деятельности сельскохозяйственных и других предприятий, здоровье животных и человека. Высказываются также опасения о возможном разру-

шении озонового экрана стратосферы вследствие проникновения в нее N_2O , образующейся при денитрификации азотных соединений почвы и удобрений.

5. Нарушение оптимизации питания растений макро- и микроэлементами приводит к различным заболеваниям растений, а часто и способствует развитию фитопатогенных грибных болезней, ухудшает фитосанитарное состояние почв и посевов.

Влияние агрохимических средств на свойства и плодородие почвы.

Почва - важное звено биосферы, и она прежде всего, подвергается сложному комплексному воздействию удобрений и других агрохимических средств, которые могут оказывать на нее следующее влияние: подкислять или подщелачивать среду; улучшать или ухудшать свойства почвы, ее биологическую и ферментативную активность; способствовать вытеснению ионов в почвенный раствор вследствие физико-химического их поглощения; способствовать или препятствовать химическому поглощению биогенных и токсических элементов; усиливать минерализацию гумуса или способствовать его синтезу; ослаблять или активизировать биологическую фиксацию N из атмосферы; усиливать или ослаблять действие других питательных элементов почвы или удобрений; мобилизовывать или иммобилизовывать макро- и микроэлементы почвы; вызывать антагонизм или синергизм питательных элементов и, следовательно, существенно влиять на их поглощение и метаболизм в растениях.

Многостороннее воздействие на почву агрохимических средств можно показать на следующих примерах. Систематическое применение физиологически кислых минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах повышает их кислотность, ускоряет вымывание из пахотного слоя кальция и магния, увеличивает ненасыщенность почв основаниями, в целом снижает плодородие почвы. В этом случае применение минеральных удобрений необходимо сочетать с известкованием как приемом химической мелиорации почвы. В комплексе создаются оптимальные условия питания растений и улучшения свойств

почвы. Известкование не только снижает кислотность почвы и улучшает ее свойства, но и усиливает биологическую активность, мобилизует фосфор, молибден, но иммобилизует железо, цинк, никель, медь, кобальт, марганец и другие элементы, ослабляет токсичность таких элементов, как кадмий, свинец, стронций, ртуть и другие, снижая их доступность растениям.

Оптимизация применения удобрений под различные сельскохозяйственные культуры с учетом плодородия почвы существенно снижает поступление токсических элементов в растение. Чем лучше обеспеченность растений элементами питания и чем ближе их соотношения к оптимуму, тем меньше поступает, например, радионуклидов в растения, что подтверждается данными по ^{65}Zn , Sr, Cs.

Вопросы влияния сбалансированного питания растений макро-и микроэлементами на поглощение ими тяжелых металлов и других токсических элементов имеют важное теоретическое и практическое значение, прежде всего для земледелия в районах с интенсивно развивающейся промышленностью, где возрастает техногенное загрязнение почв различными токсическими элементами и соединениями. На основе экспериментальных данных научно обоснована система агромероприятий, реализация которых существенно снижает поступления радионуклидов (стронция, цезия и др.) в продукцию растениеводства. Эти мероприятия включают:

1) разбавление поступающих в почву радионуклидов в виде практически невесомых примесей их химическими аналогами (кальцием, калием и др.);

2) уменьшение степени доступности радионуклидов в почве путем внесения веществ, переводящих их в менее доступные формы (органическое вещество, фосфаты, карбонаты и др.);

3) заделку загрязненного слоя почвы в подпахотный горизонт за пределы зоны распространения корневых систем (на глубину 50-70 см);

4) подбор культур и сортов, накапливающих минимальное количество радионуклидов;

5) размещение на загрязненных почвах технических культур, использование этих почв под семенные участки.

Аналогичные системы мероприятий могут быть использованы и для снижения загрязнения сельскохозяйственной продукции другими токсическими веществами нерадиоактивной природы.

Техногенное загрязнение почвы различными элементами может оказать существенное влияние на ее химический состав; агрохимические, физико-химические и биохимические свойства; состав и активность почвенной биоты. В исследованиях на дерново-подзолистых и черноземных почвах установлено, что загрязнение медью, хромом, цинком, никелем, свинцом на уровне одного-двух кларков (в сравнении с незагрязненной почвой) сопровождалось существенным изменением биоты: уменьшением общего количества бактерий, спорообразованием их, резким сокращением числа актиномицетов и увеличением количества грибов, падением численности в почве насекомых (жувелиц, чернотелок и др.) и дождевых червей. Отмечено снижение ферментативной активности в почве. Мутагенная активность загрязненной почвы, регистрируемая в меристематических клетках корней растений, в 5-10 раз выше, чем в незагрязненной почве. Изменения гумусного состояния почвы и ППК (хранителя почвенного плодородия и потенциала самоочищающей ее способности) являются важными показателями неблагоприятного воздействия загрязнителей на почву. Поэтому должны нормироваться реакция среды, замещение в ППК кальция и магния тяжелыми металлами, минерализация гумуса, изменение физического состояния почвы, химического и санитарного состояния почвенного раствора и почвенного воздуха *Получение высококачественной продукции растениеводства — центральная проблема человечества в условиях нынешнего и будущего земледелия с возрастающими темпами химизации.*

Если применением удобрений и других агрохимических средств создаются оптимальные условия питания сельскохозяйственных культур, то имеются все предпосылки для получения высококачественной продукции. Например, оптимизация азотного питания озимой пшеницы позволяет практически во всех земледельческих зонах получать высокобелковое зерно, отвечающее требованиям по питательности и хлебопекарным свойствам. Правильное соотношение между макро- и микроэлементами в удобрениях, вносимых под сахарную свеклу, - реальный и эффективный путь увеличения сбора сахара за счет повышения сахаристости корнеплодов. То же можно сказать и о качестве клубней картофеля, повышении содержания жиров в семенах масличных культур, Сахаров и витаминов в плодах и овощах и т.д.

Однако на качество растениеводческой продукции могут оказывать существенное влияние техногенное загрязнение природной среды токсическими веществами и нарушение научных принципов применения удобрений. Основными путями техногенного загрязнения окружающей среды являются: токсические соединения и элементы, выделяемые промышленностью и транспортом; попадание их в почву с удобрениями, в которых они находятся в качестве примесей; бессистемное и бесконтрольное использование различных отходов на удобрение. К загрязнителям окружающей среды часто относят фтор, ванадий, хром, марганец, кобальт, никель, цинк, мышьяк, молибден, ртуть, свинец и др. Многие из перечисленных элементов в небольших количествах положительно влияют на формирование количества и качества урожая сельскохозяйственных культур. Особое место среди загрязнителей занимают тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть). Они хорошо адсорбируются пахотным слоем почвы, особенно при высокой гумусированности и тяжелом гранулометрическом составе.

Проявление токсического влияния тяжелых металлов на растение возможно разными путями. Это их денатурирующее действие на метаболически важные белки. Так как каталитическая и регуляторная роль белков для метабо-

лической системы организмов является всеобъемлющей, нарушения могут захватывать самые различные звенья обмена. Возможен 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. На почвах, загрязненных тяжелыми металлами, наблюдалось снижение урожайности зерновых культур на 20-30%, сахарной свеклы - на 35, бобовых - на 40, картофеля - на 47%.

Проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами вследствие интенсивного развития соответствующих отраслей промышленности обостряется еще и в связи с тем, что почва не единственное звено биосферы, откуда растения черпают питательные и токсические элементы. Они могут поступать в растения непосредственно из атмосферы некорневым путем, т.е. через листья.

Основные факторы, снижающие поступление тяжелых металлов из почвы в растения, следующие.

Известкование кислых почв. С понижением рН возрастают подвижность тяжелых металлов и их ингибирующая роль на рост растений. Известь увеличивает прочность связи их в почвах за счет образования труднорастворимых соединений.

Внесение органических удобрений в целях повышения содержания гумуса в почве. Органическое вещество обладает высокой способностью удерживать тяжелые металлы. Поэтому концентрация их в растениях выше на почвах с низким содержанием органического вещества. Кроме этого, органические коллоиды почвы могут образовывать с тяжелыми металлами стабильные комплексы типа хелатов.

