

Г л а в а 5. ОБЩИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ. АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

5.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Сырьем для производства минеральных удобрений служат ископаемые (для фосфорных, калийных и др.) и атмосфера (для азотных), а также побочные продукты промышленности.

По содержанию элементов питания различают однокомпонентные и комплексные минеральные удобрения. Однокомпонентные содержат один основной элемент питания: азот, фосфор, калий, магний, бор и т.д. По агрегатному состоянию они бывают твердые, жидкие суспензивные, а по строению — порошковые, кристаллические и гранулированные. Комплексные удобрения содержат два и более элемента питания и в зависимости от технологии производства могут быть сложными, смешанными и смешанными.

Та часть удобрения, которая может быть использована растением, называется действующим веществом (д.в.). Содержание действующего вещества в удобрениях выражается в процентах от физической массы: в азотных удобрениях — в расчете на N, в фосфорных — на P_2O_5 , калийных — на K_2O , магниевых — на MgO . Для пересчета рекомендуемой дозы удобрений, выраженной в килограммах д.в., на физическую массу конкретного вида удобрения дозу $N(P_2O_5, K_2O)$ умножают на 100 и делят на процент действующего вещества в удобрении. Например, при дозе 70 кг/га азота доза внесения мочевины, содержащей 46% д.в., будет 152 кг/га [(70×100):46].

Важнейшими физическими, химическими и механическими свойствами минеральных удобрений, которые необходимо учитывать при их хранении и транспортировке и от которых зависит эффективность их действия, являются: *растворимость*; *гигроскопичность*; *слеживаемость*; *влажность*; *рассеиваемость*; *гранулометрический состав*, а также *прочность гранул*. Кроме того, на сохранность удобрений при хранении влияют такие условия и свойства, как насыпная плотность; угол естественного от-

коса бурта; способность к расслаиванию (для смешанных удобрений); вязкость; огне- и взрывоопасность, а также свободная кислотность, выделение аммиака.

Влажность не должна превышать значения, утвержденного государственным стандартом и техническими условиями. Так, содержание влаги в сульфате аммония не должно превышать 0,6%, в аммиачной селитре и мочеvine — 0,2–0,3%, максимальная влажность водорастворимых фосфорных удобрений в зависимости от вида — от 3 до 5%, калийных — от 1 до 4%, влажность известняковой муки — 1,5–4%. При отклонении влажности минеральных удобрений от стандартной существенно меняются их физико-механические свойства, снижается качество.

Гигроскопичность — способность поглощать влагу из воздуха — минеральных удобрений оценивается по 10-балльной системе. Сильной гигроскопичностью обладают кальциевая селитра (до 9,5 баллов), аммиачная (гранулированная) селитра (9,3); средне- и слабогигроскопичная мочевины (3,6), гранулированный двойной суперфосфат (4,7), хлористый калий (3,2–4,4). При высокой гигроскопичности удобрения слеживаются, гранулы становятся непрочными, ухудшается сыпучесть и рассеиваемость массы. Условия хранения и транспортировки удобрений, требования к упаковке зависят от их гигроскопичности. Без тары допустается перевозить и хранить только слабогигроскопичные удобрения — с баллом 3 и ниже, сильногигроскопичные удобрения (7–10 баллов) хранят в герметичной таре (полиэтиленовых мешках).

Влажность влияет на качество рассеивания (распределения) удобрений и устанавливается стандартами. Предельная влажность удобрений соответствует максимальной их влажности, при которой сохраняется возможность удовлетворительного их внесения туковыми сеялками.

Слеживаемость удобрений зависит от их влажности, гигроскопичности, гранулометрического состава, а также условий и продолжительности хранения. Слеживаемость определяется по сопротивлению к разрушению цилиндрика слежавшегося удобрения. Степень слеживаемости оценивается по семейбальной шкале. К сильно слеживающимся удобрениям относятся карбамид (с гранулами 0,2–1 мм) — 7 баллов, мелкокристаллический хлорид калия — 6 баллов. Слеживаемость карбамид-фракций 1–3 мм, сульфата аммония, аммиачной селитры оценивается соответственно 1–2, 2–3, 3–4 баллами. Практически не слежива-

ются сульфат калия и калимагнезия. Уменьшению слеживаемости удобрений способствуют крупнокристаллические и гранулированные формы выпуска, хранение и транспортировка в терметичной таре.

Рассеиваемость зависит от гранулометрического состава, сыпучести и прочности гранул. Оценивается по 12-балльной системе: чем лучше рассеиваемость, тем выше балл. Равномерность распределения удобрений на поверхности поля зависит также от разбрасывающих органов машин.

Гранулометрический состав, или тонина помола (количество частиц разного размера), определяется механически — просеиванием удобрений через сита. От удельного веса крупных и мелких фракций зависит слеживаемость и рассеиваемость удобрений. При использовании удобрений с однородным гранулометрическим составом центробежными разбрасывателями они равномерно поступают на дозирующее устройство и одинаково распределяются по полю.

Прочность гранул зависит от влажности, размера и формы частиц, плотности упаковки и определяется испытаниями на раздавливание (кгс на 1 см²) и растирание (в %), которые проводятся на специальных приборах.

Угол естественного откоса (покоя) — это угол конуса (кучи) удобрения, насыпанного на горизонтальную поверхность. Этот показатель учитывается при строительстве складов, где удобрения складываются насыпью, проектировании бункеров, транспортных средств. Угол естественного откоса характеризует рассеиваемость удобрений.

Плотность — объем 1 т в м³ — учитывается при проектировании складских помещений, бункеров. Зависит от гранулометрического состава удобрений, размера и формы частиц, влажности, гигроскопичности, а также от давления верхних слоев.

5.2. АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

5.2.1. РОЛЬ АЗОТА В ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ

Как химический элемент азот был открыт Резерфордом в 1722 г., но название ему дал А. Лавуазье в 1777 г. Название происходит от греческого *α* — «отрицательная частьца» и *ζωο* — жизнь — «не поддерживающий жизни», так как азот не поддерживает дыхания и горения. Позже было

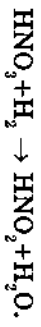
установлено, что азот — один из основных элементов, необходимых растениям. Он входит в состав аминокислот, всех простых и сложных белков, нуклеиновых кислот, играющих исключительно важную роль в обмене веществ в растениях и передаче наследственных свойств. Азот содержится в хлорофилле, фосфатидах, алкалоидах, ферментах и во многих других органических веществах растительных клеток. Без азота рост и развитие растений невозможно.

