

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.З. Спирина, Т.П. Соловьева

**АГРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ,
РАСТЕНИЙ И УДОБРЕНИЙ**

Учебное пособие

*Допущено Учебно-методическим советом по почвоведению
при УМО по классическому университетскому образованию РФ
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению высшего
профессионального образования 021900 «Почвоведение»*

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2014

УДК 631.4/8(075.8)

ББК 40.4я73

A265

Спирина В.З., Соловьева Т.П.

A265 Агрохимические методы исследования почв, растений и удобрений : учеб. пособие. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. – 336 с.

ISBN 978-5-94621-385-1

В пособии рассматриваются агрохимические методы и методики исследования почв, вопросы питания растений и методы определения в них золь, азота, фосфора и калия. Приводятся качественные реакции, положенные в основу распознавания минеральных удобрений. Даны классификация и характеристики основных свойств. Описаны методы агрохимических исследований количественного анализа азотных, фосфорных, калийных и известковых удобрений, а также растений и органических удобрений.

Пособие составлено на основе данных многолетних исследований кафедры почвоведения и экологии почв Томского государственного университета и соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта третьего поколения.

Для бакалавров, обучающихся по направлениям подготовки 021900 «Почвоведение», 110400 «Агрономия», 250100 «Лесное дело», 250700 «Ландшафтная архитектура», а также аспирантов и работников научно-исследовательских учреждений, подразделений агрохимических служб.

УДК 631.4/8(075.8)

ББК 40.4я73

Рецензенты:

канд. биол. наук М.С. Романова,

канд. биол. наук А.В. Родикова

ISBN 978-5-94621-385-1

© Спирина В.З., Соловьева Т.П., 2014

© Томский государственный университет, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур, повышения их качества и улучшения плодородия почв необходимо изучение процессов превращения питательных веществ в почве, их поступления в растения и регулирование приемов воздействия на эти процессы. Необходимо научиться управлять круговоротом химических элементов и поддерживать единство организма и среды обитания.

Для выяснения особенностей взаимодействия растений, почвы, микроорганизмов и удобрений нужны глубокие агрохимические исследования. Методы агрохимического анализа позволяют изучить процессы передвижения и превращения в почве питательных веществ, их поступления в растения и участия в синтезе сложных органических веществ. Одним из основных способов воздействия на растения и почву является применение минеральных и органических удобрений. Удобрения выступают как мощный фактор, способный повышать урожай сельскохозяйственных культур и улучшать их качество.

Химическая промышленность выпускает большой ассортимент минеральных удобрений, содержащих питательные элементы в виде различных минеральных солей. В зависимости от формы и количества основных элементов питания минеральные удобрения могут быть простыми (односторонними) и комплексными (многосторонними). Простые удобрения, особенно азотные, фосфорные и калийные, могут содержать дополнительно такие питательные вещества, как кальций, магний, сера и микроэлементы, что обусловлено технологией их производства. Сложные удобрения производят и применяют, чтобы обеспечить культуры одновременно двумя или несколькими питательными веществами в определенном соотношении. Использование удобрений ставит задачи наиболее эффективного применения их с учетом требований культур и многообразия почвенно-климатических условий.

Изучение свойств органических и минеральных удобрений, действия извести, гипса необходимо для решения многих вопросов, связанных с увеличением урожая сельскохозяйственных культур, улучшением качества растениеводческой продукции, повышением плодородия почв и охраной окружающей среды.

Для подготовки специалистов агрохимического профиля возникла необходимость создания учебного пособия, включающего наиболее широко используемые методы агрохимического анализа почв, растений, органических и минеральных удобрений. Основная цель пособия – научить студентов методам агрохимического исследования, что позволит получить информацию, необходимую для оптимального использования удобрений, решить вопрос о формах, дозах, сроках и способах их применения. Известно, что бессистемное применение минеральных, органических удобрений, а также использование гипса и извести без учета особенностей возделываемых культур, свойств почв, видов удобрений могут снизить урожай растений и плодородие почвы в целом.

ГЛАВА 1. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В АГРОХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

В агрохимической лаборатории должны быть созданы условия для безопасного проведения работ. Не разрешается работать без спецодежды. В помещениях запрещается пить воду, принимать пищу, хранить продукты питания, курить, а также громко разговаривать, пользоваться радиоприборами. Во время работы в агрохимической лаборатории нужно поддерживать чистоту и порядок, не загромождать проходы мебелью, посторонними предметами, соблюдать правила техники безопасности, так как беспорядочность, поспешность или неряшливость часто приводят к несчастным случаям с тяжелыми последствиями.

В лаборатории студенты работают с химическими реактивами, многие из которых оказывают вредное воздействие на организм человека (кислоты, щелочи, горючие взрывоопасные и ядовитые вещества), пользуются электрическими приборами. Всем работающим в агрохимических лабораториях необходимо постоянно уделять серьезное внимание правилам безопасности.

Прежде чем работать с химическим реактивом, необходимо ознакомиться с его свойствами, обратить особое внимание на его огнеопасность, ядовитость и возможность образования взрывчатых смесей с другими веществами. Пользоваться реактивом можно лишь в том случае, если на упаковке имеются четкая надпись названия и характеристика вещества. Все химические реактивы следует хранить только в соответствующей посуде с этикетками.

Студентам запрещается приступать к работе, не согласовав план действий с преподавателем.

По окончании пользования газом, водой и электроприборами необходимо немедленно закрыть краны, которыми пользовались, и отключить электроприборы. Уходя из лаборатории, нужно выключить свет, сообщить лаборанту об окончании работы.

Все работы с ядовитыми и неприятно пахнущими веществами необходимо производить в вытяжном шкафу. Не следует вдыхать пахучие вещества, в том числе выделяющиеся газы, близко наклоняться к емкости с этими веществами. При определении запаха вещества нужно направлять к себе пары и газы движением руки.