Внесение фосфорных удобрений, снижающих поступление тяжелых металлов в растения. Эффективно совместное применение фосфорных удобрений и извести, особенно на кислых почвах.

Оптимизация минерального питания растений способствует снижению уровня тяжелых металлов в культурах.

В перспективе, по-видимому, определенный интерес будет представлять более широкое применение клиноптиломитсодержащих туфов в качестве фильтров для предотвращения накопления тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах.

Основными причинами отрицательного влияния удобрений на качество урожая являются нарушение оптимальных доз, соотношения питательных элементов в удобрениях без учета их содержания в почве, форм и сроков их внесения, что отрицательно влияет на метаболизм органических соединений, особенно на синтез аминокислот и белков в растениях. Одновременно в растениях накапливаются в избыточном количестве нитраты, нитриты, которые в кислой среде реагируют с вторичными аминами, образуя нитрозоамины, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами. 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 - гидроксиламин 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. Удобрение навозом или компостами как медленнодействующей формой азота приводит к меньшему содержанию нитратов в овощах по сравнению с эквивалентным количеством азота, внесенного с минеральными удобрениями.

Оптимизация азотного питания растений предусматривает и сроки внесения азотных удобрений в соответствии с биологическими требованиями растений. Это особенно важно учитывать при удобрении овощных культур и тех растений, у которых на питание используются вегетативные части. В процессе вегетации содержание нитратов в растениях снижается, поэтому убирать культуры, особенно овощные, необходимо в оптимальные сроки, а подкармливать азотом за 1,5-2 месяца до уборки урожая, чтобы растения смогли переработать поступившую нитратную форму азота.

Успешное использование растениями всех питательных элементов, поступивших через корневую систему, в том числе и утилизация нитратов, возможно при высокой фотосинтетической деятельности растений. Интенсивность света обуславливает активность фермента нитратредуктазы, обеспечивающего восстановление в растениях нитратов до аммония. При низкой освещенности процессы восстановления нитратов и образования аминокислот затормаживаются. Этим можно объяснить значительно большее содержание нитратов в овощах, выращенных в теплицах в зимнее время, чем в растениях открытого грунта.

Нарушение научно обоснованной технологии использования в земледелии различных видов органических удобрений также снижает качество продукции. Среднегодовая доза ежегодно вносимого навоза (без опасения ухудшения качества урожая и поедаемости корма) рекомендуется эквивалентной не более 200 кг азота на 1 га, а наиболее эффективный срок внесения навоза - осень, под зяблевую вспашку. Поскольку навоз влияет на ряд культур севооборота, то важно знать действие систематического использования высоких доз бесподстилочного навоза, а в сочетании его с соломой и минеральными удобрениями - действие на плодородие и свойства почвы, накопление в ней тяжелых металлов, образование гумуса и процессы его минерализации, на миграцию элементов питания растений по профилю почвы, загрязнение грунтовых вод нитратами и со-

лями тяжелых металлов и другие вопросы, а также учитывать связь перечисленных показателей с комплексным воздействием на качество урожая всех культур севооборота.

Внесение агрохимических средств может вызвать в почве мобилизацию или иммобилизацию биогенных и токсических элементов и изменение качества урожая. В этом случае большая роль отводится гумусу почвы, который связывает тяжелые металлы в комплексные соединения хелатного типа, т.е. малодоступные для растений формы, снижая их токсичность. Этим можно объяснить частое отсутствие зависимости между содержанием тяжелых металлов и выносом их растениями на высоко гумусированных почвах.

Известкование кислых почв также является эффективным приемом по уменьшению токсичности тяжелых металлов, снижающим их растворимость.

Влияние агрохимических средств на эвтрофирование и качество природных вод. Антропогенное эвтрофирование - это увеличение поступления в воду питательных для растений веществ вследствие деятельности человека в бассейнах водных объектов и вызванное этим повышение продуктивности водорослей и высших водных растений. Это важнейшая проблема современности. В водоемы поступают стоки, содержащие много соединений азота и фосфора. Это связано со смывом в водоемы удобрений с окрестных полей. В результате и происходит антропогенная эвтрофикация таких водоемов, повышается их бесполезная продуктивность, происходит усиленное развитие фитопланктона, прибрежных зарослей, водорослей, «цветение воды» и др. В глубинной зоне усиливаются анаэробные процессы, накапливается сероводород, аммиак 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 даже для купания. Такой эвтрофированный водоем утрачивает свое хозяйственное и биогеоценотическое значение. Поэтому борь-

ба за чистую воду - одна из важнейших задач всего комплекса проблемы по охране природы.

Естественные эвтрофные системы хорошо сбалансированы. Искусственное же внесение биогенных элементов в результате антропогенной деятельности нарушает нормальное функционирование сообщества и создает в экосистеме губительную для организмов неустойчивость. Если в такие водоемы прекратится поступление посторонних веществ, они могут вернуться в свое первоначальное состояние.

Оптимальный рост водных растительных организмов и водорослей наблюдается при концентрации фосфора 0,09-1,8 мг/л и нитратного азота 0,9-3,5 мг/л. Более низкие концентрации этих элементов ограничивают рост водорослей. На 1 кг поступившего в водоем фосфора образуется 100 кг фитопланктона. Цветение воды за счет водорослей возникает только в тех случаях, когда концентрация фосфора в воде превышает 0,01 мг/л.

С точки зрения охраны здоровья людей очень важно, чтобы содержание нитратов и токсических веществ в воде не превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК). Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) установлена ПДК для нитратного азота в питьевой воде для умеренных широт 22 мг/л, а для тропиков - 10 мг/л. Однако в районах интенсивного применения азотных удобрений довольно часто в питьевой воде концентрация нитратного азота больше ПДК.

Биогенные элементы, и прежде всего азот и фосфор, попадают в реки и водоемы с промышленными и бытовыми сточными водами, со стоками с сельскохозяйственных угодий в результате биологической фиксации азота и т.д. Опасность эвтрофикации природных водных источников создают также отходы животноводства, особенно на крупных животноводческих комплексах промышленного типа с бесподстилочным содержанием скота. Несовершенство технологии накопления, хранения и использования бесподстилочного навоза на

таких комплексах приводит часто к скоплению на фермах огромных масс жидких навозных стоков. Часть из них попадает в реки и овраги, принося большой ущерб природной среде, другая часть мигрирует по профилю почвы, достигая и загрязняя грунтовые воды, делая их непригодными для хозяйственных целей.

Использование бесподстилочного навоза в высоких дозах на ограниченной площади сельскохозяйственных угодий также может привести к загрязнению природных водных источников, к снижению плодородия и ухудшению свойств почвы, к получению растениеводческой продукции, не пригодной ни для пищевых целей, ни на корм скоту. Поэтому совершенствование технологии рационального использования отходов животноводства - важнейшее условие предотвращения загрязнения природной среды.

Значительная часть биогенных элементов попадает в реки и озера со стоковыми водами, хотя и в большинстве случаев смыв элементов поверхностными водами значительно меньший, чем в результате миграции по профилю почвы, особенно в районах с промывным режимом. Загрязнение природных вод биогенными элементами за счет удобрений и почвы и их эвтрофикация возникают прежде всего в тех случаях, когда нарушается агрономическая технология применения удобрений, не выполняется комплекс агротехнических мероприятий, в целом культура земледелия находится на низком уровне. Проблема качества природных вод находится сейчас в центре внимания научных и научно-технических учреждений почти всех стран мира, так как ухудшение качества природных вод принимает угрожающие размеры.

Таблица 4 - Допустимые пределы содержания некоторых токсических веществ в питьевой воде, мг/л

Токсикант	Концентрация
Мышьяк (в пересчете на As)	0,05
Кадмий (в пересчете на Cd)	0,01
Цианиды (в пересчете на CN)	0,05
Свинец (в пересчете на Pb)	0,1

Ртуть (общая, в пересчете на Hg)	0,001
Селен (в пересчете на Se)	0,01
Нитраты (в пересчете на NO ₃)	45

В таблице 4 показаны допустимые пределы содержания токсических веществ в питьевой воде.