Основными *источниками* азота для растений являются органические и минеральные удобрения, биологический азот, накапливаемый клубеньковыми бактериями и симбиотическими микроорганизмами, а также азот, поступающий с атмосферными осадками и семенами. Главные химические соединения, из которых растения усваивают азот — соли азотной кислоты (нитраты) и соли аммония. В естественных условиях растения потребляют нитрат-ион и катион аммония, находящиеся в почвенном растворе и в обменно-поглощенном почвенном коллоидном состоянии. Поступившие в растения минеральные формы азота переходят сложный цикл превращений, в конечном итоге включаясь в состав органических азотистых соединений — аминокислот, амидов и, наконец, белков.

Нитраты и *нитриты* (азотнокислые и азотистокислые соли и эфиры) не способны вступать в реакцию с кетогруппами органических карбоновых кислот, поэтому для образования аминокислот они восстанавливаются в тканях растений до аммиака. Если растения содержат достаточное количество углеводов, то нитраты восстанавливаются до аммиака еще в корнях. Процесс ферментативного восстановления нитратов, происходящий в растениях благодаря окислению углеводов, идет через ряд промежуточных соединений и катализируется несколькими ферментами:



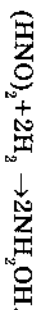
На первой стадии процесса нитраты под действием фермента нитратредуктазы восстанавливаются до нитратов:



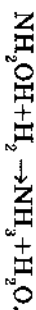
Далее при участии фермента нитритредуктазы нитрит восстанавливается до гипонитрита:



Затем под действием фермента типонитритредуктазы присоединяются еще два атома водорода и образуется гидроксилламин:



Последующее восстановление гидроксилламина при участии фермента гидроксилламинредуктазы приводит к образованию аммиака:

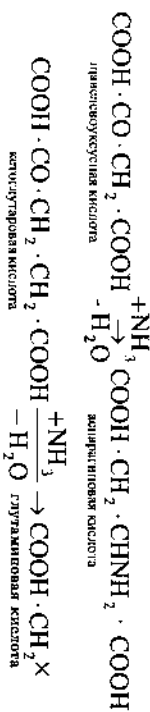


Ферменты, под влиянием которых нитраты восстанавливаются до аммиака, представляют собой металлофлавопротеиды. Для фермента, участвующего в восстановлении нитратов до нитритов, необходим молибден; для превращения нитрита в типонитрит и типонитрита в гидроксилламин — медь, железо и магний, а для перехода последнего в аммиак — марганец и магний. Из всех названных элементов особую роль в усилении процессов восстановления нитратов играет молибден.

Нитраты в растениях восстанавливаются по мере использования аммиака на синтез органических азотистых соединений. Нитритный азот способен накапливаться в растениях, не причиняя им вреда, в значительных количествах. Однако содержание нитратов в корнях, овощах и других продуктах растительного происхождения выше определенного уровня вредно для животных и человека.

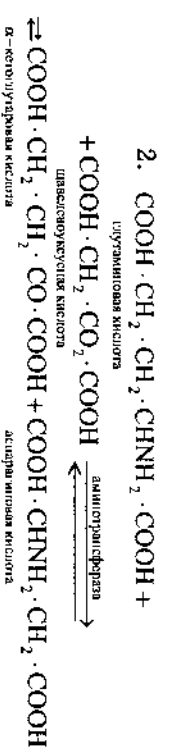
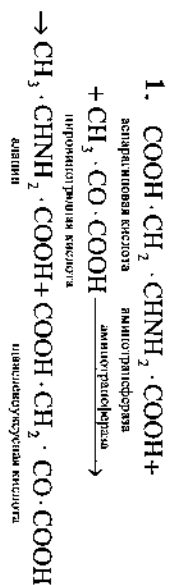
В свободном виде аммиак содержится в выстихших растениях в незначительных количествах, чрезмерное его накопление, особенно при дефиците углеводов, ведет к отравлению растений.

Если же углеводов достаточно, аммиачный азот, поступивший в растения из почвы или образовавшийся при восстановлении нитратов, присоединяется к органическим кетокислотам — продуктам неполного окисления углеводов (шавелевоуксусной и кетоглутаровой или фумаровой), образуя первичные аминокислоты — аспарагиновую и глутаминовую:



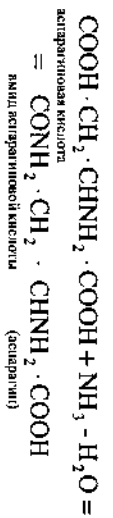
Этот процесс называется прямым аминированием и является основным способом образования аминокислот. Он указывает на тесную связь углеводного и белкового обмена. Все другие аминокислоты, входящие в состав белка (более 20), синтезируются переминированием аспарагиновой и глутаминовой кислот и их амидов — аспарагина и глутамина, а также в результате других специфических реакций. В процессе переминирования под воздействием соответствующих ферментов происходит перенос аминогрупп указанных и других аминокислот на другие кетокислоты.

Например, пировиноградная кислота, присоединяя аммиакую группу от аспарагиновой или глутаминовой кислот, дает аланин. Глутаминовая и шавелевоуксусная кислоты в реакции переминирования образуют аспарагиновую и окетоглутаровую кислоты.



Переминирование имеет большое значение для синтеза белка, а также для дезаминирования аминокислот. Дезаминирование — отщепление аминогруппы от аминокислоты, в результате чего образуется аммиак и кетокислота. Последняя перерабатывается растением в углеводы, жиры и другие вещества, а аммиак вновь используется для синтеза аминокислот.

Большое значение в азотном обмене принадлежит амидам — аспарагину и глутамину, которые образуются присоединением к аспарагиновой и глутаминовой кислотам еще по одной молекуле аммиака:



Как показали исследования Д. Н. Прянишников, благодаря образованию амидов обеззараживается аммиак, накопившийся в растениях при избыточном аммиачном питании и недостатке в растениях углеводов. При недостатке углеводов и, следовательно, органических кислот (особенно при прорастании семян, имеющих малый запас углеводов, например сахарной свеклы) аммиачный азот не успевает использоваться на синтез аминокислот и накапливается в тканях, вызывая их "аммиачное отравление". Растения, репродуктивные органы которых содержат большое количество углеводов (например, картофель), быстро усваивают аммиачный азот и хорошо отзываются на внесение аммиачных удобрений.

Синтез белков, состоящих из аминокислот, соединенных между собой пептидными связями, происходит с участием нуклеиновых кислот, являющихся матрицей, на которой фиксируются и соединяются аминокислоты в определенной последовательности с образованием разнообразных белковых молекул. Одновременно с синтезом в растениях происходит распад белков на аминокислоты (отщепление аммиака под действием протеолитических ферментов). В молодых растущих органах и растениях белков синтезируется больше, чем распадается; по мере старения, наоборот, расщепление идет быстрее, чем синтез. Таким образом, синтез органических веществ начинается с аммиака, а распад завершается его образованием. Как сказал Д. Н. Прянишников, "аммиак есть альфа и омега в обмене азотистых веществ в растениях".