Категорически запрещается пробовать на вкус любые химические вещества в лаборатории. Нельзя набирать в рот при помощи пипетки или трубки ядовитые и едкие жидкости.

Необходимо оберегать реактивы от загрязнения. Рассыпанный реактив не следует высыпать обратно в общую емкость, а нужно собрать в отдельную склянку и подвергнуть утилизации. Нельзя хранить вместе реактивы, способные взаимодействовать. Особую опасность представляет совместное хранение азотной, хлорной, серной кислот с органическими веществами. Реактивы, изменяющиеся под действием света, следует хранить в посуде из темного стекла.

Остатки опасных веществ, а также соединений редких и ценных металлов нельзя выбрасывать в канализацию или мусорные ящики, а нужно сливать в особые банки или сдавать лаборанту.

Основные правила безопасной работы с химической посудой

Острые осколки стекла, а также нагретые до высокой температуры части стеклянной посуды, аппаратов и приборов способны при неосторожном обращении травмировать руки.

Размешивать реакционную смесь в сосуде стеклянной палочкой или шпателем надо осторожно, не допуская разлома сосуда. Держать сосуд при этом необходимо за горловину.

Переноса сосуды с горячей жидкостью, надо держать их двумя руками: одной – за дно, другой – за горловину, используя при этом полотенце (чтобы избежать ожогов кистей и пальцев рук).

При закрывании толстостенной посуды пробкой следует держать ее за верхнюю часть горловины. Нагретый сосуд нельзя закрывать притертой пробкой до тех пор, пока он не охладится.

В опытах с нагревом необходимо пользоваться посудой, которая имеет соответствующую маркировку.

В случае пореза стеклом нужно сначала внимательно осмотреть рану и извлечь из нее осколки, если они есть, а затем обмыть раненное место 2%-ным раствором перманганата калия, смазать йодом и завязать бинтом или заклеить лейкопластырем.

Основные правила безопасной работы со щелочами

При работе с твердыми щелочами необходимо пользоваться резиновыми перчатками, защитными очками или маской, так как щелочи вызывают ожоги тканей кожи и глаз. При приготовлении растворов щелочей необходимо небольшие кусочки щелочи медленно прибавлять к воде, непрерывно перемешивая раствор. Большие куски щелочей следует раскалывать на мелкие только в специально отведенном месте, предварительно накрыв их плотной тканью. При растворении в воде едких щелочей происходит сильное разогревание, поэтому это следует делать в термостойкой посуде. Хранить твердые щелочи и их растворы нужно в хорошо укуренной посуде. Слянки с растворами щелочей нельзя закрывать стеклянными притертыми пробками.

Переливать концентрированные растворы аммиака (25%-ные) следует под тягой или рядом с вытяжным шкафом при открытых шторах с применением респиратора, так как выделяющийся газообразный аммиак вызывает раздражение верхних дыхательных путей, глаз, может привести к образованию ожоговых пузырей на коже.

Пролитые концентрированные растворы щелочей засыпают песком или древесными опилками, после их удаления поверхность обрабатывают слабым раствором уксусной кислоты.

Основные правила безопасной работы с кислотами

Концентрированные растворы кислот для постоянного пользования нужно держать в посуде емкостью не более 1–2 л.

При переливании дымящих кислот (азотной, соляной) нужно надевать противогаз или респиратор либо прикрывать рот и нос полотенцем, смоченным 2–3%-ным раствором карбоната натрия. Выполнение работ с концентрированными кислотами без предохранительных очков и перчаток запрещается.

Для приготовления растворов серной или азотной кислот нужно добавлять кислоту в воду тонкой стружкой при перемешивании, а не наоборот. Вследствие сильного разогревания для разбавления следует использовать посуду из фарфора или термостойкого стекла.

Производить химические реакции с применением концентрированной азотной кислоты необходимо в вытяжном шкафу, так как при этом выделяются ядовитые оксиды азота.

Работать с концентрированной соляной кислотой следует также в вытяжном шкафу, так как ее пары при высоких концентрациях вызывают раздражение слизистых оболочек, кашель, насморк. С соблюдением особой осторожности необходимо выполнять работы с применением фтористоводородной кислоты, потому что и растворы, и пары ее очень токсичны.

Если кислота случайно пролита, то ее сначала засыпают песком, чтобы он впитал кислоту, затем песок убирают и место засыпают известью или содой, после этого замывают водой и вытирают досуха.

Основные правила безопасной работы со взрывоопасными реактивами

Чистый хлорат калия (бертолетова соль) опасно сушить и растирать в ступке, так как он взрывоопасен. После работы с ним следует тщательно собрать просыпанные кристаллы и вымыть руки, поскольку хлорат калия является ядом крови. Смеси хлората калия с легко окисляющимися веществами (сера, фосфор, сахар, порошок алюминия) взрываются от удара, а в смеси с оксидами марганца (IV), хрома (III), меди (II) хлорат калия разлагается при 200°C, так как эти оксиды ускоряют его разложение. Чистый нитрат аммония нечувствителен к ударам, но взрывается от детонатора и при каталитическом влиянии накапливающихся при хранении в закрытом сосуде продуктов распада. Особо опасны смеси нитрата аммония с горючими веществами и порошкообразными металлами.

Тонкие порошки металлов (железа, магния, алюминия и др.) способны к самовоспламенению, поэтому не следует рассыпать их вблизи нагревательных приборов. Особенно огнеопасны смеси порошков металлов с некоторыми окислителями.