2.2. Влияние удобрений на качество природных вод

Азотные удобрения. Особенно экологически опасны в отношении загрязнения водных источников нитратные формы азотных удобрений. Поскольку нитратный азот (N-NO₃) не сорбируется почвами, то он легко вымывается почвенными водами, легко восстанавливается в газообразные формы и в больших количествах (20-40%) теряется для питания растений, уходит в атмосферу, вымывается водой.

Поэтому азотные удобрения являются самыми сильными загрязнителями природной среды и характеризуются как экологически опасные.

За счет миграции азота загрязнение поверхностных и грунтовых вод составляет:

- 42% - через грунтовые воды,
- 10% -с поверхностным стоком,
- 30% - из канализационных систем,
- 9% -с атмосферными осадками.

Вымывание азотных удобрений активнее происходит из почв с промывным режимом, а также на почвах легкого гранулометрического состава. Процессы вымывания азота удобрений неодинаковы в почвах разных типов, на разных элементах ландшафта, под разными культурами. Способствует вымыванию азотных удобрений и внесение высоких доз за один прием. Велики потери нитратов при орошении или достаточном естественном увлажнении.

Вымывание нитратного азота приводит к повышению концентрации нитратов в источниках питьевой воды. Предельно допустимая концентрация (ГЩК) азота нитратов в питьевой воде в нашей стране в настоящее время составляет 10 мг на 1 литр. Превышение ПДК нитратов в воде является причиной заболеваний, особенно детей. Сами по себе нитраты безвредны, но под действием некоторых видов кишечных бактерий, особенно активных в организме детей, нитраты могут переходить в нитриты. Последние ядовиты, так как соединяясь с гемоглобином крови, они переводят его в форму метгемоглобина, что препятствует транспорту кислорода по кровеносной системе. Эта болезнь сопровождается анемией, удушьем и даже смертью.

Аммиачные формы удобрений также могут быть источником загрязнения почв и природных вод. Неионизированный аммиак в воде очень токсичен при концентрации более 0,025 мг на литр. Содержание неионизированного аммиака зависит от температуры и pH. Токсичного уровня достигают соединения неионизированного аммиака при 5°C и pH 7. Если общее содержание аммония в воде увеличивается до 19,6 мг на литр, температура повышается до 20°C а pH - до 8,5, токсичное количество неионизированного аммиака появляется при общем содержании аммония в 100 раз меньшем - 0,2 мг/литр.

Известно, что аммонийный азот препятствует хлорированию воды, особенно если его концентрация достигает 1 мг/литр, к тому же, окисляясь до нитратов, аммонийный азот расходует кислород и приводит к кислородному голоданию живых организмов и протуханию воды.

Фосфорные удобрения представляют меньшую угрозу. Фосфор удобрений мало подвижен и прочно закрепляется в почве (до 4050% фосфорных удобрений адсорбируются почвой). Вымывание фосфорных удобрений почти не происходит. Даже при поверхностном внесении вымывание фосфора не превышает 1%. Некоторое количество фосфора поступает с твердыми частицами почвы вследствие эрозии. Основным же источником загрязнения природных вод

фосфором является не сельское хозяйство, а промышленные и бытовые стоки, особенно полифосфаты моющих веществ.

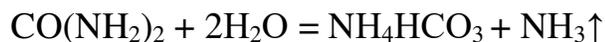
Калийные удобрения мигрируют медленнее, чем азотные. Вымывается около 10-13%. Опасность представляет анион хлора, отличающийся очень большой подвижностью к миграции. Он вымывается в грунтовые воды, приводя к загрязнению хлоридами.

В совокупности с соединениями азота и калия, а также воднорастворимыми углеродными соединениями, фосфор служит одной из основных причин эвтрофикации водоемов. Она выражается в остром дефиците растворенного кислорода вследствие расхода его на дыхание водорослей и окисление органического вещества, попадающего в водоемы, в избыточном минеральном и азотном питании водорослей и микроорганизмов, в формировании среды с низкими значениями Eh, в процессах денитрификации, десульфирования с образованием сероводорода, метана, этилена. Сопровождается явление эвтрофикации гибелью рыбы и других животных, населяющих водоемы, заболеваниями людей и животных, потребляющих эту воду. «Цветение» воды завершается ее протуханием, появлением неприятного запаха, вода становится непригодной и трудно подвергается очистке.

2.3. Газообразные потери удобрений

Газообразные потери питательных элементов удобрений происходят в результате биологических и химических процессов, протекающих при взаимодействии удобрений и почвы. Потери азота через улетучивание из почвы зависят от формы азотного удобрения, наличия растительного покрова, сроков внесения и способов заделки удобрений, норм азота, совместного внесения азотных удобрений и соломы, свойств почвы, наличия энергетического материала, микрофлоры, гидротермических условий.

Примером биологических процессов, приводящих к газообразным потерям азота, является поверхностное внесение мочевины. В почве происходит ее аммонификация и гидролиз. При благоприятных условиях влажности и температуры, на богатой гумусом и ферментом уреазой почве превращение мочевины в углекислый аммоний происходит за 2-3 дня.

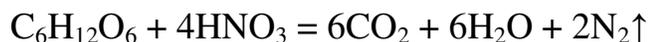
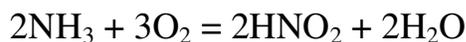


На нейтральных и щелочных почвах, без осадков, потери азота в виде аммиака возрастают. Увеличиваются потери на легких высококарбонатных почвах, а также с увеличением дозы мочевины. Решающим фактором является температура. При температуре от 0 до 4°C потерь нет, а при 7-8°, 20° и 30°C соотношение потерь возрастает в 1; 7,2 и 14,4 раз. Максимальные потери отмечаются при низкой влажности почв.

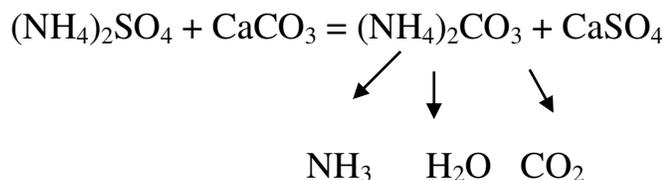
Мочевина может также превращаться в токсическое соединение -биурет с одновременной потерей аммиака. По ГОСТ 2081-92 «Карба-мид. Технические условия.» содержание биурета в мочеvine не должно превышать 1%, а содержание 3% - токсично для растений.



Второй биологический путь газообразной потери азота - денитрификация. Эти потери могут достигать 25% от внесенной дозы. При денитрификации теряется N₂, N₂O, в меньшей степени - NO и NO₂. В условиях свежего органического вещества, избытка влаги и недостатка кислорода идет восстановление нитратов (NO₃) до молекулярного азота (N₂) за счет деятельности денитрификаторов.



Наиболее существенный химический путь потерь азота из удобрений - выделение свободного аммиака (NH_3) вследствие взаимодействия аммиачных удобрений со щелочными почвами. Реакция протекает следующим образом:



С увеличением дозы удобрений, температуры и рН почвы потери аммония возрастают, с глубиной заделки удобрений - уменьшаются. Более высокие потери на легких почвах и на почвах с высоким увлажнением, т.к. влажность способствует испарению аммиака вместе с парами воды

2.4. О возможном негативном влиянии удобрений на плодородие

Являясь высокоэффективным средством повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, удобрения в определенных условиях могут воздействовать на почву и как фактор, снижающий ее плодородие. Это происходит в большинстве случаев при несбалансированном поступлении в почву питательных веществ, значительная часть которых не используется на формирование урожаев, а накапливается в почве в избыточных количествах, вызывая проявление различного рода нежелательных экологических последствий.