Растения поглощают азот и синтезируют белки и другие органические азотистые вещества в течение всей вегетации, но интенсивность этих процессов в разные фазы роста и развития неодинакова.

При прорастании семян расщепляются запасные белки эндосперма или семядолей и продукты гидролиза используются для построения белков других органов растения. По мере формирования фотосинтезирующего листового аппарата и корневой системы питание растений и синтез белка происходят за счет минерального азота, поглощаемого из почвы. Наиболее интенсивно азот поглощается растениями при максимальном росте вегетативных органов — стеблей и листьев. Из стареющих частей растений, где преобладает распад белка, продукты гидролиза передвигаются в молодые растущие органы. При образовании репродуктивных органов белковые вещества

вегетативных частей растения распадаются и продукты распада поступают в репродуктивные органы, где из них вновь синтезируются белки. Постепенно поглощение азота из почвы уменьшается, пока не прекращается вовсе.

Содержание азота сильно варьирует в разных растениях и органах одного и того же растения. Семена содержат больше азота, чем листья и стебли в конце вегетации. До 90% азота входит в состав белков. Бобовые растения во всех органах содержат больше азота, чем злаковые.

При недостатке азота рост и развитие растений резко ухудшаются. Прежде и сильнее других органов страдают листья: они растут мелкие, светло-зеленого цвета, преждевременно желтеют, стебли становятся тонкими и слабо ветвятся. Ухудшается формирование репродуктивных органов и наливаются зерна. При нормальном азотном питании растения образуют мощные листья и стебли с интенсивной зеленой окраской, хорошо растут и кустятся, нормально формируют репродуктивные органы. В условиях избыточного азотного питания, особенно во второй половине вегетации, задерживается созревание растений, они формируют большую вегетативную массу, но мало зерна, клубней и корнеплодов. Увеличение содержания в них азотистых веществ отрицательно сказывается на хозяйственной ценности урожая. Например, при избыточном азотном питании в конце вегетации в корнях сахарной свеклы накапливается много небелковых азотных соединений, из-за чего снижается содержание сахара. Как отмечалось, при избыточном азотном питании в растениях накапливаются опасные для людей и животных дозы нитратов.

Качество растениеводческой продукции зависит и от вида азотных соединений, усваиваемых растениями. При аммиачном (NH_4^+) питании повышается восстановительная способность растительной клетки, больше образуются восстановленных органических соединений, при нитратном (NO_3^-) питании, наоборот, преобладает окислительная способность клеточного сока, больше образуется органических кислот. Д. Н. Прянишников и его ученики доказали, что аммиачный и нитратный азот при определенном сочетании внешних и внутренних условий могут быть равноценными источниками питания растений.

Отношение растений к аммиачному и нитратному азоту зависит от реакции среды, концентрации в почве солирующих катионов, анионов и зольных элементов (фосфора, серы, калия, микроэлементов), концентрации в почвен-

ном растворе кальция, магния, аммонийных и нитратных солей, обеспеченности растений углеводами и биологическими особенностей культуры. При нейтральной реакции аммиачные соли усваиваются растениями лучше, а при кислой — хуже, чем нитратные. При аммиачном питании положительно влияет на урожай повышенная концентрация в питательном субстрате кальция, магния и калия, а при нитратном питании важное значение имеет достаточное обеспечение растений фосфором и молибденом.

Отрицательное влияние избыточной концентрации аммиачного азота в растворе наиболее вероятно при внесении азотных удобрений в рядки при посеве. Поэтому для внесения одновременно с севом лучше использовать нитратные, а не аммиачные формы удобрений и вносить их небольшими дозами.

5.2.2. СОДЕРЖАНИЕ И ФОРМА АЗОТА В ПОЧВЕ И ИХ ПРЕВРАЩЕНИЕ

Основная часть азота (94–95%) находится в почве в виде сложных органических соединений. В пахотном слое (25 см) почв разных видов количество его колеблется в широких пределах — от 0,05 до 0,5% и зависит от содержания в них органических веществ: больше азота в мощных черноземах, меньше — в бедных гумусом дерново-подзолистых почвах.

В пределах одной почвенной зоны количество азота в почвах также сильно различается в зависимости от их гранулометрического состава. В дерново-подзолистых супесчаных почвах содержится в среднем 0,05–0,07% азота, суглинистых — 0,1–0,2, глинистых — 0,1–0,23%, в торфяных — 0,6–1%. Общие запасы азота в пахотном слое 1 га могут колебаться от 1,5 т (супесчаная дерново-подзолистая) до 15 т (мощный чернозем).

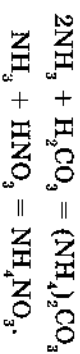
Однако снабжение сельскохозяйственных растений азотом зависит не от общего его количества в почве, а от содержания усваиваемых растениями минеральных соединений. Но только около 1% азота почвы находится в легкоусвояемых минеральных формах (нитратной и обменной аммония).

Наряду с обменным аммонием в почве присутствует фиксированный аммоний, который не извлекается из почвы 1 М раствором KCl. В пахотном горизонте дерново-

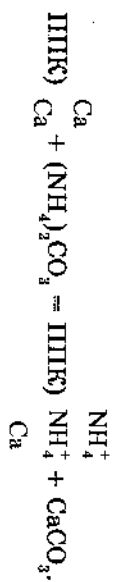
подзолистых почв его содержится от 20 до 60 мг в 1 кг почвы (в пересчете на N), т. е. на фиксированный аммоний приходится 2–5% общего азота почвы. В почвах связанного гранулометрического состава в нижних горизонтах почвенного профиля содержание фиксированного аммония составляет уже 12–20% общего. Фиксация ионов NH_4^+ обуславливается взаимодействием их в межпачетные промежутки кристаллической решетки почвенных глинистых минералов (вермикулита и др.) с последующим проникинанием в тектонические пустоты в сетке кислородных атомов тетраэдрических слоев. Часть фиксированного аммония может быть доступна растениям: та его фракция, которая не является структурным элементом решетки.

Таким образом, так как только 1% азота содержится в легкоусвояемых формах, а остальная часть минерального азота (3–5% общего) находится в фиксированной (недоступной) форме, то нормальное снабжение растений азотом зависит от скорости минерализации азотистых органических веществ. В общем виде разложение последних происходит так: белки, гуминовые вещества → аминокислоты, амиды → аммиак → нитриты → нитраты → молекулярный азот.