Перекисные соединения являются взрыво- и огнеопасными веществами. Они чувствительны к удару, толчку, сотрясениям, свету и температуре. Хранить перекиси нужно с учетом температуры их разложения в емкостях из темного стекла или полиэтилена. Даже следы тяжелых металлов являются катализаторами разложения перекисей. Закрывать посуду с перекисями твердыми пробками запрещается.

Загоревшиеся перекиси тушат песком и с помощью углекислотных огнетушителей. Пролитую жидкую перекись поглощают немедленно песком, при этом не следует применять тряпки и подобные материалы.

Основные правила безопасной работы с перманганатом калия

Пересыпать и растирать кристаллы перманганата калия (KMnO_4) следует в вытяжном шкафу, так как образующаяся при этом пыль сильно раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и глаз. Категорически запрещается приливать из склянки концентрированную серную кислоту к кристаллам перманганата калия, так как при этом может произойти взрыв. Реакцию перманганата калия с соляной кислотой надо проводить в вытяжном шкафу, так как при этом образуется хлор.

Основные правила безопасной работы с огнеопасными веществами

Хранить в лаборатории огнеопасные вещества (бензин, ацетон, диэтиловый эфир, жидкие углеводороды, бензол и др.) можно только в небольшом количестве, так как они испаряются и легко воспламеняются. Кроме того, их пары с воздухом могут образовывать взрывоопасные смеси. Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости должны храниться в толстостенных склянках с притертыми пробками; склянки помещают в специальный металлический ящик с крышкой, дно которого должно быть выложено асбестом. Ящик устанавливается на значительном расстоянии от выхода и

проходов, с удобным подходом к нему. Общее количество хранящихся в лаборатории огнеопасных жидкостей не должно превышать 5 л.

Все работы с легковоспламеняющимися жидкостями должны проводиться в вытяжном шкафу при работающей вентиляции и в отсутствии открытого огня.

Сосуды, в которых производились работы с горючими жидкостями, после окончания опыта сразу необходимо тщательно промыть. Запрещается выливать в раковину горючие жидкости, они должны собираться в специальную герметично закрывающуюся тару, которую в конце рабочего дня удаляют из лаборатории для регенерации или уничтожения в специально отведенном месте. При загорании нерастворимых в воде веществ нельзя применять для тушения воду, потому что пожар не только не будет ликвидирован, но может даже усилиться. Многие огнеопасные органические вещества легче воды и при соприкосновении с ней образуют горящую пленку. Чем больше воды, тем опаснее пожар. Не растворимые в воде органические вещества, а также многие неорганические вещества, реагирующие с водой, следует тушить песком или накрыванием асбестом. Если горящее вещество растворимо в воде, его можно тушить водой.

Основные правила безопасной работы с электроприборами

Агрохимические лаборатории (согласно степени опасности поражения электрическим током) относятся к помещениям с повышенной или особой опасностью, которая обусловлена возможностью воздействия на электрооборудование химически активных сред. Следовательно, все работы, связанные с применением электроприборов, должны проходить под наблюдением преподавателя (лаборанта).

Все электроприборы, питающиеся от сети, должны быть заземлены. Следует помнить, что напряжение в 220 и 127 В может быть смертельным для человека. Перед включением прибора необходимо убедиться, что он исправен. Осмотреть шнур, проверить исправность изоляции, устранить резкие перегибы, перекручивания. Включать электроприборы только сухими руками. Влажная кожа обладает значительной электропроводностью.

При работе с водяной баней нельзя проверять степень нагрева воды рукой.

Порядок включения любого электрооборудования в сеть должен быть следующим. Сначала подключается шнур к прибору, а затем – к сети. Отключение прибора производится в обратном порядке. Нарушение этого правила может привести к травмам.

При обнаружении повреждения у прибора необходимо немедленно отключить его от сети, затем вызвать специалиста для устранения повреждения. Ремонтировать самостоятельно приборы запрещается.

При возникновении пожара немедленно выключите газ и электроприборы по всей лаборатории, уберите все горючие вещества подальше от огня, засыпьте песком или накройте войлочным, шерстяным одеялом или асбестом очаг пожара. Большое пламя тушат при помощи огнетушителя (лучше применять углекислотные).

Загоревшийся электропровод нельзя гасить водой. Необходимо сначала обесточить сеть, а затем приступить к тушению очага пожара.

Первая помощь при ожогах и отравлениях

При действии открытого пламени на поверхность кожи, если на нее не попало никаких химических реагентов, т.е. в случае термических ожогов, необходимо:

а) при ожоге 1-й степени (покраснение) – наложить вату, смоченную этиловым спиртом, смачивание повторять;

б) при ожоге 2-й степени (появление пузырей) – наложить повязку, смоченную этиловым спиртом, смачивание повторять. Аналогично можно обрабатывать 3–5%-ным раствором перманганата калия;

в) при ожоге 3-й степени (разрушение тканей) – покрыть рану стерильной повязкой и вызвать бригаду скорой помощи или отвести пострадавшего в ближайшую поликлинику или больницу.

В случае химических ожогов первая помощь зависит от реактива, вызвавшего ожог. При попадании кислот на поверхность кожи промыть ожог большим количеством воды и затем обработать

нейтрализующими веществами, например, 2–5%-ным раствором бикарбоната натрия или карбоната аммония.

При попадании щелочей на поверхность кожи, обильно промыть ее водой в течение 10 мин, сделать примочку из 5%-ного раствора уксусной или лимонной кислоты.

При попадании кислот или щелочей в глаза следует немедленное тщательное промывание водой в течение 10–30 мин, затем закапать 2%-ный раствор новокаина и обратиться к врачу.

При попадании брома на поверхность кожи, быстро смыть его с поверхности этиловым спиртом или обмыть водой и смазать мазью с бикарбонатом натрия или карбонатом аммония.