Вносимые удобрения могут оказывать на почву следующее влияние:

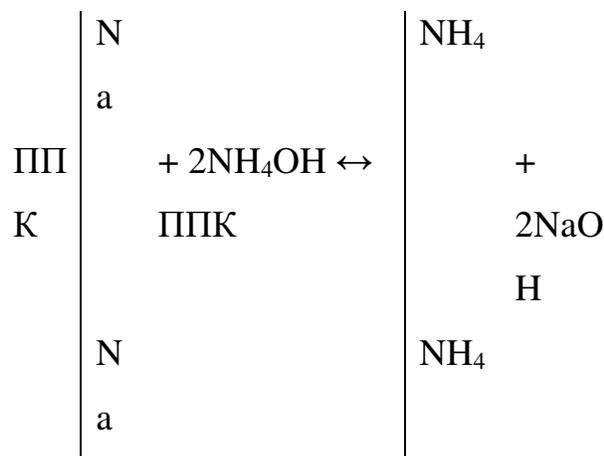
- 1) вызывать подкисление или подщелачивание среды;
- 2) улучшать или ухудшать агрохимические и физические свойства почвы;
- 3) способствовать обменному поглощению ионов или вытеснять их в почвенный раствор;
- 4) способствовать или препятствовать химическому поглощению катионов (биогеохимических и токсических элементов);
- 5) способствовать минерализации или синтезу гумуса почвы;

- 6) усиливать или ослаблять действие других питательных элементов почвы или удобрений;
- 7) мобилизовать или иммобилизовать питательные элементы почвы;
- 8) вызывать антагонизм или синергизм питательных элементов и, следовательно, существенно влиять на их поглощение и метаболизм в растениях.

Рассмотрим эти положения подробнее на конкретных примерах. 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, снижает степень насыщенности основаниями, ухудшая плодородие почвы.



Систематическое применение аммиачной воды или мочевины на щелочных почвах без орошения может привести к сдвигу реакции р щелочную сторону.



Применение удобрений может не только мобилизовать отдельные питательные элементы почвы, но и связывать их, превращая в недоступную для растений форму. Например, известковые мелиоранты мобилизуют молибден, который в избыточных количествах может отрицательно влиять на рост растений и

здоровье животных, но одновременно могут появиться симптомы недостаточности цинка, меди и других элементов. Одностороннее использование высоких доз фосфорных удобрений часто значительно снижает содержание подвижного цинка в почве, вызывая цинковое голодание растений. Фосфорные удобрения способствуют значительному увеличению содержания подвижных элементов: в 1,5-2 раза возрастает подвижность марганца, мышьяка, свинца, ванадия, в четыре раза - стронция. Подвижность макро - и микроэлементов в почве при систематическом внесении, например, суперфосфата, может быть вызвана солубилизирующим действием остатков неорганических кислот, входящих в состав удобрений, $P_2O_5^{2-}$, SO_4^{2-} ; Cl^- ; F^- (проникновение их в мицеллы поверхностно-активного слоя почвы). Наибольшую опасность в этом отношении представляют растворимые соединения фтора, которых в простом суперфосфате содержится значительное количество.

При несбалансированном применении минеральных удобрений, в частности, большой доли азотных удобрений, может происходить дегумификация почвы, т.е. потери гумуса, составляющие 30-40% от исходного содержания.

При загрязнении почвы удобрениями могут быть существенные изменения биоты: уменьшение общего количества бактерий, спорообразование их, резкое сокращение числа актиномицетов и увеличение количества грибов, падение численности в почве насекомых (жужелиц, чернотелок, жирлиц) и дождевых червей. Отмечается также снижение ферментативной активности в почве и т.п.

Таблица 5 - Реакции основных питательных элементов минеральных удобрений в почве и возможные пути их потерь (В.Г. Минеев, 1988)

Химическое соединение	Реакции	Возможные пути потерь
Соли аммония и аммиак	Сорбция NH_4 , включение в состав органического вещества	Улетучивание NH_3

	Фиксация глинистыми минералами Нитрификация до NO_3 Частичная нитрификация до NO_2	Вымывание NO_3 Вымывание NO_3
Нитраты	Незначительная сорбция NO_3 Незначительное включение в состав органического вещества, денитрификация	Вымывание NO_3 Вымывание NO_3
Амиды	Аммонификация	Такие же потери, как в случае солей аммония
Ортофосфаты	Превращение в более устойчивые соединения	Закрепление в почве
Полифосфаты	Гидролиз	Незначительное вымывание
Соли, гидроксиды и оксиды	Нейтрализация почвенной кислотности, осаждение в форме карбонатов, сорбция Ca^{2+} и Mg^{2+}	Вымывание
Соли калия	Сорбция K^+ Фиксация K^+	Вымывание (в том числе Cl^-)
Соли натрия	Сорбция Na	Вымывание

В таблице 5 показаны возможные превращения различных химических соединений, входящих в минеральные удобрения, и связанные с ними возможные потери питательных элементов, путем вымывания, улетучивания в газообразной форме и закрепления.

2.5. Влияние удобрений на фитосанитарное состояние почвы и посевов

Опыт показывает, что наиболее надежными и эффективными мерами защиты растений особенно от болезней, является применение комплекса агрономических мероприятий: севооборотов, дифференцированных почвозащитных приемов обработки почвы и научно-обоснованных систем применения удобрений.

Рассмотрим возможное позитивное и негативное влияние различных удобрений на развитие болезни растений и некоторых вредителей. Это влияние возможно в результате прямого воздействия на процессы роста и физиологическое состояние растения - хозяина, например, патогена, что может стимулировать или ингибировать их развитие. Кроме этого, различные виды удобрений и химических мелиорантов могут оказывать косвенное влияние на физико-химические свойства, водно-воздушный и пищевой режим почвы, активизировать или ингибировать развитие микрофлоры, находящейся в антагонизме с патогеном, т.д. Все это существенно влияет на развитие различных болезней и рост растений.

Наиболее хорошо известно так называемое «голодание» растений при недостатке питательных элементов. Растения, голодающие от недостатка азота, имеют желтовато-зеленоватую окраску, переходящую в желтую. Злаковые растения приобретают прямую и вытянутую форму. Пожелтение листьев начинается с нижних ярусов, а отмирание листа начинается с верхушки и распространяется к его основанию. Азотное голодание растений проявляется при множестве условий: на слабокультуренных почвах, при заашке значительного количества свежих растительных остатков (соломы), при холодных и сырых веснах, при засухе.

При фосфорном голодании чаще всего наблюдается замедленный рост и слабое кущение, существенно задерживается вегетация и созревание растений, иногда появляется антоциановая окраска листьев.

В условиях острого фосфорного голодания часто появляются признаки недостатка для растений азота. Это объясняется тем, что вследствие острого дефицита фосфора азот не используется в синтезе органических соединений и у растений появляются признаки азотного голодания.

Характерным признаком калийного голодания растений является «ожог» краев листьев. На ранних фазах роста сначала верхушки листа, а затем края желтеют, буреют и постепенно отмирают. При недостатке калия у растений стебли бывают слабыми, что при созревании усиливает полегание. При недостатке магния для питания растения приобретают светло-зеленую окраску, отмечается хлороз. При значительном магниевом голодании может произойти отмирание ткани листа между жилками, засыхание и отмирание листьев.

Различные заболевания растений отмечаются при недостатке в их питании бора. Отмирание и загнивание точки роста («гниль сердечка») у свеклы, снижение семенной продуктивности люцерны, клевера, овощных культур и кормовых корнеплодов, побурение головки, слабое развитие, полый стебель у цветной капусты и т.д. При недостатке меди кончики молодых листьев светлеют или края листьев приобретают желтовато-серый цвет. Растения кустятся, но образование генеративных органов подавлено, при остром недостатке меди они вообще не образуются («белая чума» злаков).

Недостаток или избыток того или иного питательного элемента усиливает развитие патогена. Например, недостаток бора в питании льна усиливает развитие бактериоза, избыток извести в питании картофеля вызывает заболевание паршой и т.п.

