

Н. Ф. Капустин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: npcter@yandex.ru*

АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ АЗОТА И ФОСФОРА В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ПРОЦЕССЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Аннотация. В статье рассмотрены агротехнические мероприятия и оборудование для их реализации, обеспечивающие снижение потерь азота и фосфора в окружающую среду, такие как бесплужная обработка почвы, обработка почвы с глубоким рыхлением, прямой посев, минимальная обработка почвы, комбинированный посев, дифференцированное поверхностное ленточное и внутрипочвенное внесение удобрений, заделка удобрений и известкование почвы.

Ключевые слова: азот, фосфор, потери, окружающая среда, бесплужная обработка почвы, прямой посев, дифференцированное внесение удобрений, внутрипочвенное и поверхностное внесение удобрений, известкование почвы, заделка удобрений.

N. F. Kapustin

*SUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: npcter@yandex.ru*

AGROTECHNICAL MEASURES TO REDUCE LOSSES OF NITROGEN AND PHOSPHORUS INTO THE ENVIRONMENT DURING AGRICULTURAL ACTIVITIES

Abstract. The article discusses agrotechnical measures and equipment for their implementation, ensuring a reduction in the loss of nitrogen and phosphorus into the environment, such as: plowless tillage, tillage with deep loosening, direct sowing, minimal tillage, combined sowing, differentiated surface band and subsoil application fertilizers, incorporation of fertilizers and liming of the soil.

Keywords: nitrogen, phosphorus, losses, environment, plowless tillage, direct sowing, differentiated application of fertilizers, subsoil and surface application of fertilizers, liming of soil, incorporation of fertilizers.

Введение

Азот и фосфор являются биогенными элементами, входящими в состав клеток всех видов организмов, в том числе наземных растений.

Азот входит в состав таких жизненно важных веществ, как аминокислоты и хлорофилл, а также таких органических соединений, как алкалоиды, гликозиды и др. Поступившие в растения минеральные формы азота проходят сложный цикл превращений, в конечном итоге включаясь в состав органических соединений.

Фосфор содержится в растениях в значительно меньших количествах, чем азот, но является не менее важным для жизнедеятельности растений биогенным элементом. Фосфор выступает в роли спутника азота, при его недостатке в растении усиливается накопление нитратных форм азота. Этот элемент называют «ключом жизни», так как без фосфорной кислоты не может существовать ни одна живая клетка. При участии фосфора происходит углеводный обмен. Фосфорная кислота активно взаимодействует с углеводами и эти соединения играют огромную роль в процессах дыхания и фотосинтеза. Фосфор, поступающий в растения, способствует накоплению крахмала, сахаров, красящих и ароматических веществ.

В то же время сельское хозяйство является крупнейшим антропогенным источником питательных веществ, который в значительной мере способствует деградации окружающей среды, изменению климата, загрязнению и эвтрофикации водных ресурсов. Эвтрофикация вызывает ряд негативных изменений флоры и фауны и приводит к большим социальным и экономическим потерям. С химически активным азотом, поступающим в биосферу от сельскохозяйственного производства, связаны следующие нежелательные последствия:

- подкисление озер, рек и почвы из-за осаждения NH_3 и NO_x ;
- загрязнение грунтовых вод и питьевой воды из-за NO_3 выщелачивания;
- эвтрофикация поверхностных вод из-за обогащения азотом и последующее цветение токсичных водорослей;
- ухудшение здоровья людей вследствие образования в воздухе взвешенных частиц и аэрозолей из-за NH_3 ;
- повреждение растений из-за NH_3 и NO_x , вызывающих образование озона;
- глобальное потепление из-за эмиссии N_2O ;
- разрушение стратосферного озона, вызванного N_2O .

Существенной экологической проблемой могут стать также диффузные потери фосфора с сельхозугодий в воду. Во многих водосборах сельское хозяйство является главным источником фосфора в поверхностных водах. Излишек фосфора потенциально опасен для среды, в то время как его дефицит может привести к снижению урожайности сельхозкультур. Чтобы противодействовать этому предпринимаются агротехнологические и технические мероприятия, направленные на сокращение объема азотных и фосфорных соединений в водах, сбрасываемых от сельскохозяйственных источников (полей, животноводческих объектов и др.) в окружающую среду [1].

Основная часть

Сокращению вымывания азота и фосфора способствует снижение минерализации органического вещества в почве, которая зависит от метода обработки почвы.