При попадании фенола на поверхность кожи необходимо промыть поверхность ожога спиртом.

В агрохимической лаборатории должна быть аптечка первой помощи:

• бинт марлевый медицинский нестерильный и стерильный 5×10 см;

- вата нестерильная;
- насыщенный раствор перманганата калия (KMnO_4);
- 2%-ный раствор борной кислоты (H_3BO_3);
- 5%-ный раствор гидрокарбоната натрия (NaHCO_3);
- 10%-ный раствор аммиака (NH_4OH);
- 5%-ный раствор уксусной кислоты (CH_3COOH);
- настойка валерианы;
- градуированный стаканчик;
- сосуд для промывания глаз;
- кровоостанавливающий резиновый жгут.

ГЛАВА 2. АГРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ

2.1. Отбор почвенных образцов

Отбор почвенной пробы для определения наиболее точного содержания того или иного элемента или вещества – это очень ответственный этап исследований, который обеспечивает надежность полученных результатов. Небрежность и ошибки при подготовке образцов и взятии средней пробы не компенсируются последующим качественным лабораторным анализом.

Способ отбора почвенных образцов для агрохимического анализа зависит от поставленной цели. Традиционно отбор производят из разреза по генетическим горизонтам почвенного профиля или буром.

Из пахотного горизонта (слоя) чаще всего составляют смешанные почвенные образцы. При выполнении данных работ необходимо помнить о том, что если поле или участок имеет комплексный почвенный покров, то каждый смешанный образец составляется из отдельных образцов, взятых только в пределах одного почвенного типа или подтипа. Следует избегать нехарактерных мест, таких как площадки из-под удобрений, западин, полос около дорог, бугров и прочих.

Из всех отдельных образцов в смешанную среднюю пробу должно попасть примерно одинаковое количество почвы. Образец тщательно перемешивают на полиэтиленовой пленке, далее из него отбирают небольшой объем почвы и высыпают в чистый почвенный мешок. Масса среднего образца зависит от цели и обычно составляет 300–500 г.

Схема расположения точек отбора образцов определяется конфигурацией поля. На узком и вытянутом в длину поле оптимально ленточное расположение точек отбора образцов вдоль (посередине) поля, на широком, почти квадратном поле – шахматное. На очень больших площадях отбор проб проводится по

одной или двум диагоналям. Средний смешанный образец составляют из нескольких десятков первоначальных проб.

Образцы отбираются чистой лопатой с площадки, лишенной растительности. Пробы желательно отбирать при таком состоянии почвы, чтобы она не прилипала к лопате. Каждый образец сопровождается этикеткой, подписанной простым карандашом. На этикетке указывается следующая информация:

- наименование места отбора образца (хозяйство, опытная станция);

- название опыта, номера или наименования варианта;
- культура севооборота;
- тип почвы;
- горизонт;
- глубина отбора образца;
- дата отбора;
- фамилия исполнителя.

В полевой дневник вносят аналогичную запись, а также указывают дополнительную информацию: рельеф поля, тип почвы, фазу развития культуры и т.д.

При проведении агрохимического обследования почв сенокосов, пастбищ, лесных питомников, руководствуются общими правилами, которые утверждены ГОСТом 28168 [1]. Основные положения ГОСТа следующие: отбор средних проб при агрохимическом обследовании почв проводят в течение всего вегетационного периода. На полях, участках сенокосов, пастбищ, лесных питомников, где доза внесенных минеральных удобрений по каждому виду составляла более 90 кг действующего вещества (д.в.) на 1 га пробы, отбирают через 2 мес после внесения удобрений.

1. Картографической основой для отбора проб является план землепользования хозяйства с нанесенными на него элементами внутрихозяйственного землеустройства и границами почвенных контуров.

2. При агрохимическом обследовании почв лесных питомников картографической основой является план питомника с нанесенными на него границами полей и почвенных контуров.

3. Масштаб картографической основы должен соответствовать масштабу почвенных карт обследуемой территории.

4. После рекогносцировочного осмотра территории, подлежащей агрохимическому обследованию, на картографическую основу наносят сетку элементарных участков установленного размера. Элементарный участок – это наименьшая площадь, которую можно охарактеризовать одной объединенной пробой почвы.

5. Форма элементарного участка по возможности должна быть прямоугольной с отношением сторон не более 1:2. Для лесных питомников элементарным участком является поле питомника. Каждому элементарному участку присваивают порядковый номер.

6. Максимально допустимые размеры элементарных участков на неэродированных и слабоэродированных богарных и орошаемых пахотных почвах таежно-лесные районы Западной и Восточной Сибири с преобладанием дерново-подзолистых почв должны быть не более 3–10 га, лесостепные и степные районы со слабо-расчлененным рельефом – 5–20 га, степные районы с равнинным рельефом – 10–40 га.

7. На средне- и сильноэродированных дерново-подзолистых и серых лесных почвах размер элементарного участка должен составлять 1–2 га, на черноземах и каштановых почвах – 3 га. На долговременных культурных пастбищах размер элементарного участка соответствует площади загона. На улучшенных сенокосах и пастбищах размер элементарного участка соответствует площади элементарного участка пашни, принятого для каждой зоны. Размер элементарного участка в лесных питомниках равен площади поля питомника.

В полевых условиях перед непосредственным отбором образцов выполняют следующие мероприятия:

1. На неорошаемых почвах наносят сетку элементарных участков путем сплошного наложения на все сельскохозяйственные угодья, подлежащие агрохимическому обследованию.

2. На орошаемых почвах при открытой осушительной сети элементарные участки располагают между дренами. На участках закрытого дренажа элементарные участки располагают длинной стороной поперек междурья.