Большинство исследователей отмечают, что азот в составе удобрений увеличивает развитие многих грибковых болезней, хотя вредность их не всегда

прогрессивно возрастает. Действие азотных удобрений на ход патологического процесса зависит от вида, сорта и возраста растений, фазы развития, гидротермических условий, дозы и формы азотного удобрения, сочетания азота с другими питательными элементами, уровнем окультуренности почвы и т.д.

Например, корневые гнили озимой пшеницы при внесении сульфата аммония под вспашку с осени нарастают в пространстве и времени и успешно подавляются при внесении тех же удобрений весной. Увеличение дозы азота в виде аммиачной селитры провоцирует развитие вертициллезного увядания хлопчатника, самого вредоносного заболевания во всех регионах его возделывания. В то же время установлено, что сульфат аммония обычно подавляет развитие патогенов, вызывающих фузариоз, вертициллез. При совместном внесении с известью это удобрение утрачивает свое действие. Аммиачная вода снижает распространение вредителя проволочника. Некоторыми исследователями отмечено, что одностороннее азотное удобрение озимой пшеницы приводит к значительному повышению повреждаемости растений хлебным пилильщиком, вредной черепашкой, а совместное внесение азота с фосфором и калием способствует некоторому снижению повреждения.

Азотные удобрения могут оказывать негативное действие и на фауну. Например, птицы, испытывая весной «солевое голодание», могут склевывать азотные удобрения и погибать. Нитратный корм притягивает многих насекомых: колющих, листогрызущих. Установлена миграция насекомых - опылителей из зон применения аммиакатов.

Фосфорные удобрения одни или в сочетании с калийными в большинстве случаев снижают вредоносность заболевания, способствуя усиленному развитию корневой системы, что повышает устойчивость растений к неблагоприятным условиям их роста (засухе, пониженным температурам). Кроме этого, оптимальное фосфорное питание усиливает синтез органических соединений в растениях, в том числе и склеренхимных тканей, что повышает сопротивляе-

мость растений к внедрению паразита. Внесение суперфосфата при низком и среднем уровне обеспеченности подвижным фосфором в черноземах снижает поражение пшеницы гельминтоспориозом. Максимальные дозы фосфорных удобрений снижают поражение ячменя корневыми гнилями,

Калийные удобрения существенно сдерживают развитие грибковых болезней на растениях, так как калий утолщает клеточные стенки, повышает прочность механических тканей, увеличивает рост и дифференциацию клеток камбия у высших растений. Все эти процессы способствуют повышению физиологической устойчивости растений против инфекционного поражения. Установлено высокое ингибирующее действие калийных удобрений на патоген корневой гнили, особенно при внесении калийной соли и хлористого калия. Однако фитопатогенные грибы обладают широким набором целлюлозолитических и пектолитических ферментов, поэтому механическая прочность тканей не всегда является препятствием для развития патологического процесса.

Органические удобрения, внесенные под предшественник, могут обеспечивать устойчивое снижение поражения ячменя корневой гнилью при всех режимах минерального питания.

Известно, что микроудобрения оказывают существенное влияние на физиолого-биохимические процессы у микроорганизмов, в том числе и грибов, действуют на ферментативную активность каталазы, дегидрогеназы, протеолитических и аминолитических ферментов.

Для успешного роста многих видов грибов необходимо присутствие в питательной среде железа, цинка, марганца, меди, бора. Следовательно, оптимизируя питание растений макро- и микроэлементами, можно эффективно влиять на регулирование взаимоотношений между растениями и соответствующим патогеном. Эффективность удобрений проявляется в их действии одновременно на несколько факторов инфекционного процесса.

2.6. Возможное негативное воздействие на качество растениеводческой продукции.

Нарушение баланса питательных веществ в земледелии ведет к ухудшению химического состава и свойств почвы, природных вод и растений, а это отрицательно сказывается на питательной ценности продукции и может привести к функциональным заболеваниям человека и животных.

При возделывании сельскохозяйственных растений на загрязненных участках нарушаются системы иммунноактивных барьеров, что усиливает поражение их различными болезнями и вредителями (о чем говорилось выше), сокращает сроки жизни ценных сортов. Токсические элементы накапливаются в растениеводческой продукции в избыточных количествах. Систематическое использование такой продукции в пищу и на корм скоту вредно для здоровья. Токсические вещества вызывают серьезные заболевания центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта, органов кроветворения и крови. Многие вещества обладают канцерогенными и мутагенными свойствами, вызывая рак различных органов, изменение наследственных свойств организма.

Качество растительной продукции по сбалансированности макро- и микроэлементов в значительной мере отражает условия выращивания растений. Задача правильной системы удобрения - приблизить условия питания растений к оптимальным, чтобы получить потенциально возможный урожай высокого качества. В то же время нарушение агрономической технологии применения удобрений может привести к ухудшению качества получаемой растениеводческой продукции. Самую большую экологическую опасность в этом смысле представляют азотные удобрения.

В растениях могут накапливаться в избыточных количествах нитраты, нитриты, которые в кислой среде реагируют с вторичными аминами, образуя нитрозамины. Эти соединения опасны тем, что обладают канцерогенными и мутагенными свойствами, могут вызывать раковые заболевания, врожденные и

мутагенные уродства. Наиболее опасны для здоровья нитриты. Они переводят в организме двухвалентное железо гемоглобина в трехвалентное. Получающийся при этом метгемоглобин не способен быть переносчиком кислорода, в результате чего наблюдается удушение всех тканей человека и животных, так называемая «анемия» крови, особенно у молодого организма.

Нитраты восстанавливаются в нитриты как эндогенным путем в желудочно-кишечном тракте, так и экзогенным - во время хранения пищевых продуктов. Как уже указывалось, нежелательное воздействие нитратов - в блокировании переноса кислорода кровью. Канцерогенно-опасны также нитриты, так как они являются предшественниками N-нитрозоаминов. В некоторых продуктах они содержатся уже готовые. Особенно нежелательно это для детей, что связано с их физиологией.

Существует множество факторов, влияющих на накопление нитрозосоединений в растениях (агротехнический, экологических, агрохимических, организационных).

Рассмотрим вкратце только агрохимические факторы, способствующие накоплению нитратов в растениях

Особенно нежелательно несбалансированное питание растений при наличии избытка азота в питательной среде. Он может накапливаться в растениях в свободном состоянии вследствие нарушения процессов редукции нитратов до запасных питательных веществ. Часть поглощенных нитратов используется на восстановление до аммиака, который участвует в дальнейшем биосинтезе, некоторая часть нитратов остается в клетках, образуя нитратный пул (фонд). Ключевым ферментом в ассимиляции нитратов является нитратредуктаза. Любые изменения внешней среды (освещенность, водный режим, температура, наличие микроэлементов и т.д.) влияют на активность нитратредуктазы.

При несбалансированном питании недостаток фосфора и особенно калия приводит к накоплению нитратов в растениях. Важна роль серы, железа, меди,

марганца, бора и молибдена в скорости включения нитратов в биосинтез органических соединений. Особенно важное значение имеет молибден. Он входит в состав нитратредуктазы и принимает непосредственное участие в ферментативном восстановлении нитратов.

Использование высоких доз азотных удобрений, возрастающие дозы азотных удобрений приводят к накоплению нитратов.

Важное значение имеют формы азотных удобрений. Способствуют накоплению нитратов селитры. Снижают содержание нитратов в продукции почти в 2 раза преимущественно аммонийные и амидные удобрения, а также применение медленно действующих удобрений (покрытых полимерами, парафином, смолами, капсулированных серой и т.п.).

Исключительное значение имеют сроки азотных подкормок. Запрещаются поздние подкормки в период массового созревания, что затягивает вегетацию, замедляет биосинтез Сахаров и сухого вещества, и приводит к накоплению в продукции нитратов.

Специфические особенности фосфорных удобрений в том, что применение их в больших дозах может приводить к накоплению тяжелых металлов и радионуклидов. Отмечена кумуляция таких элементов как стабильного стронция, фтора, урана, радия, тория, свинца, кадмия.