Процесс разложения органических азотсодержащих веществ почвы до аммиака называется **аммонификацией**. Он осуществляется многочисленными аэробными и анаэробными почвенными микроорганизмами, бактериями, актиномицетами и плесневыми грибами. Они выделяют протеолитические ферменты, под воздействием которых белковые вещества распадаются до аминокислот. Последние легко усваиваются микроорганизмами и под действием ферментов микробных клеток (дезаминаз и дезамидаз) подвергаются дезаминированию и дезамидированию: от аминно- и амидосоединений отщепляется аммиак и образуются различные органические кислоты, которые в свою очередь разлагаются до простейших соединений — CO_2 , H_2O , H_2 , CH_4 . Выделившийся аммиак (NH_3) образует соли с соответствующими органическими и минеральными кислотами (угольной, азотной, муравьиной, уксусной и др.), которые также получают при минерализации органического вещества почвы:

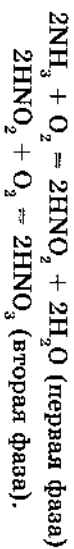


Аммоний поглощается почвенными коллоидами:

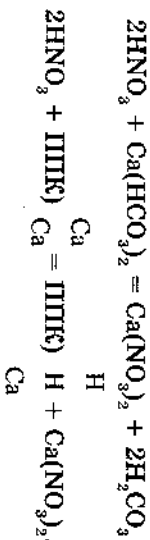


Аммонификация происходит во всех почвах, при разной реакции среды, в присутствии воздуха и без него, но в анаэробных условиях при сильных кислотах и щелочной реакции резко замедляется. На скорость аммонификации влияют также температура и влажность почвы, другие факторы. В анаэробных (безкислородных) условиях азотистые органические вещества разлагаются до аммиака. В аэробных условиях соли аммония окисляются до нитратов.

Процесс нитрификации выполняется группой специфических аэробных бактерий, для которых окисление аммиака является источником энергии. С. В. Виноградским установлено, что в окислении аммиачных солей до азотистой кислоты (первая фаза) принимают участие бактерии рода *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis* и *Nitrosospira*, а до азотной кислоты (вторая фаза) — бактерии рода *Nitrobacter*. Нитрификацию можно описать следующими уравнениями:



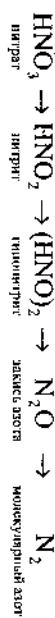
Нитратная форма азота при соответствующих условиях может хорошо поглощаться растениями. Образовавшаяся в почве в результате нитрификации азотная кислота нейтрализуется бикарбонатом кальция или магния или поглощенными основаниями почвы:



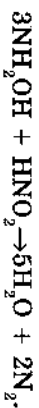
Нитрификация протекает интенсивно при хорошем доступе воздуха, 60–70%-ной влажности почвы, температуре 25–32 °С и рН КСl 6,2–8,2. Ранней весной из-за низких температур и переувлажнения почвы эти процессы протекают медленно. По мере прогревания почвы количество нитратов увеличивается, летом оно бывает максимальным, а осенью снова убывает. Известкование кислых почв,

систематическое внесение органических и минеральных удобрений способствуют активизации деятельности микроорганизмов и тем самым большей минерализации органического вещества с образованием усвояемых соединений азота.

Однако образующиеся в процессе нитрификации нитраты, будучи подвижными соединениями, могут вымываться из почвы, а также подвергаться денитрификации — образованию газообразных форм азота (NO , N_2O и N_2), в результате чего также теряется азот почвы. В денитрификации участвует обширная группа бактерий-денитрификаторов (*Bact. denitrificans*, *Bact. stutzeri*, *Bact. fluorescens* и др.). Этот процесс идет особенно интенсивно, если почва имеет щелочную реакцию, содержит мало воздуха, но в избытке имеет органическое вещество с большим содержанием клетчатки. В восстановлении нитратов до нитритов участвует фермент нитратредуктаза, а в дальнейшем восстановлении нитритов — нитритредуктаза. Восстановление нитратов денитрифицирующими бактериями идет через ряд промежуточных этапов.

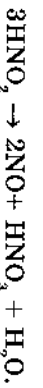


Основными газообразными продуктами биологической денитрификации являются молекулярный азот и закис азота, улетучивающиеся из почвы. Кроме того, потери азота происходят из-за косвенной денитрификации или хемоденитрификации, т.е. из-за химического восстановления нитратов, образующихся в ходе нитрификации. В хемоденитрификации участие микроорганизмов ограничено разложением органического азотистого вещества до аминокислот, аммиака и азотистой кислоты. Вступая между собой в реакцию, эти соединения восстанавливают свой азот до молекулярного. Последний образуется также при химическом взаимодействии таких промежуточных продуктов окисления в процессе нитрификации, как гидроксимин и азотистая кислота:



Восстановление нитратов до NO , N_2O и N_2 возможно и при реакции их с почвенными органическим веществом, сохранившим фенольные и хинонные группы, и при взаимодействии с ионами некоторых тяжелых металлов (Mn^{2+} , Fe^{2+}). Кроме того, азотистая кислота, будучи очень нестой-

кой, в кислых почвах ($\text{pH KCl} < 5$) легко разлагается с образованием азотной кислоты и окиси азота (NO), а последние улетучиваются из почвы:



Всего в результате денитрификации теряется от 15 до 30% азота, вносимого с удобрениями.

Как показали последние исследования, азот в газообразной форме теряется также при аммонификации и нитрификации.

Одновременно с минерализацией органического вещества, нитрификацией и денитрификацией в почве происходят обратные процессы — из минеральных вновь образуются органические соединения азота, усваиваемые растениями. Микроорганизмы углеводы и азот переводят в белок плазмы своих тел. Схема трансформации азота в почве приведена на рис. 5.1. При отмирании и разложении микроорганизмов белковый азот частично снова переходит в минеральную форму (NH_4^+), а часть его в процессе гумификации микробного белка включается в состав образующихся в почве гумусовых веществ. Процессы мобилизации и иммобилизации азота протекают в почве одновременно. Их интенсивность и соотношение между ними в значительной степени определяют азотный режим почвы и условия азотного питания растений.