3. На картографической основе в пределах каждого выделенного элементарного участка прокладывают маршрутный ход. На незеродированных и слабоэродированных почвах маршрутный ход прокладывают посередине элементарного участка вдоль его длинной стороны. На средне- и сильноэродированных почвах, расположенных на склоне длиннее 200 м, маршрутные ходы прокладывают вдоль склона, на более коротких – поперек склона. На полях лесных питомников маршрутные ходы прокладывают по диагонали поля.

Технология отбора проб производится по следующим правилам:

1. Территорию, предназначенную для обследования, разбивают на элементарные участки в соответствии с сеткой элементарных участков и определяют расстояние между точечными пробами.

2. Точечные пробы отбирают буром. На уплотненных почвах допускается отбор точечных проб лопатой.

3. Точечные пробы не допускается отбирать вблизи дорог, куч органических и минеральных удобрений, мелиорантов, со дна развальных борозд, на участках, резко отличающихся лучшим или худшим состоянием растений.

4. В пределах каждого элементарного участка точечные пробы отбирают равномерно по маршрутному ходу через равные интервалы. В лесных питомниках – на полях, занятых сеянцами и саженцами, точечные пробы отбирают на грядках между посевными строчками или рядами посадки саженцев.

5. На пахотных почвах точечные пробы отбирают на глубину пахотного слоя, на сенокосах и пастбищах – на глубину гумусо-аккумулятивного горизонта, но не глубже 10 см.

6. Из точечных проб, отобранных с элементарного участка, составляют объединенную пробу.

7. Если в пределах элементарного участка располагаются несколько почвенных контуров, то объединенные пробы отбирают с преобладающего контура.

8. В зависимости от пестроты агрохимических показателей почв, выявленной по результатам предыдущего агрохимического обследования, каждую объединенную пробу составляют из 20–40 точечных проб.

Масса объединенной пробы должна быть не менее 400 г. Отобранные объединенные пробы вместе с этикеткой помещают в мешочки или коробки. На этикетке объединенной пробы указывают:

- наименование организации, проводящей обследование;
- область;
- район;
- хозяйство;
- номер объединенной пробы;
- дату отбора пробы;
- фамилию исполнителя;
- обозначение настоящего стандарта.

Номер объединенной пробы должен соответствовать номеру элементарного участка или номеру поля питомника. Отобранные в течение дня объединенные пробы подсушивают в раскрытых мешочках или коробках под навесом или в сухом проветриваемом помещении. После завершения отбора объединенных проб в хозяйстве составляют сопроводительную ведомость в двух экземплярах и отправляют на анализ. Один экземпляр ведомости прилагают к пробам, второй остается у специалиста, проводившего агрохимическое обследование (прил. 1).

Материалы и оборудование:

Лопата или почвенный бур, нож, сантиметровая лента, полиэтиленовая пленка для смешивания образцов, мешочки для почвы или пакеты из плотной бумаги, шпагат, этикетки, почвенный журнал, простые карандаши, мешок или рюкзак для транспортировки образцов.

2.2. Подготовка почвы к агрохимическому анализу

Образцы почвы, отобранные в поле или в вегетационном домике, предварительно подсушивают на воздухе при комнатной температуре. Хранение сырых образцов ведет к значительным изменениям их свойств и состава, особенно в результате ферментативных и микробиологических процессов. Температурный перегрев сопровождается изменением подвижности и растворимости многих со-

единений. Если образцов много, то проводится сушка в шкафах с принудительной вентиляцией при температуре не выше 40°C.

Определение нитратов, нитритов, поглощенного аммония, водорастворимых форм калия, фосфора и т.п. проводится в день взятия образцов при их естественной влажности. Влажную почву просеивают через сито с диаметром отверстий 3 мм. Остальные определения проводятся в воздушно-сухих образцах. Ошибка в анализе образца возрастает с ростом размера частиц и с уменьшением массы навески. Высокая степень измельчения почвы требуется, когда анализируемая навеска мала. Например, валовое содержание гумуса определяют в навесках, масса которых составляет десятые доли грамма. Это связано с условиями проведения анализа. В то же время для определения обменной и гидролитической кислотности используют навески, масса которых составляет десятки граммов. При определении гумуса аналитическую почвенную пробу тонко растирают в агатовой ступке и просеивают через сито с диаметром отверстий 0,25 мм. Для определения кислотности почвы, обменных оснований и многих других видов анализов размер почвенных частиц в аналитической пробе может быть большим, но не должен превышать 1–2 мм [2].

Перед измельчением сухой почвы из средней лабораторной пробы отбирают часть почвы для определения углерода и азота. Почвенный образец рассыпают на бумаге ровным слоем толщиной 0,5 см, крупные частицы измельчают. Затем делят на квадраты со стороной 3–4 см. Из каждого квадрата на всю глубину слоя шпателем отбирают небольшие количества почвы и помешают в отдельный пакет из кальки. Масса этой пробы должна быть не менее 10 г. Затем из отобранной пробы почвы пинцетом удаляют корни и различные органические остатки, просматривая почву через увеличительную лупу.

Почву измельчают на почвенной мельнице или растирают в фарфоровой ступке и просеивают через сито с диаметром отверстий 1 или 0,25 мм (в зависимости от предполагаемого анализа). Операцию измельчения проводят до тех пор, пока весь образец не пройдет через сито. Подготовленные к анализам образцы хранят до проведения анализа в контейнерах или пакетиках из кальки. Оставшуюся

часть сухого образца оставляют в нерастертом состоянии. Образцы хранятся в контейнерах или закрытых пакетах из плотной бумаги в помещении, где отсутствуют химические реактивы.

Навеску почвы для агрохимического анализа берут методом «средней пробы». Для этого просеянный образец рассыпают тонким слоем (около 0,5 см) на листе бумаги в виде квадрата и делят его шпателем на мелкие квадратики со сторонами 2–2,5 см. Из каждого квадратика шпателем отбирают часть образца.