Особенно отрицательным эффектом, возникающем при внесении фосфорных удобрений, является накопление фтора. При производстве суперфосфата извлекается 20-25% фтора.

Накапливается его больше в вегетативных органах, чем в генеративных. Большая его часть остается в корнях. В процессе переработки удобрений в них остается некоторая часть тяжелых металлов и радионуклидов: свинца, кадмия, стронция. Незначительное количество их может поступать в растения. Например, с 3 ц физической массы суперфосфата можно внести в почву около 13 кг стронция.

Навоз и известь также содержат тяжелые металлы. Так, при дозе навоза в 50 т/га в почву может поступить в кг/га: свинца - 38, кадмия - 2,3, никеля - 75, а с известью (при дозе 5 т/га) соответственно - 221, 32 и 177 кг/га.

Тяжелые металлы, внесенные с удобрениями в почву, подвергаются определенной трансформации и лишь частично поступают в растения.

Многочисленными исследованиями, выполненными в разных странах, установлен характер распределения тяжелых металлов в биомассе растений: - корни - надземная часть - зерно. Это свидетельствует о наличии трех защитных механизмов (барьеров) на границе почва - корень, корень - стебель, стебель - зерно. Зная механизм поступления биогенных и токсических элементов в корни, транслокацию их в надземную часть и генеративные органы, а, следовательно, в продукцию растениеводства, можно регулировать качество продукции.

Следует заключение, что нет доказательств того, что правильное рациональное применение удобрений может воздействовать на продукты питания и корма таким образом, чтобы возникла опасность появления специфических заболеваний у человека и животных.

3. КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УДОБРЕНИЙ

В ниже приведенных таблицах приведена развернутая характеристика удобрений, большая часть из которых поступает к нам в Красноярский край. В таблицах 6-8 дана физико-химическая, агрономическая и экологическая характеристика азотных удобрений, в таблицах 9-11, соответственно, фосфорных, в таблицах 12-14 - калийных и 15-16 - комплексных.

Таблица 6 - Химические и физические свойства основных азотных удобрений

Удобрение	Формула	Содержание азота, %	Внешний вид		Растворимость	Объем 1 т удобрений,	Рассеиваемость	Слеживаемость	Гигроскопичность	Условия смешивания с другими удобрениями
			физическое состояние	окраска						
Аммонийная селитра	NH_4NO_3	34,5-35,0	Гранулированная	Белая или желтоватая	Очень сильная	1,19	Хорошая	Слабая	Очень сильная	Незадолго до внесения
Мочевина (карбамид)	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46	Гранулированная	Белая или желтоватая	Сильная	1,55	Хорошая	Не слеживается	Гигроскопична при высокой влажности воздуха	Незадолго до внесения
Сульфат аммония	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	20,5-21,5	Мелкокристаллический	Различных оттенков	Сильная	1,25	Хорошая	Слабая	Очень слабая	Нельзя смешивать

			лическая	тенков, преиму- ществен- но серо- зеленый						вать со щелоч- ными удобре- ниями
Кальцие- вая се- литра	Ca(NO ₃) 2	17,0	Чешуй- чатые гранулы	Желтая или свет- ло- коричне- вая	Сильная	0,9-1,1	Удовле- твори- тельная	Умерен- ная	Очень сильная	Нельзя смешивать с супер- фосфа- том
Натрие- вая се- литра	NaNO ₃	16,0	Мелко- кристал- лическая	Белая с желтова- тым от- тенком	Сильная	0,7-0,91	Хорошая в сухом состоя- нии	Незначи- тельная	Умерен- ная	Нельзя смешивать с недоста- точно сухими удобре- ниями

Аммиак водный	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$, (NH_4OH)	20	Жид- кость	Бесцвет- ная или желтова- тая	В любом соотно- шении	1,1				
------------------	---	----	---------------	--	-----------------------------	-----	--	--	--	--

Таблица 7 - Агрономические свойства основных азотных удобрений

Удобрение	Форма соединений азота	Физиологическая реакция удобрения	Действие удобрений на почву	Для каких почв, при каких условиях наиболее эффективно	Для каких культур применяется	Оптимальный способ и срок внесения в почву	В сочетании с какими удобрениями более эффективно
Аммонийная селитра	Аммонийная и нитратная	Слабокислая	Реакция почв не изменяется	Применяется на всех почвах	Для всех культур	Все способы, преимущественно весной под культивацию, нельзя смешивать с семенами	На кислых почвах в сочетании с нейтральными и щелочными
Мочевина (карбамид)	Амидная	Слабое подкисление	Реакция нейтральных и кислых почв не изменяется, слабое подщелачивание	На всех почвах, а на карбонатных - при орошении	Для всех культур	Все способы, в любые сроки, преимущественно под культивацию	С преципитатом и сульфатом калия

			вание карбонатных почв			вацию, нежелательно смешивать с семенами	
Сульфат аммония	Аммонийная	Кислая	Устойчивое подкисление	На нейтральных почвах а на кислых совместно с известью и навозом	Для всех культур, особенно картофеля, бобовых, полевных культур, крестоцветных	Внесение вразброс в любые сроки, преимущественно весной под культивацию	Со всеми удобрениями, кроме щелочных форм
Кальциевая селитра	Нитратная	Слабощелочная	Временное нестойкое подкисление, или не изменяет	Особенно на кислых почвах	Для всех культур	Внесение вразброс, преимущественно под предпосевную культивацию	С калийными удобрениями

Натриевая селитра	Нитратная	Щелочная	Слегка подщелачивает	На всех почвах, ограничено на щелочных	Для всех культур, особенно свеклы	Внесение вразброс, преимущественно весной под культивацию	С фосфорными и калийными удобрениями
Аммиак водный	Аммиачная	Нейтральная	Слабо подщелачивает, затем подкисляет	На всех почвах особенно на кислых	Для всех культур, особенно силосных	Допосевное в любые сроки	-

Таблица 8 - Экологическая характеристика основных азотных удобрений

Удобрение	Возможные пути потерь и миграции	Негативное влия- ние на окружаю- щую среду	Требования к вне- сению	Безопасность жизнедеятельности	
				При хранении	При внесении
Аммоний- ная селит- ра	Аммонийная часть азота связывается почвой и не выщелачивается, нитратная форма азота остается свободной и подвижной в почвенном растворе, она может вымываться. Аммонийная группа может необменно фиксироваться минералами почвы	Загрязнение нитратами водных источников, кумуляция нитратов в растениеводческой продукции, склевывание птицами и их возможная гибель	Весеннее или летнее внесение в зонах с избыточным и достаточным увлажнением, обязательная заделка в почву, соблюдение предельно-допустимых доз	Помещения с точно-вытяжной вентиляцией. Является окислителем, пожаро- и взрывоопасным, нельзя хранить вместе с органическими материалами, обладает местным раздражающим действием на слизистую оболочку носа и кожу.	Респираторы, защитная спецодежда

<p>Мочевина (карбамид)</p>	<p>В почве быстро превращается в аммиачную форму, которая связывается почвой. Возможны газообразные потери аммиака, необменная фиксация аммонийной группы. Может содержать до 1,5-3,0% токсического биурета или он образуется при неправильном внесении и хранении</p>	<p>Локальное загрязнение атмосферного воздуха, токсическое действие биурета на растения, склевывание птицами и их возможная гибель</p>	<p>Недопустимо поверхностное внесение, обязательная заделка в почву на оптимальную глубину</p>	<p>Приточно-вытяжная вентиляция помещений. Не токсична, пожаро- и взрывобезопасна. В качестве примеси содержит свободный аммиак, раздражение верхних дыхательных путей.</p>	<p>Респираторы, защитная спецодежда</p>
<p>Сульфат аммония</p>	<p>Аммонийная часть азота связывается почвой, может не-</p>	<p>Незначительное загрязнение атмосферного воздуха</p>	<p>Недопустимо поверхностное внесение, обязательная</p>	<p>Помещения с вентиляцией, хранение в мешках или</p>	<p>Для защиты от сульфата аммония проти-вопыльные</p>