Традиционная система обработки почвы, основанная на плужной и других механических видах обработки, разрушает естественную структуру почвы, влечет за собой пересыхание почвы и ускоряет минерализацию органического вещества. Потери органического вещества после двух десятилетий интенсивной обработки почвы могут иногда достигать до 50 %.

Сокращение обработки почвы может снизить минерализацию органического вещества в почве, что способствует сокращению вымывания нитратов. Что касается систем обработки, то можно выделить две альтернативные системы:

- а) противоэрозионная обработка почвы (без применения плуга);
- б) без обработки почвы (прямой посев) [2].

Система без применения плуга – это механическая обработка поверхности почвы без использования плуга (на глубину 10–12 см) или обработка почвы с более глубоким рыхлением почвы (до 25 см) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Агрегат почвообрабатывающий многофункциональный для бесплужной обработки почвы



Рисунок 2 – Сеялка прямого посева



Рисунок 3 – Агрегат для одновременного посева семян и внесения удобрений

В системе без применения плуга используется следующее оборудование: культиваторы с жесткими лапами (грубберы), карусельные или дисковые бороны, почвенные агрегаты, используемые для сложного шлифования и рыхления почвы. Эти устройства не переворачивают почву, но сильно разрыхляют и перемешивают ее. Около 30 % остатков урожая находятся на поверхности почвы перед посевом. Для посева семян необходимо использовать специальные сеялки, обычно с дисковыми стойками.

Система без обработки почвы – это посев семян в почву после уборки предшествующей культуры с использованием специальных сеялок для прямого посева. Основными машинами, используемыми в данной системе, являются сеялки с сошниками разной конструкции, бороны, карусельные культиваторы, комбайны (рисунок 2).

Следует отметить, что отказ от вспашки почвы с использованием систем с минимальной обработкой или без нее также способствует снижению потерь фосфора. Культивация почвы дисками или лапами, или с помощью прямой заделки в стерню (no-till) сохраняет органическое вещество в почве и поддерживает его правильную структуру. Благодаря улучшению инфильтрации и удержанию воды, суммарные концентрации фосфора в поверхностных стоках незначительны [3].

Риск вымывания азота повышается при осенней культивации из-за теплых и влажных почвенных условий, а также отсутствия активно растущей сельскохозяйственной культуры. В связи с этим более предпочтительной является весенняя культивация, при которой укоренившиеся весной культуры создают поверхностный покров и забирают минерализованный азот, снижая риск его вымывания.

Уменьшить риск смывания питательных элементов поверхностными стоками позволяет комбинированный посев с использованием агрегата для одновременного посева семян и внесения удобрений (рисунок 3).



Рисунок 4 – Разбрасыватель удобрений с оборудованием для дифференцированного внесения удобрений

Внесение химических удобрений на глубину большую, чем глубина высева семян создает хорошие условия для поглощения дополнительных питательных веществ развивающимися семенами. При этом экономится время и более эффективно используются питательные элементы. Например, фосфор из удобрений быстро связывается в глубине почвы с ее частицами, и тем самым меньше подвержен выщелачиванию.

Еще одним техническим мероприятием, контролирующим рациональное внесение удобрений на поля, является применение глобальной системы позиционирования (GPS). Применение системы позиционирования на этапах отбора проб для анализа почвы и внесения удобрений позволяет:

- сократить потребление удобрений;
- повысить эффективность впитывания удобрений растениями благодаря лучшему их распределению на поле;
- снизить потери питательных веществ;
- улучшить рентабельность удобрения при внесении на поля.

С этой целью используется разбрасыватель удобрений с оборудованием для их дифференцированного внесения на поля и соответствующей навигационно-управляющей системой (рисунок 4).

Что касается жидких органических удобрений, то они могут вноситься на поля различными способами, включая разбрасывание по поверхности земли, внутрипочвенное внесение (инъекция) и орошение дождеванием.

Наиболее эффективным методом сокращения потерь аммиака во время внесения и после него является прямая инъекция навозной жижи или жидкого навоза в почву или их распространение с использованием технологии ленточного внесения удобрения (рисунок 5).



Рисунок 5 – Техника для внутрипочвенного внесения жидких удобрений методом инъекции

Прямая инъекция может сократить выброс питательных веществ путем прямого введения навоза под поверхность почвы. Это снижает выдержку навоза на воздухе и увеличивает его инфильтрацию в почву. В этой системе могут использоваться цистерны для жидкого навоза с тремя основными типами инжекторов:

- мелкие (или с прорезями) инжекторы прорезают узкие щели в почве (как правило, 4–6 см в глубину и на расстоянии 25–30 см друг от друга), которые заполняются жидким навозом или навозной жижей;

- глубокие инжекторы заделывают жидкий навоз или навозную жижу на глубину 12–30 см в почву при помощи сошников, отстоящих друг от друга на расстоянии 50 см;

- пахотные инжекторы основаны на весенних культиваторах или культиваторах с жесткой лапой, которые предназначены только для использования на пахотных землях.