5.2.3. КРУГОВОРОТ И БАЛАНС АЗОТА В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Образуясь в почве минеральные соединения азота не накапливаются в ней в больших количествах, так как потребляются растениями, а также используются микроорганизмами и частично снова превращаются в органическую форму. Внесение азотных удобрений не только значительно увеличивает содержание азота в почве, но и способствует усилению минерализации органического азота. Как показали исследования, проведенные с использованием стабильного изотопа азота ^{15}N в полевых условиях, растения усваивают непосредственно из удобрений 40–50% азота. В органической форме в почве закрепляются 10–20% азота нитратных и 30–40% аммиачных, аммонийных соединений и мочевины. Превращение азота в органические формы резко возрастает при запашке в почву органических веществ с низким содержанием азота (пожнивные

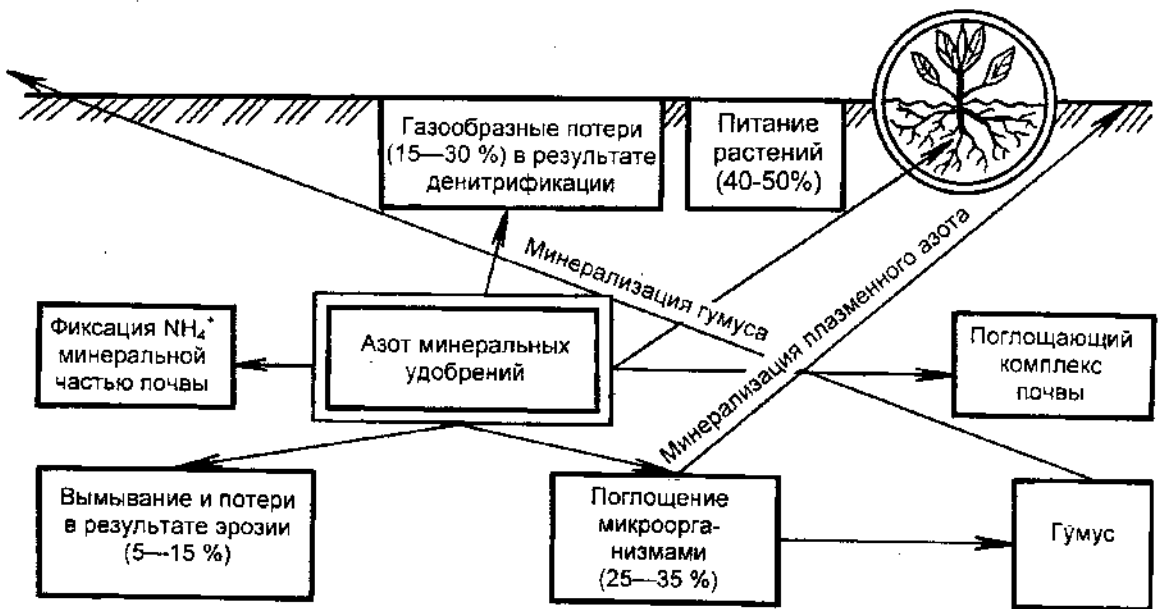


Рис. 5.1. Схема трансформации азота минеральных удобрений в почве.

растительные остатки, солома злаковых и соломистый навоз). Закрепленный азот медленно минерализуется и слабо усваивается растениями, поэтому действие азотных удобрений в последующие годы незначительно — 2–3%.

Для закрепления нитратного азота в почве особое значение имеет биологическое его поглощение (микрорганizмами, растениями). Нитраты могут вымываться из корнеобитаемого слоя осадками, дренажными водами. Из тяжелых почв обычно вымывается их немного — с 1 га в среднем 3–5 кг. из легких, особенно если это пар, — до 20–30 кг. В основном теряется газообразный азот. Потери азота из аммиачных удобрений составляют около 20%, нитратных — до 30% от внесенного. Потери азота из удобрений на парах значительно больше — до 40–50%.

Для снижения потерь азота почвы и удобрений из-за денитрификации и вымывания нитратов используются ингибиторы, которые тормозят нитрификацию, тем самым минеральный азот почвы и удобрений сохраняется в аммонийной форме. Особенно эффективны ингибиторы на легких, достаточно увлажненных почвах.

При поверхностном внесении твердых аммонийных удобрений и мочевины могут теряться и аммиачные формы азота, особенно на карбонатных и произвесткованных почвах. Однако при своевременной и правильной заделке удобрений в почву потерь удается избежать.

Азот в почве пополняется за счет органических и минеральных удобрений, биологического азота, азота атмосферных осадков, азота, поступающего с семенами. В настоящее время в Беларуси с органическими удобрениями в почву возвращается только 35–40% азота, выносимого возделываемыми культурами.

Связывание молекулярного азота воздуха для пополнения запасов азота в почве происходит двумя способами. Наибольшее количество связанного азота образуется в атмосфере во время грозных разрядов и в форме азотистой и азотной кислот поступает в почву с осадками (до 3–5 кг на 1 га). Второй способ — усвоение азота воздуха азотфиксирующими микроорганизмами почвы (азотобактер, клубеньковые и др.), ризоферными микроорганизмами (ассоциативная азотфиксация), клубеньковыми бактериями, живущими на корнях бобовых. На основе азотфиксатора (свободноживущего азотфиксатора) методами генной инженерии в Институте генетики и цитологии АН Республики Беларусь создан бактериальный препарат ризофил. В по-

сударственных испытательных этот препарат при замене 21% азота удобрений биологически фиксированным азотом повышал урожайность томатов и огурцов в среднем на 26%.

Объемы биологического азота, продуцируемого свободноживущими микроорганизмами почвы, весьма значительны и в зависимости от количества органических удобрений и корневых и пожнивных остатков растений, почвенно-климатических условий могут составлять 15–50 кг/га и более. Основная масса биологического азота остается в почве и включается в состав гумуса.

Высокие дозы минеральных удобрений (более 60 кг/га) резко снижают продуктивность свободнорастворимых микроорганизмов. Депрессия длится 2–2,5 мес после внесения удобрений, затем уровень азотфиксации восстанавливается. В почвах с высоким содержанием гумуса (больше 2,5%) депрессия не наблюдается.

Улучшить азотное питание бобовых культур (кукуруза, пшеница, ячмень, многолетние злаковые травы и др.) способны ассоциативные азотфиксаторы, прежде всего таковой их вид, как азоспирилла. Эти микроорганизмы размещаются в верхних слоях корней растений и в благоприятных условиях могут обеспечить до 45% потребности растений в азоте. Оптимизируя свойства почвы и внося органические удобрения, продуктивность природной популяции ассоциативных азотфиксаторов (без внесения их в виде бактериальных удобрений) можно повысить в 2–4 раза. Бактериальные удобрения на основе азоспириллы в опытах ВелНИИПА в среднем за три года дали прибавку урожайности ячменя 5,8 ц/га и 10 ц/га семя многолетних трав. В ряде случаев обработка семян ячменя препаратом на основе азоспириллы была активнее действия 30–60 кг/га минерального азота.