Материалы и оборудование:

Бумага (оберточная или газетная), контейнеры или пакеты из плотной бумаги, маленькие пакеты из кальки, фарфоровый или металлический шпатель, почвенная мельница или фарфоровая ступка с пестиком, сито с диаметром отверстий 1 мм, агатовая ступка с пестиком, сито с диаметром отверстий 0,25 мм.

2.3. Влажность почвы

Влажность почвы – это количество воды, приходящееся на единицу веса или объема абсолютно сухой почвы [3]. Различают весовую и объемную влажность. В минеральных почвах диапазон изменения влажности варьирует от долей до 50%, в органогенных может достигать 100% и более.

Вода в почве находится в тесном взаимодействии с твердой фазой, является фактором, характеризующим плодородие почвы. От ее количества зависят процессы произрастания растений, передвижения питательных веществ, продуктов почвообразования в профиле почвы, интенсивность деятельности микроорганизмов, а также производственная деятельность человека.

В зависимости от степени подвижности и доступности растениям выделяют несколько форм почвенной влаги: гравитационную, капиллярную, сорбированную, парообразную, грунтовую, твердую, химически связанную и кристаллизационную. Для питания растений доступна гравитационная и капиллярная.

Влажность образцов, отобранных в поле, зависит от погодных условий, гранулометрического состава и других свойств почвы.

Если проводят режимные наблюдения и необходимо анализировать почвенные образцы в день отбора (например, нитратный и аммиачный азот), то обязательно определяют полевую влажность, чтобы произвести расчет результатов анализа на абсолютно сухую навеску.

Чаще всего анализируют воздушно-сухие почвенные образцы. Они содержат гигроскопическую влагу (ГВ), которая удаляется при высушивании при температуре 105°C. Гигроскопическая влага находится в равновесном состоянии с парообразной водой атмосферы и характеризует влажность воздушно-сухой почвы. ГВ определяют при всех видах химических анализов, чтобы иметь возможность пересчитать количество определяемого компонента на сухую.

Количество гигроскопической влаги в почвенных образцах варьирует в пределах от десятых долей до нескольких процентов и зависит от влажности в помещении для хранения и свойств почвы. Почвы легкого гранулометрического состава (супесчаного и песчаного) содержат около 1%, глинистые и высоко гумусированные, а также включающие карбонаты – более 5%, органогенные горизонты (торфяные, лесная подстилка) – более 15% ГВ.

2.3.1. Определение гигроскопической влажности почвы

Почва обладает гигроскопичностью, т.е. способностью поглощать парообразную воду и прочно удерживать ее поверхностью частиц. Влага, адсорбированная сухой почвой из атмосферного воздуха, называется гигроскопической водой.

Метод определения ГВ почвы основан на испарении воды, поглощенной почвой, при высушивании навески почвы при температуре 105°C. Высушивание почвы при более высокой температуре недопустимо, так как одновременно с испарением влаги могут произойти обугливание органических веществ и потеря их веса, что приведет к ошибке анализа.

Ход анализа:

Чистые стеклянные бюксы с притертыми крышками или металлические стаканчики с крышками пронумеровать простым каран-

дашем, высушить в сушильном шкафу (термостате) до постоянного веса при температуре 105°C. На аналитических весах взять навеску средней пробы почвенного образца весом около 5 г. Поставить бюксы в сушильный шкаф и сушить при температуре 100–105°C в течение 5 ч. Охладить бюксы в эксикаторе и провести первое взвешивание. Затем вновь поставить в термостат и сушить при тех же условиях в течение 1,5–3 ч. После охлаждения в эксикаторе взвесить. Операцию повторяют до тех пор, пока масса бюкса не будет доведена до постоянной (масса должна быть равна или больше предыдущего взвешивания). Если последняя масса больше предыдущего, что может произойти в результате окисления органического вещества, для расчета нужно взять меньшую массу.

Расчет результатов анализа:

Влажность рассчитывают по формуле

$$W = \frac{a \times 100}{m},$$

где W – гигроскопическая влажность, %; a – масса испарившейся влаги, г; m – масса почвы после высушивания, г.

Пример вычисления гигроскопической влаги. Навеску почвы 4,555 г высушили в сушильном шкафу до постоянной массы. Масса испарившейся влаги составила 0,155 г. Масса почвы после высушивания – 4,300 г. Гигроскопическая влага почвы в горизонте A_1 составляет

$$\%W = \frac{0,155 \times 100}{4,300} = 3,605.$$

Для пересчета результатов анализов на абсолютно сухую почву используют коэффициент гигроскопической влажности (K_w), который вычисляют по формуле

$$K_w = \frac{100 + W}{100},$$

где W – гигроскопическая влажность, %.

Например, влажность почвы составила 3,605%, тогда

$$K_w = \frac{100 + 3,605}{100} = 1,0360.$$

В расчетах показано, какое количество воды, поглощается 100 г абсолютно сухой почвы. На коэффициент умножают все результаты анализов, проведенных с данной пробой.

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № бюкса | Масса, г | | | | | сухой почвы | испарившейся влаги | Гигроскопическая влага, % (W) |
|--------------------------|---------|---------------|----------------|-------------------|--------|--------|-------------|--------------------|-------------------------------|
| | | пустого бюкса | с почвой | | | | | | |
| | | | до высушивания | после высушивания | | | | | |
| | | | | 1 | 2 | 2 | | | |
| A ₁ (0–10) | 4 | 12,345 | 16,900 | 16,698 | 16,649 | 16,645 | 4,300 | 0,155 | 3,605 |

Материалы и оборудование: стеклянные бюксы с притертыми крышками, фарфоровые или пластиковые ложки, аналитические весы, сушильный шкаф, эксикатор с натронной известью, щипцы.