	обменно фиксируются минералами. При поверхностном внесении разлагается с образованием аммиака, нитрифицируется и может вымываться	и загрязнение водных источников	заделка в почву для предотвращения необменной фиксации и газообразных потерь	россыпью. Пожаро- и взрывоопасен, вызывает раздражение кожи и верхних дыхательных путей	респираторы и брезентовые рукавицы
Кальциевая селитра	Нитратная группа не связывается почвой и может вымываться (выщелачиваться) осадками, эрозионным стоком, поливными водами	Загрязнение нитратами водных источников, кумуляция в растениеводческой продукции	Преимущественно весенне-летнее внесение, особенно в зонах с достаточным увлажнением, соблюдение предельно-допустимых доз	Из-за гигроскопичности закрытое хранение в специальных многослойных мешках, нельзя хранить рядом с суперфосфатом	Спецодежда
Натриевая селитра				Легковоспламеняема, при попадании на кожу или слизи-	Респираторы, очки, защитная спецодежда

				<p>стую оболочку глаз и носа раз- дражает</p>	
<p>Аммиак водный</p>	<p>Связывается поч- вой, не вымывается атмосферными осадками, сильные газообразные поте- ри аммиака, после частичной нитри- фикации возможно вымывание нитрат- ов</p>	<p>Загрязнение атмо- сферного воздуха аммиаком, ча- стичное загрязне- ние водных ис- точников, мигра- ция насекомых- опылителей, при не соблюдении доз гибель поч- венной фауны</p>	<p>Вносить в почву инжектированием на глубину не менее 10-20 см в зависи- мости от свойств почвы, соблюдение допустимых доз</p>	<p>Хранение в герме- тичных емкостях под давлением. При дегазации па- ров аммиака взры- воопасен, горюч, с очень резким запа- хом, токсичен, раздражающ, вы- зывает резкий удушливый ка- шель, головокру- жение, расстрой- ство дыхания</p>	<p>Специальные агре- гаты для внесения под давлением. Соблюдение мер предосторожности, использование ин- дивидуальных средств защиты</p>

Таблица 9 - Химические и физические свойства основных фосфорных удобрений

Удобрение	Формула	Содержание фосфора	Форма фосфорного соединения	Внешний вид		Объем 1 т удобрения, м ³	Рассеиваемость	Условия смешивания с другими удобрениями
				Физическое состояние	Окраска			
Суперфосфат двойной	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	43-49*	Однозамещенный фосфат кальция, воднорастворимый	Гранулированный	От белой до темносерой	1,15	Очень хорошая	Незадолго до внесения со всеми удобрениями
Суперфосфат простой	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ CaSO_4	20-25		Порошковидный или гранулированный	Белая или светлосерая	0,85-0,9	У порошковидного при большой влажности плохая, у гранулированного очень хоро-	

							шая	
Преци- питат	$\text{CaHPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$	36	Двухзаме- щенный фос- фат кальция, полураство- римый	Порошко- видный	Белый	1,18	Хорошая	Смешивает- ся с любыми удобрения- ми, кроме щелочных форм
Фосфо- ритная мука	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	18-29*	Трехзаме- щенный фос- фат кальция, водонерас- творима	Порошко- видный	Землисто- серая или коричне- вая	0,55-0,6	Хорошая	

Таблица 10 - Агронимические свойства основных фосфорных удобрений

Удобрение	Форма соединений фосфора	Физиологическая реакция удобрения	Действие удобрений на почву	Для каких почв, при каких условиях наиболее эффективно	Для каких культур применяется	Оптимальный способ и срок внесения в почву	В сочетании с какими удобрениями более эффективно
иуперфосфат двойной	Воднорастворимая	Нейтральная	Не изменяет реакцию	На всех почвах	Для всех культур	Все способы, в любые сроки, преимущественно локально (рядковое или врезание)	Незадолго до внесения с любыми удобрениями
Суперфосфат простой	Воднорастворимая	Нейтральная	Не изменяет реакцию	На всех почвах, особенно солонцеватых	Для всех культур, особенно нуждающихся в сере	Все способы, в любые сроки	Незадолго до внесения с любыми удобрениями

					(картофель, бобовые, крестоцветные)		
Преципитат	Полурастворимая	Нейтральная	Несколько ослабляет кислотность	На всех почвах, преимущественно на кислых	Для всех культур	Внесение вразброс под зяблевую вспашку	С кислыми формами удобрений
Фосфоритная мука	Воднорастворимая	Нейтральная	Ослабляет кислотность	В чистом виде только на кислых почвах, на других - в компостах	Для всех культур, особенно озимых, бобовых и следующих за ними	Только под зяблевую вспашку	С кислыми формами удобрений и органическими удобрениями

Таблица 11 - Экологическая характеристика основных фосфорных удобрений

Удобрение	Возможные пути потерь и миграции	Негативное влияние на окружающую среду	Требования к внесению	Безопасность жизнедеятельности	
				При хранении	При внесении
Супер-фосфат двойной	Почвой очень быстро связывается в малоподвижное состояние и переходит в менее доступную для растений форму. Содержит примеси тяжелых металлов и радионуклидов. При избыточных дозах «зафосфачивание» почвы и снижение подвижности микроэлементов. Очень слабо мигрирует, почти не вымывается	Могут приводить к незначительной кумуляции тяжелых металлов	Для снижения «ретроградации» преимущественно локальное внесение, соблюдение доз	Не токсичен, пожаро- и взрывобезопасен, слабо пылит	Спецодежда
Супер-фосфат простой					
Преципи-	Медленнее, чем суперфосфат		Заделка и пере-	Сильно пылит,	Транспорт-

тат	связывается почвой, очень слабо мигрирует	мешивание с почвой, соблюдение доз	должно быть пылеулавливание, нетоксичен, пожаро- и взрывобезопасен	ные потоки герметизированы. Респираторы, спецодежда
Фосфоритная мука	Самое медленное связывание с почвой. Переход в подвижное состояние на кислых почвах. Большая примесь тяжелых металлов и радионуклидов	Обязательная заделка и тщательное перемешивание с почвой, соблюдение доз		

Таблица 12 - Химические и физические свойства основных калийных удобрений

Удобрение	Формула	Содержание калия, %	Внешний вид		Растворимость	Объем удобрений, м ³	Рассеиваемость	Слеживаемость	Гигроскопичность	Условия смешивания с другими удобрениями
			физическое состояние	окраска						
Хлористый калий (промышленный)	KCl	60	Мелкокристаллический порошок	От белой до кирпичной	Хорошая	1,09-1,05	Хорошо рассеивается в сухом состоянии	Сильно слеживается	Малогигроскопичен	Можно смешивать со всеми, кроме мочевины
Хлористый калий (нефелиновый)	KCl	62	Мелкокристаллический порошок	Светло-желтая	Хорошая	1,1-1,2	Хорошо рассеивается в сухом состоянии	Сильно слеживается	Малогигроскопичен	Можно смешивать со всеми, кроме мочевины

Калийная соль	$KCl+KCl$ $xNaCl$	40	Кристаллический порошок	Краснокирпичная	Хорошая	0,83-1,0	В сухом состоянии рассеивается удовлетворительно	Слеживается	Малогигроscopic	Можно смешивать со всеми, кроме мочевины
Сульфат калия (промышленный)	K_2SO_4	46	Кристаллический порошок	Серовато-белая	Хорошая	0,71-0,8	Хорошая	Не слеживается	Не гигроscopic	Можно смешивать со всеми, кроме мочевины
Сульфат калия (нефелиновый)	K_2SO_4	52	Мелкокристаллический порошок	Белый с различными оттенками	Хорошая	0,8-0,9	Хорошая	Не слеживается	Не гигроscopic	Можно смешивать со всеми, кроме мочевины

Таблица 13 - Агрономические свойства основных калийных удобрений

Удобрение	Форма K_2O	Физиологическая реакция	Действие удобрений на почву	Для каких почв, при каких условиях наиболее эффективны	Для каких культур применяется	Оптимальный способ и срок внесения
-----------	--------------	-------------------------	-----------------------------	--	-------------------------------	------------------------------------