Значительно больше, чем ассоциативные азотфиксаторы, значение для пополнения почвы азотом имеют клубеньковые бактерии, живущие в симбиозе с бобовыми растениями. Интенсивность симбиотической азотфиксации зависит от вида и урожайности бобовых растений. Так, биологическая масса клевера на 1 га накапливает до 150–160 кг азота, люпина — 100–170, люцерны — 250–300, гороха, вики и фасоли — 70–80 кг. Примерно треть связанного бобовыми азота остается в пожнивных и корневых остатках и после минерализации может использоваться последующими культурами. В среднем на 1 т семя клевера в корневых и пожнивных остатках содержится и поступает

в почву 10-15 кг/га азота, сена многолетних бобово-злаковых трав - 6, зеленой массы люпина - 1 кг/га азота.

Для повышения азотфиксирующей способности бобовых культур применяют бактериальное удобрение ризогорфин. По данным БелНИИПА, обработка семян бобовых ризоторфином дает прибавку зерна бобовых культур (люпина, гороха, вики, кормовых бобов) 1,5-3 ц/га, сена клевера - 2-5, люцерны - 5-12 ц/га. Более эффективен ризоторфин на легких почвах, в которых менее активна природная популяция азотфиксаторов. Гранулированный ризоторфин, освоенный промышленностью, на крупносемянных бобовых культурах на 10-12% эффективнее, чем по рожковидная форма препарата. Доза гранулированного ризоторфина для мелкосемянных культур - 2, крупносемянных - 10 кг/га.

В хозяйствах республики проводят испытание сапропелевая форма препарата (сапропелевый нитрагин). В ряде случаев он эффективнее, чем ризоторфин. Особенно положительно он влияет на семенную продуктивность и содержание белка в растениях.

Активизация биологической азотфиксации способствует известкование кислых почв, оптимизация фосфорного и калийного питания растений, внесение физиологически оправданных доз минерального азота или его полное исключение. Оптимальными для люцерны, клевера, гороха, вики, кормовых бобов является пятая-шестая группы кислотности, для люпина и сераделлы - третья-четвертая. Наиболее эффективен ризоторфин на почвах четвертой-пятой групп по обеспеченности фосфором. Максимальную прибавку от ризоторфина бобовые культуры дают при внесении 20-40 кг/га минерального азота, при увеличении дозы до 60 кг/га она была выше меньше и практически отсутствовала при внесении 90-120 кг/га азота. Поэтому при интенсивной системе земледелия внесение азотных удобрений под бобовые культуры, как правило, не рекомендуется.

Несмотря на значительную фиксацию азота бобовыми культурами, в среднем этот источник азотного питания пока невелик - 4-6 кг/га в расчете на всю посевную площадь республики. Суммарное поступление азота из рассмотренных источников не компенсирует вынос его урожаями, потери от вымывания, эрозии и денитрификации. Поэтому для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур и повышения качества продукции боль-

шое значение имеет внесение в почву минеральных азотных удобрений.

5.2.4. КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Азотные удобрения в зависимости от содержащейся в них формы азотного соединения (нитратная, аммонийная, амидная и т.д.), подразделяются на шесть групп: *нитратные* (натриевая и калийная селитры); *аммонийные* (сульфат аммония, хлористый аммоний); *аммонийно-нитратные* (аммиачная селитра); *амидные* (мочевина); *амидные* (безводный аммиак, аммиачная вода); *карбамид-аммонийно-нитратные* (карбамид-аммиачная смесь - КАС).

Производство азотных удобрений основано главным образом на получении синтетического аммиака из молекулярного азота и водорода. Азот получают, пропуская воздух через генератор с горящим коксом. Источником водорода служит природный газ, нефтяные и коксовые газы. Из смеси азота и водорода (в соотношении 1:3) при высокой температуре и давлении в присутствии катализаторов получают аммиак:



Синтетический аммиак идет не только на производство аммонийных азотных удобрений, но и азотной кислотой, которая в свою очередь является сырьем для аммонийно-нитратных и нитратных удобрений.

В республике может производиться 577 тыс. т азотных удобрений, что составляет 65% от потребности. В среднем за 1986-1990 гг. ежегодно вносились 693 тыс. т д.в. азотных удобрений, или 88 кг на 1 га пашни.

Экономический кризис в сельском хозяйстве обусловил резкое уменьшение ежегодного применения удобрений, в том числе и азотных. Внесение их в 1995 г. составило 151 тыс. т д.в. или 29 кг на 1 га пашни. Однако в республике мер, принятых государством, в последние годы применение удобрений стабилизировалось и начинает расти. Уже в 1998 г. в республике было внесено 330 тыс. т д.в. азотных удобрений, что составило 55 кг на 1 га пашни.

Основными формами азотных удобрений, выпускающихся в республике, являются мочевина, КАС, сульфат аммо-

NH_4^+ , чем анионы SO_4^{2-} . При его нитрификации в почве образуется HNO_3 , освобождается H_2SO_4 . Эти кислоты подкисляют почвенный раствор и вытесняют основания из почвенного поглощающего комплекса. При систематическом применении сульфата аммония, особенно на малобуферных и слабобуферных дерново-подзолистых почвах, повышается актуальная, обменная и гидролитическая кислотность, уменьшается степень насыщенности почв основаниями, увеличивается содержание подвижных форм алюминия и марганца. В результате ухудшаются условия роста растений и снижается эффективность удобрений. Особенно сильно подкисляющее действие сульфата аммония сказывается на кукурузах, чувствительных к почвенной кислотности: клевер, пшеница, ячмень, свекла и капуста, для них это удобрение менее эффективно, чем нитраты. Отрицательное влияние сульфата аммония устраняется известкованием кислых дерново-подзолистых почв и обильной заправкой органическими удобрениями. Для кукурузы, положительно реагирующих на серу (капуста, картофель, рапс), сульфат аммония благодаря присутствию в нем серы является одним из лучших азотных удобрений.

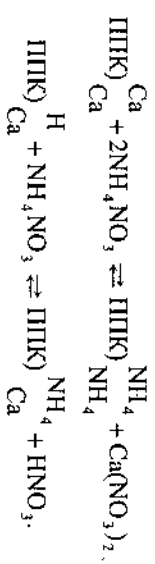
5.2.4.3. Аммонийно-нитратные удобрения

Аммиачная селитра NH_4NO_3 содержит 34–35% азота. Получается нейтрализацией азотной кислоты аммиаком. Белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде. Выпускается в гранулированном виде, поэтому сокращает хорошую сыпучесть и раскисняемость. Варьюпасна. Хранить ее необходимо в сухом помещении, оборудованном противопожарными средствами. Потребности республики в этом виде удобрений удовлетворяются не полностью.