При использовании метода инъекции жидкий навоз вносится непосредственно в активный слой почвы в открытые или закрытые щели. Навоз полностью закрывается после инъекции, причем щели закрываются прикатывающими катками или роликами, закрепленными за инжекторными лапами. Для уменьшения выбросов аммиака инъекция в закрытые щели является более эффективной, чем в открытые. Чтобы получить это дополнительное преимущество, тип почвы и почвенные условия должны обеспечивать возможность эффективного закрытия щели.

Применение разбрасывателей для ленточного внесения удобрений может снизить выбросы питательных веществ из навозной жижи и жидких удобрений за счет снижения воздействия воздуха на навоз и потока воздуха над ним. В этой системе могут использоваться два основных типа машин:

- прицепной шланг – навозная жижа выпускается на уровне земли на траву или пашню через несколько гибких шлангов (возможно внесение между рядами культуры на корню);

- прицепные сошники (или бороздоделатели) – навозная жижа просто выпускается из жестких труб, на конце которых имеются металлические «башмаки», предназначенные для перемещения по поверхности почвы, разделяя культуру таким образом, чтобы наносить навозную жижу прямо на поверхность почвы.

Поскольку жидкий навоз распределяется в прицепные шланги/сошники через рампу, достигается хорошее и равномерное боковое распределение. Распределение на горизонтальном уровне можно также поддерживать постоянным с помощью насосного оборудования. Некоторые из новейших разбрасывателей снабжены системой регулирования, которая автоматически настраивает выдачу на скорость перемещения, но поддерживает норму внесения на требуемом уровне (рисунок 6).



Рисунок 6 – Поверхностное внесение жидких удобрений с помощью прицепных шлангов-понижителей



Рисунок 7 – Известкование почвы с использованием разбрасывателя

Питательные вещества лучше всего доставляются растениям из почвы с показателем кислотности pH 6,5–7,2. Даже при небольшом подкислении почвы ниже pH 6,5 поглощение некоторых питательных веществ, в том числе азота и фосфора, существенно снижается. Низкая кислотность почвы и анаэробные условия блокируют процесс нитрификации, приводя к потере газа и влияя на нестабильность нитратов и нитритов, которые в конечном итоге либо выщелачиваются, либо превращаются в молекулярный азот. Это наиболее важная причина потери азота из почвы.

Ускорить процесс разложения органического вещества и нитрификацию позволяет известкование почвы (рисунок 7), при котором ее pH достигает значения, характерного для слабокислой или нейтральной почвы.

Кроме этого, путем улучшения аэрации почвы известкование предотвращает негативные процессы денитрификации, которые приводят к потере азота.

Известкование способствует лучшему поступлению азота в растения в аммонийной форме. Регулирование pH почвы в сторону слабокислой-нейтральной является также очень важным в плане развития азотфиксирующих бактерий. Повышение pH ведет к постепенному высвобождению имеющегося фосфора, повышая тем самым его использование из удобрений и почвы. В результате известкования возрастает поглощение фосфора некоторыми растениями, например, злаками в 2–3 раза, овсом примерно на 60 % и клевером примерно на 10–20 %. Лучшее усвоение питательных элементов растениями означает, что риск их потери снижается.

Для достижения максимальной эффективности использования органических и минеральных удобрений их нужно полностью заделывать в почву после внесения на поля. Заделка органических и химических удобрений может осуществляться таким оборудованием, как плуг, дисковые или лапные культиваторы в зависимости от типа почвы и почвенных условий. Заделка обычно выполняется как отдельная рабочая операция.

Что касается жидкого навоза, то его заделку нужно осуществлять быстро после разбрасывания, поскольку потери аммония начинаются сразу же после разбрасывания. Для достижения полной заделки рекомендуется завершить ее в течение 6 ч после разбрасывания. Наиболее эффективным методом часто считается полная заделка жидкого навоза в почву путем запахивания (рисунок 8).

Однако запахивание является сравнительно медленной операцией. Поэтому в некоторых обстоятельствах использование дисковых культиваторов и культиваторных лап может быть более эффективным, поскольку навозная жижа остается открытой на поверхности лишь на короткое время. Инжекция жидкого навоза играет такую же роль, как и заделка.