2.3.2. Определение полевой влажности почвы

Влажностью почвы называют количество содержащейся в ней воды, выраженное в процентах к массе абсолютно сухой почвы. Влажность почвы необходимо знать для пересчета результатов анализов на сухую почву, а также для определения общих и продуктивных для растений запасов почвенной влаги. Зная, какое количество воды содержится в почве, можно регулировать водный режим почвы, например определить сроки и нормы полива. Если сопоставлять данные о влажности почвы с результатами фенологических наблюдений за сельскохозяйственными культурами, можно объяснить структуру урожая, динамику его накопления в связи с водным режимом почвы.

Ход анализа:

В поле из полуям (прикопок, почвенного разреза) отобрать с нужной глубины по 10–15 г почвы и поместить в предварительно высушенные алюминиевые бюксы, плотно закрыть крышками.

В лаборатории взвесить бюксы на аналитических весах. Открыть крышки, поместить в сушильный шкаф и сушить при температуре 105°C не менее 6 ч если почва сухая. После просушивания бюксы закрыть крышками и поставить в эксикатор для охлаждения. Холодные бюксы взвесить на аналитических весах и вновь открыть крышки, поставить в сушильный шкаф на 2 ч для повторного просушивания в тех же, что и раньше условиях, затем остудить и взвесить. Операцию повторять до полного высушивания почвы.

Расчет результатов анализа:

Полевую влажность рассчитывают по формуле

$$W = \frac{a \times 100}{m},$$

где W – полевая влажность, %; a – масса испарившейся влаги, г; m – масса почвы после высушивания, г.

Пример вычисления полевой влажности. Для определения влажности использовалась навеска почвы 11,500 г. Масса испарившейся влаги составила 1,405 г. Масса почвы после высушивания – 10,015 г. Полевая влажность почвы в горизонте $A_{\text{пах}}$ составляет

$$\%W = \frac{1,405 \times 100}{10,015} = 14,029.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № бюкса | Масса, г | | | | | сухой почвы (m) | испарившейся влаги (a) | Полевая влажность, % (W) |
|----------------------------|---------|---------------|----------------|-------------------|--------|--------|---------------------|----------------------------|------------------------------|
| | | пустого бюкса | с почвой | | | | | | |
| | | | до высушивания | после высушивания | | | | | |
| | | | | 1 | 2 | 2 | | | |
| $A_{\text{пах}}$ (0–20) | 2 | 10,385 | 21,805 | 20,900 | 20,415 | 20,400 | 10,015 | 1,405 | 14,029 |

Для многих анализов, которые проводятся в свежей почве (аммиачный и нитратный азот, подвижные формы фосфора, калия и др.), нужно знать коэффициент пересчета с влажной на сухую почву. Его вычисляют по формуле

$$K_w = \frac{100 + W}{100},$$

где W – полевая влажность, %.

Например, полевая влажность равна 14,029%, тогда

$$K_w = \frac{100 + 14,029}{100} = 1,1403.$$

Материалы и оборудование: лопата или почвенный бур, нож, алюминиевые бюксы с крышками, аналитические весы, сушильный шкаф, эксикатор с натронной известью, щипцы.

2.4. Кислотность почвы

К числу наиболее распространенных анализов как в теоретических, так и прикладных исследованиях относится определение реакции почв.

Наличие в почвенном растворе свободных кислот и оснований, кислых и основных солей определяет важнейшее для жизнедеятельности растений и процессов почвообразования свойство – актуальную реакцию почвенного раствора. Реакция почвенного раствора определяется активностью свободных водородных (H^+) и гидроксильных ионов (OH^-), измеряется величиной рН – отрицательным логарифмом активности водородных ионов.

Величина рН почвенного раствора разных типов почв колеблется от 2,5 (очень кислые почвы) до 8–9 и выше (карбонатные и засоленные почвы), достигая максимума (10–11) в щелочных солонцах и содовых солончаках рН. Наиболее низкими концентрациями и кислой реакцией характеризуются почвенные растворы подзолистых и болотных почв таежной зоны. Концентрация их составляет несколько десятков миллиграммов на 1 л раствора при

pH от 5 до 6. Содержание основных катионов и анионов измеряется единицами или десятками миллиграмм на литр [4].

Наиболее полная картина кислотных и основных свойств почв складывается при одновременном измерении нескольких показателей, в том числе титруемой кислотности или щелочности – фактор емкости и величины pH – фактор интенсивности.

Фактор емкости характеризует общее содержание кислот или оснований в почвах, от него зависят буферность почв, устойчивость реакции во времени и по отношению к внешним воздействиям.

Фактор интенсивности характеризует силу мгновенного действия кислот или оснований на почву и растения: от него зависит поступление минеральных веществ в растения в данный отрезок времени [5]. Это позволяет дать наиболее правильную оценку кислотности почв, так как в данном случае учитывается общее количество ионов водорода и алюминия, находящихся в почве в свободном и поглощенном состояниях.

Для оценки кислотности и щелочности почв используют две группы показателей. Первую группу составляют величины pH различных почвенных систем, вторую – потенциальная кислотность и общая щелочность. Эти две группы показателей характеризуют разные аспекты кислотно-основных свойств почв и поэтому не всегда взаимозаменяемы.

Различают следующие формы почвенной кислотности: актуальную и потенциальную, которая подразделяется на обменную (pH_{KCl}) и гидролитическую (H_T).