В аммиачной селитре удачно сочетаются быстродействующий нитратный азот с менее подвижным аммонийным. Из раствора NH_4NO_3 растения быстрее поглощают катион NH_4^+ , чем анион NO_3^- , поэтому аммиачная селитра физиологически кислее удобрения, однако подкисляющее действие ее на почву выражено слабее, чем сульфата аммония. На кислых почвах на 1 ц аммиачной селитры следует добавлять 0,75 ц карбоната кальция.

В почве аммиачная селитра взаимодействует с почвенным поглощающим комплексом, катион NH_4^+ хорошо по-

глощается почвой, а анион NO_3^- остается в почвенном растворе, сохраняя высокую подвижность:



На почвах, насыщенных основаниями, в растворе образуются азотнокислые соли кальция (или магния) и почвенный раствор не подкисляется даже при систематическом внесении высоких доз удобрений. Для этих почв аммиачная селитра — одно из лучших азотных удобрений.

На кислых дерново-подзолистых почвах, содержащих в поглощенном состоянии мало кальция и много ионов водорода, в почвенном растворе образуется азотная кислота, вследствие чего он подкисляется. Однако подкисление это неолговерменно, так как оно исчезает по мере потребления нитратного азота растениями. Для повышения эффективности аммиачной селитры на кислых почвах большое значение имеет их известкование. После известкования аммиачная селитра пригодна для разных типов почв и под все культуры севооборота, но наиболее эффективно весеннее поверхностное подкормки аммиачной селитрой зерновых, сенокозов и пастбищ. Можно применять ее и для подкормки пропашных, овощных, плодовых и ягодных культур с обязательной заделкой в почву. Под яровые аммиачную селитру в виде основного удобрения вносят весной во время предпосевной культивации во избежание потерь азота от вымывания.

5.2.4.4. Амидные удобрения

Мочевина (карбамид) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ содержит 46% азота, это самое концентрированное твердое азотное удобрение. Получают синтезом из аммиака и диоксида углерода при высоких давлениях и температуре:



Белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде. Гигроскопичность кристаллической мочевины при температуре до 20 °С сравнительно небольшая, но с повы-

Пониже температуры заметно растет и при хранении мочет слезживаться. Поэтому сейчас мочевина вытускается в гранулированном виде с содержанием биурета (не более 1%), который в небольших концентрациях не оказывает вредного влияния на растения. Ежегодная потребность сельского хозяйства респубрики в карбамиде — 280 тыс. т д.в. Удовлетворяется на 75% (210 тыс. т).

В почве мочевина полностью растворяется почвенной влагой и под влиянием уробактерий, выделяющих фермент уреазу, за два-три дня аммонифицируется и превращается в углекислый аммоний:



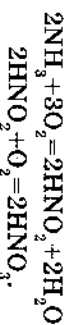
Углекислый аммоний как соединение, непрочное на воздухе, разлагается с образованием бикарбоната аммония и аммиака:



Поэтому при внесении мочевины без заделки в почву, если нет осадков, часть азота (аммиак) может теряться. Эти потери больше на почвах с нейтральной и щелочной реакциями. В почве углекислый аммоний подвергается гидролизу с образованием бикарбоната аммония и гидрокиси аммония NH_4OH :



Образующийся при внесении мочевины в почву аммоний поглощается коллоидной фракцией и постепенно усваивается растениями. Установлено, что мочевина может поглощаться корнями, а также листьями растений без предварительного превращения в углекислый аммоний. Однако пока она не подверглась аммонификации, она может вымываться из почвы. По мере аммонификации мочевина возможно временно локальное подщелачивание почвы из-за гидролиза углекислого аммония. С течением времени аммоний подвергается нитрификации, образуя азотную кислоту и даявая реакцию в сторону подкисления:



Таким образом, мочевина является биологически кислым удобрением. Однако после усвоения азота мочевины

116

растениями в почве не остается ни щелочных, ни кислотных остатков.

Мочевина оказывает примерно такое же действие на урожай сельскохозяйственных культур, как и аммиачная селитра, но лучший эффект дает при внесении с заделкой в почву. Поверхностные подкормки озимых культур, лугов и пастбищ менее эффективны по сравнению с аммиачной селитрой из-за потерь аммиака, а также более медленного действия мочевины, чем аммиачной селитры. Поэтому мочевину как при основном внесении, так и при подкормке следует сразу заделывать в почву. Эффективны также некорневые подкормки зерновых культур в период вегетации, особенно при возделывании их по энергосберегающим технологиям, 10–15%-ными растворами мочевины с добавлением ретардантов, гербицидов и пестицидов.

5.2.4.5. Аммиачные удобрения

К жидким аммиачным удобрениям относятся безводный аммиак и аммиачная вода.

Безводный жидкий аммиак NH_3 является самым концентрированным и самым дешевым удобрением, содержит 82,3% азота. Получается сжижением газообразного аммиака под давлением. Бесцветная, подвижная жидкость, плотность 0,61 т/см³ при 20 °С, температура кипения — 34 °С. При хранении в открытых сосудах NH_3 быстро испаряется. Безводный аммиак обладает высокой упругостью паров, поэтому его хранят и транспортируют в стальных цистернах, выдерживающих высокое давление — порядка 30–32 атм. Он хорошо используется растениями и по эффективности не уступает твердым азотным удобрениям. Аммиак поглощается почвой и не вымывается, поэтому его можно вносить осенью или весной.

Внесенный в почву безводный аммиак превращается из жидкости в газ, который адсорбируется коллоидной фракцией и поглощается почвенной влагой, образуя гидроксид аммония. Взаимодействуя с анионами почвенного раствора, аммоний образует различные соли и, вступая в физико-химическое взаимодействие с почвенными коллоидами, поглощается твердой частью почвы. Одновременно с физико-химическими превращениями аммиак подвергается нитрификации.

Скорость и степень поглощения аммиака почвой зави-

117

сипт от содержания в ней гумуса, гранулометрического состава и влажности, а также от способа и глубины заделки удобрения. На тяжелых, богатых органическими веществами, хорошо обработанных и нормально увлажненных почвах аммиак поглощается лучше, чем на легких, бедных гумусом почвах. В песчаных и супесчаных почвах образование аммонийных солей из аммиака и адсорбция иона аммония происходит медленнее, чем в тяжелых почвах. Из-за этого на легких почвах удобрение продолжает в течение времени сохраняться в виде NH_3 и может улетучиваться. Из влажной почвы аммиак улетучивается меньше, чем из сухой. В течение 12–15 дней после внесения аммиак подщелачивает, а затем (после перехода аммиака в нитраты) подкисляет почву. Для нейтрализации 1 ц безводного аммиака требуется 1,5 ц карбоната кальция (CaCO_3).