		удобрения		фективно		ния в почву
Хлористый калий (промышленный и нефелиновый)	Хлорсодержащее	Кислая	На кислых почвах устойчивое подкисление, в засушливых условиях признаки засоления	На всех почвах, но на кислых совместно с известью и навозом	Для всех культур, в том числе и для чувствительных к хлору	Основное внесение осенью с глубокой заделкой, особенно под культуры, чувствительные к хлору
Калийная соль	Хлорсодержащее	Кислая	На кислых почвах устойчивое подкисление, в засушливых условиях признаки засоления	На кислых почвах устойчивое подкисление, в засушливых условиях признаки засоления	На всех почвах, но на кислых совместно с известью и навозом	Основное внесение осенью с глубокой заделкой, особенно под культуры, чувствительные к хлору

						тельные к хлору
Сульфат калия (промышленный и нефелиновый)	Сульфатное	Кислая	На кислых почвах устойчивое подкисление	На всех почвах, прежде всего для почв засушливой зоны, склонных к засолению, на кислых совместно с известью и навозом	Для всех культур, особенно для чувствительных к хлору (картофель, гречиха, клевер) и требующих серу	Любой срок внесения, преимущественно вразброс с заделкой под вспашку или культивацию

Таблица 14 - Экологическая характеристика основных калийных удобрений

Удобрение	Возможные пути потерь и миграции	Негативное влия- ние на окружаю- щую среду	Требования к вне- сению	Безопасность жизнедеятельности	
				При хранении	При внесении
Хлористый ка- лий (промыш- ленный и нефе- линовый) и Ка- лийная соль	Калий поглощает- ся почвой и нахо- дится в обменном состоянии, часть калия необменно фиксируется. На легких почвах ка- лий удобрений более подвижен и может вымыватъ- ся, ион хлора поч- вой не связывает- ся и вымывается атмосферными осадками	Загрязнение вод- ных источников хлором, частичное загрязнение почв радиоактивным калием, кумуля- ция хлора в агро- продукции	Обязательная за- делка в почву, преимуществен- ное внесение осе- нью, соблюдение доз	Не образует ток- сичных веществ, не горюч, пожа- ро- и взрывобез- опасен. Пыле- видные частицы, попадая на кож- ные раны, ухуд- шают их зажив- ление, вызывает катар слизистой оболочки носа, раздражает кожу.	Противопылевые респираторы, за- щитные герме- тичные очки, спецодежда.

<p>Сульфат калия (промышленный и нефелиновый)</p>	<p>Калий поглощается почвой и находится в обменном состоянии, часть калия necessarily фиксируется минералами. На легких почвах может вымываться. Сульфат-ион менее подвижен, чем хлор</p>	<p>Экологически менее опасен, чем хлорсодержащие</p>	<p>Обязательная заделка в почву, преимущественное внесение осенью, соблюдение доз</p>	<p>Не образует в воздухе токсичных веществ, пылит, вызывает воспаление слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей, вызывает катар. Ухудшает заживление кожных ран.</p>	<p>Противопылевые респираторы, защитные герметичные очки, спецодежда.</p>
---	---	--	---	---	---

Таблица 15 - Свойства основных комплексных удобрений

Удобрение	Химический состав (формула)	Содержание элементов	Внешний вид	окраска	Объем 1 т удобрений, м ³	Рассеиваемость	Условия смешивания с другими удобрениями	На каких почвах, при каких условиях эффективно	Для каких культур применяется	Оптимальный срок и способ внесения в почву
			физическое состояние							
Аммофос	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	Колеблется в зависимости от сырья N:P 9-12:42-50	Гранулированный	Серо-стальная	0,95-1,0	Хорошая	Идеален для тукошмишивания	На всех почвах, особенно эффективно для щелочных	Для всех культур, особенно вторых зерновых	Все способы и сроки, преимущественно локальный
Диаммофос	$(\text{NH}_4)_2\text{HP O}_4$	N:P 20:53	Гранулированный и по-	Серо-стальная	0,78-0,82	Хорошая	Хороший компонент для тукошмишивания	На всех почвах, особенно эффективно	Для всех культур	Преимущественно допосевное,

			рошко- видный				сей	вен для щелоч- ных		нежела- тельно смешивать с семенами
Нитроам- мофос	Азотно- фосфор- ное	N : P 20 : 53	Грану- лиро- ванный	Белая с различ- ными от- тенками	0,9-1,0	Хорошая	Смешива- ется со всеми удобре- ниями	На всех почвах	Для всех культур, особенно для се- рых хле- бов	Все спо- собы и сроки, преиму- ществен- но ло- кальный
Нитроам- мофоска	Азотно- фосфор- но- калийное	N:P:K 17,8:17,8:1 7,8	Грану- лиро- ванный	Бело- розовая	1,07-1,15	Хорошая	Смешива- ется со всеми удобре- ниями	На всех почвах	Для всех культур, особенно картофе- ля, ово- щей, кормо-	Все спо- собы и сроки, преиму- ществен- но под предпо-

									ВЫХ кор- неплодов	севную обработ- ку
--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------------------	--------------------------

Таблица 16 - Экологическая характеристика основных комплексных удобрений

Удобрение	Возможные пути потерь и миграции	Негативное влияние на окружающую среду	Требования к внесению	Безопасность жизнедеятельности	
				При хранении	При внесении
Аммофос	В почве может нитрифицироваться с образованием нитратов, которые вымываются. Слабо разлагается с образованием аммиака, который улетучивается в воздух	Локальное незначительное загрязнение водных источников и атмосферного воздуха, склевывание птицами	Обязательная заделка, преимущественно весенне-летнее внесение, соблюдение доз	Не токсичен, пожаро-и взрывобезопасен, слабо пылит, раздражает кожу, слизистую оболочку глаз и дыхательных путей	Спецодежда, герметичные очки, респираторы
Диаммофос	Разлагается и аммонифицируется сильнее аммофоса, сильнее мигрирует	Экологически более опасен, чем аммофос	Обязательная заделка, преимущественно весенне-летнее внесение, соблюдение доз		Спецодежда, герметичные очки, респираторы

Нитроаммо-фос	Более стойкое к разложению и нитрификации удобрение	Экологически менее опасное	Обязательная заделка, преимущественно весенне-летнее внесение, соблюдение доз	Не токсичен, не взрывоопасен, имеет склонность к раздражению при высокой температуре, слабо пылит, раздражает кожу	Спецодежда, герметичные очки, респираторы
Нитроаммо-фоска	Более стойкое к разложению и нитрификации удобрение	Экологически менее опасное	Обязательная заделка, преимущественно весенне-летнее внесение, соблюдение доз		Спецодежда, герметичные очки, респираторы

Литература

Бриченок А. В. Безопасность работ с минеральными удобрениями и ядохимикатами. - Россельхозиздат, М., 1981 Бугакова А.Н. Химизация земледелия и охрана окружающей среды.

Методические рекомендации в помощь лектору. Красноярск, 1984 Добровольский Г.В., Гришина Л.А. Охрана почв. Изд. МГУ, 1985

Загрязнение почв и растений тяжелыми металлами и фтором. /Материалы научно-производственной конференции. Красноярск, 1991 Загрязнение почв и растений фтором и тяжелыми металлами. /Сб. статей под ред. П.С. Бугакова, Красноярск, 1996

Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии. Изд. МГУ, 1988 Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда. Агропромиздат, М., 1990

Справочник по удобрениям. Изд. Колос, М., 1964 Справочник агрохимика. Россельхозиздат, М., 1980 Танделов Ю.П. Плодородие почв и эффективность удобрений в Средней Сибири. Изд. МГУ, 1998 Танделов Ю.П. Фтор в системе почва - растение. Изд. МГУ, 1997

Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах. /Материалы научно-практической конференции. Под ред. В.Г. Минеева, Москва, 1994