Заделка твердого навоза в поверхность поля является эффективным способом снижения выбросов аммиака. Самые крупные потери аммиака происходят в течение нескольких часов после разбрасывания. Поэтому рекомендуется осуществлять заделку в течение 24 ч. Для максимального сокращения потерь навоза его нужно полностью заделать. Обычно наиболее эффективным



Рисунок 8 – Быстрая заделка навозной жижи в почву

способом заделки является вспашка. Другие методы заделки, например, использование дисковых культиваторов или культиваторной лапы, могут также быть эффективными в зависимости от характеристик навоза и почвы. Заделка возможна только перед посевом культур.

Разбросанное удобрение необходимо немедленно заделать в почву путем вспашки для того, чтобы предотвратить потери питательных веществ из-за стока, эрозии или испарения, а также чтобы удержать большую часть внесенных питательных элементов для поглощения растениями. Благодаря заделке эти питательные вещества смешиваются в поверхностном слое почвы, где корни растения способны перехватить их.

Известно, что заделка навоза предотвращает прямой поверхностный сток твердых органических частиц и фосфора, однако участки, где заделка навоза осуществлялась путем запахивания, показали более высокую потерю в почве, чем контрольные участки, не подвергавшиеся вспашке. Поэтому рекомендуется заделывать навоз таким образом, чтобы поддерживать поверхностные остатки при помощи таких минимальных методов обработки почвы, как рыхление или инъекция.

Выводы

Сельское хозяйство является крупнейшим антропогенным источником питательных веществ, который в значительной мере способствует деградации окружающей среды, изменению климата, загрязнению и эвтрофикации водных ресурсов за счет вымывания азота и фосфора с сельскохозяйственных полей в воду. Чтобы противодействовать этому, предпринимаются агротехнологические и технические мероприятия, направленные на сокращение объема азотных и фосфорных соединений в водах, сбрасываемых от сельскохозяйственных источников (полей, животноводческих объектов и др.) в окружающую среду.

К агротехническим мероприятиям относятся бесплужная обработка почвы и прямой посев семян в почву после уборки предшествующей культуры с использованием культиваторов, карусельных или дисковых борон и др. Более предпочтительной является весенняя культивация, при которой укоренившиеся весной культуры создают поверхностный покров и забирают минерализованный азот, снижая риск его вымывания. Этому также способствует использование комбинированного посева с использованием агрегата для одновременного посева семян и внесения удобрений.

Еще одним техническим мероприятием, контролирующим рациональное внесение удобрений на поля, является применение глобальной системы позиционирования (GPS). С этой целью используется разбрасыватель удобрений с оборудованием для их дифференцированного внесения на поля и соответствующей навигационно-управляющей системой.

При внесении жидких органических удобрений сокращению вымывания с полей азота и фосфора способствуют технические средства для поверхностного ленточного и внутripочвенного их внесения.

Лучше всего питательные вещества доставляются растениям из почвы с показателем кислотности pH, равным 6,5–7,2. Даже при небольшом подкислении почвы с pH ниже 6,5 поглощение растениями азота и фосфора снижается. Для регулирования pH почвы в сторону слабокислой или нейтральной применяется ее известкование с использованием соответствующих разбрасывателей. В результате известкования возрастает поглощение фосфора некоторыми растениями, например, злаками в 2–3 раза, овсом примерно на 60 % и клевером примерно на 10–20 %. Лучшее усвоение питательных элементов растениями означает, что риск их потери снижается.

Для достижения максимальной эффективности использования органических и минеральных удобрений их нужно полностью заделывать в почву после внесения на поля. Заделка органических и химических удобрений может осуществляться таким оборудованием, как плуг, дисковые или лапные культиваторы в зависимости от типа почвы и почвенных условий. Заделка обычно выполняется как отдельная рабочая операция. Рекомендуется заделывать навоз таким образом, чтобы поддерживать поверхностные остатки при помощи таких минимальных методов обработки почвы, как рыхление или инъекция.

Список использованных источников

1. Агроэкология = Agroecology : учебник / В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев [и др.] ; под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. – М. : Колос, 2000. – 536 с.
2. Горовой, С. А. Процессы безотвальной обработки почвы / С. А. Горовой, Е. И. Пименова // Столыпинский вестник. – 2022. – № 9 – С. 5332–5336.
3. No-till – шаг к идеальному земледелию: учеб.-метод. пособие ; под ред. В. В. Батурина. – М. : Народное образование. Проект «Идеальное земледелие», 2006. – 120 с.