Чтобы избежать потерь азота, безводный аммиак заделывают на глубину 12–16 см на дерново-подзолистых сульфидных и на глеевую 16–20 см на супесчаных почвах. Для внесения используют специальные машины АВА-0,5М, АВА-1, АВА-2 и другие в агрегате с культиватором КРН-4,2. Безводный аммиак можно вносить и в качестве основного удобрения, и в подкормку с обязательной заделкой в почву.

Водный аммиак, или аммиачная вода, содержит 20,5% азота в форме NH_3 и NH_4OH , причем аммиака содержится значительно больше, чем аммония. Улетучиванием аммиака и объясняются потери азота при перевозке, хранении и внесении. Поэтому хранят и транспортируют аммиачную воду в стальных герметических цистернах. Во избежание потерь аммиака аммиачную воду заделывают на глубину 10–12 см на сульфидных и 12–15 см на супесчаных почвах. Как и безводный аммиак, она подкисляет почву. Для нейтрализации 1 ц аммиачной воды требуется 0,3–0,4 ц карбоната кальция. На сырых почвах аммиачную воду, как и безводный аммиак, можно вносить и осенью в качестве основного удобрения практически под все культуры при температуре почвы ниже $+10^\circ\text{C}$, и весной перед посевом. На почвах легкого гранулометрического состава эти удобрения желательно вносить весной.

Аммиачную воду вносят специальными машинами (ПОВ) с приспособлением УЛП-8 для заделки в почву. Учитывая, что аммиак в почве перемещается на 8–10 см, для культур сплошного сева расстояние между сопниками (наковенчиками) при внесении аммиачных удобрений

должно быть не более 20–22 см, а для пропашных культур должно равняться ширине одного междурядья. Наиболее эффективно внесение этих удобрений вместе с органическими. Нельзя вносить аммиачные удобрения на одном участке несколько лет подряд, так как они усиливают минерализацию органического вещества, что может привести к снижению содержания последнего в почве.

5.2.4.6. Карбамид-аммонийно-нитратные удобрения

КАС представляет собой раствор карбамида и аммиачной селитры, содержащий 28–32% азота. Является одним из перспективных удобрений. Промышленность выпускает три формы: КАС-28, КАС-30 и КАС-32 в зависимости от содержания азота (соответственно 28, 30 и 32%). В отличие от безводного аммиака и аммиачной воды КАС не содержит свободного аммиака и поэтому более технологична. Кроме того, достоинствами КАС являются: низкие трудовые затраты на производство и применение по сравнению с другими жидкими и твердыми азотными удобрениями, наибольшая себестоимость оборудования, высокая точность дозирования, отсутствие потерь азота при поверхностном внесении, равномерность распределения и др. В результате рентабельность применения КАС выше, чем других азотных удобрений.

Растворы КАС — не только хорошее однокомпонентное азотное удобрение. На их основе могут быть приготовлены комплексные удобрения, в состав которых входят микроэлементы. Это открывает широкую возможность их использования при возделывании сельскохозяйственных культур по интенсифицированной технологии, а также садоводами-любителями. КАС можно использовать под все сельскохозяйственные культуры как в качестве основного удобрения, так и для подкормки зерновых и других культур. В первом случае возможно поверхностное сплошное внесение, локальное (ленточное) с последующей заделкой в почву и внутрипочвенное локальное.

Хранить растворы КАС можно в течение шести месяцев в металлических емкостях. Для предупреждения кристаллизации смеси и коррозии металла в нее добавляют фосфат аммония или жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) марки (10:34:0) из расчета 0,2% P_2O_5 . Для поверх-

постного внесения КАС используют широкозахватные штанговые опрыскиватели ОПШ-15, ПОМ-630, ОП-2000, ПЖУ-6, а для локального внутривидевого — машины ПЖУ-2,5, ПЖУ-5 и др.

5.2.5. МЕДЛЕННОДЕЙСТВУЮЩИЕ АЗОТНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Медленнодействующие азотные удобрения — это плохо растворимые в воде соединения, азот которых медленно переходит в усвояемую растениями форму, постепенно испаряется ими в течение вегетации и не теряется из почвы. Наиболее распространены медленнодействующим удобрением является мочевиноформальдегидное удобрение (МФУ). Получается реакцией конденсации мочевины с формальдегидом. Содержит от 33 до 42% общего азота, в том числе 3–10% водорастворимого. Выпускается в виде порошка и гранул. Пригодно для использования под зерновые культуры и лен, под все культуры при орошении и на легких почвах. Из-за высокой стоимости широко не применяется.

В настоящее время БелНИИПА, Белорусским технологическим институтом, АН Беларуси и Гродненским ПО “Азот” разработаны и испытаны новые формы азотных удобрений с замедленной скоростью растворения, которые по эффективности не уступают МФУ, а некоторые и значительно превосходят его:

карбамид с фосфатным покрытием — медленнодействующее азотное удобрение, содержит не менее 39% азота и не более 7% P_2O_5 . Растворяется в воде в полтора раза дольше, чем карбамид без покрытия;

карбамид с полимерным покрытием содержит не менее 42% азота, растворяется в воде вдвое дольше стандартной мочевины;

сульфат аммония с полимерным покрытием содержит 20% азота и 24% серы, растворяется в воде более чем в три раза дольше, чем сульфат аммония без полимерного покрытия;

азотсеракальциевое удобрение получают прессованием карбамидом с фосфогипсом; содержание азота — не менее 30%, серы — не менее 7%;

карбамид с гуминовой оболочкой содержит 46% азота. Стагическая прочность гранул несколько выше, чем у стандартного удобрения без гуминов. Положительный эффект от удобрения достигается включением в состав оболочки биологического стимулятора роста — оксигумата или гидрогумата.

Защитные оболочки этих удобрений позволяют снизить потери азота от вымывания, повысить степень его использования растениями и тем самым способствуют росту урожайности сельскохозяйственных культур.

Таким образом, новые формы медленнодействующих азотных удобрений должны найти широкое применение в сельскохозяйственном производстве республики, а производство азотсеракальциевого удобрения перспективно еще и потому, что решает проблему использования фосфогипса на Гомельском химическом заводе.

Вопросы для самоконтроля

1. Какую роль играет азот в земледелии?
2. В каком количестве и в форме каких соединений находится азот в почве?
3. Что такое аммонификация, нитрификация и денитрификация? Каковы оптимальные условия (температурный и водно-воздушный режимы, реакция почвы) для этих процессов?
4. Как предупредить или снизить потери азота из почвы?
5. Расскажите о круговороте азота в земледелии.
6. Как классифицируются азотные удобрения? Назовите их виды, расскажите о составе, свойствах и особенностях применения.
7. От чего зависит эффективность азотных удобрений?