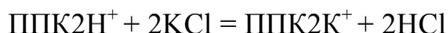
Т а б л и ц а 1

Классификация почв по степени кислотности

| Группа | Степень кислотности | Нормативные показатели кислотности | |
|--------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------|
| | | pH_{KCl} | H_T , мг·экв / 100 г почвы |
| 1 | Очень сильнокислые | <4 | >6,0 |
| 2 | Сильнокислые | 4,1–4,5 | 5,1–6,0 |
| 3 | Среднекислые | 4,6–5,0 | 4,1–5,0 |
| 4 | Слабокислые | 5,1–5,5 | 3,1–4,0 |
| 5 | Близкие к нейтральным | 5,6–6,0 | 2,1–3,0 |
| 6 | Нейтральные | >6 | <2 |

Под актуальной кислотностью понимают активную концентрацию ионов водорода в почвенном растворе или в водной вытяжке из почвы (рН), которая определяется потенциометрическим способом. Потенциальная кислотность определяется количеством ионов водорода, находящихся в почвенном поглощающем комплексе [6].

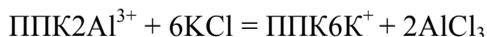
При обработке почвы раствором нейтральной соли КСl (1,0 н раствор), более подвижная часть ионов водорода алюминия почвы может быть переведена в раствор:



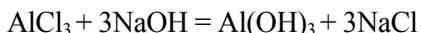
По количеству образовавшейся свободной соляной кислоты судят об обменной кислотности почвы. Часть ионов водорода остаётся в поглощенном состоянии, так как образующаяся в результате реакции сильная соляная кислота полностью диссоциирует и избыток свободных ионов водорода в растворе препятствует их полному вытеснению из почвенного поглощающего комплекса (ППК).

Менее подвижная часть ионов водорода может быть переведена в раствор лишь при дальнейшей обработке почвы растворами гидrolитически щелочных солей. Для этого используют 1,0 н раствор уксуснокислого натрия (CH₃COONa). Уксуснокислый натрий как соль сильного основания и слабой кислоты в водном растворе гидролизуется с образованием ионов OH⁻, вследствие чего раствор имеет щелочную реакцию. В условиях щелочной среды в раствор переходят не только ионы водорода обменной кислотности, но и Н-ионы, более прочно связанные с коллоидным комплексом почвы, поэтому гидrolитическая кислотность больше обменной. По количеству образовавшейся свободной уксусной кислоты судят о гидrolитической кислотности почв. В данном случае ионы водорода наиболее полно вытесняются из ППК и переходят в раствор, так как образующаяся уксусная кислота прочно связывает ионы водорода, и реакция смещается вправо вплоть до полного вытеснения ионов водорода из ППК.

Кислотность почвы обуславливается не только ионами водорода, но и алюминия:



Гидроокись алюминия выпадает в осадок, и система практически ничем не отличается от той, в которой содержатся только поглощенные ионы водорода. Но если даже $AlCl_3$ останется в растворе, то при титровании:



Поглощенные ионы алюминия вытесняются и при обработке почвы раствором 1,0 н раствором CH_3COONa . В этом случае все вытесненные ионы алюминия переходят в осадок в виде гидроокиси.

Реакция почвенного раствора оказывает прямое и косвенное влияние на растения. Сельскохозяйственные культуры проявляют различную чувствительность к кислой и щелочной среде. Многие культурные растения и почвенные микроорганизмы лучше развиваются при слабокислой или нейтральной реакции почвы, в то же время отдельные виды значительно различаются по требовательности как к наиболее оптимальному для их роста интервалу рН, так и к смещению его в ту или другую сторону. Одни растения не выдерживают кислых почв (люцерна, сахарная свекла, хлопчатник), другие успешно растут на слабокислой почве (люпин, гречиха, лен, картофель), у остальных оптимальная реакция почвенного раствора находится в диапазоне, близком к нейтральной реакции почвенной среды. При рН ниже 5 и выше 8 наблюдается депрессия ростовых процессов. Оптимальная величина рН почвы для льна, ржи, люпина, картофеля, гречихи составляет 5,5; для клевера, гороха, кукурузы, пшеницы – 6,0–7,0.

Отрицательное влияние кислотности особенно опасно в начальный период роста и развития растений. Повышенная кислотность или щелочность нарушает физиологическое равновесие в почвенном растворе, ухудшает питание растений, дестабилизирует белковый, углеводный и фосфорный обмен.

Косвенное действие почвенной кислотности проявляется в резком снижении почвенного плодородия из-за увеличения подвижности гумусовых веществ и отрицательного влияния ионов водорода (H^+) на минеральную часть почвы. При этом почва обедняется коллоидами, которые вымываются в подпахотные горизон-

ты. Недостаток в почве обменных катионов кальция и магния вызывает резкое ухудшение физических и физико-химических свойств почвы (структура, емкость поглощения, буферность). В почвенном растворе появляются свободные ионы алюминия и марганца, токсичные для растений. Уменьшается подвижность некоторых микроэлементов (например, молибдена), растения испытывают в них недостаток.

В щелочной среде снижается подвижность бора, цинка, меди, алюминия, марганца, возрастает подвижность молибдена и фосфатов. Оптимизировать условия питания растений можно за счет внесения химических мелиорантов, минеральных и органических удобрений.

2.4.1. Определение актуальной кислотности (рН водной вытяжки)

Эта форма кислотности обусловлена содержанием свободных ионов водорода в почвенном растворе и измеряется по величине рН водной вытяжки из почвы. Этот вид кислотности непосредственно действует на корневую систему растений и на почвенные микроорганизмы.

Определение актуальной кислотности почвы необходимо для выяснения возможности воздействия на почву разных форм, доз и сочетаний удобрений, а также подбора культур в севооборотах. рН водной вытяжки – величина неустойчивая, часто изменяющаяся под действием разных факторов в течение даже одного вегетационного периода.

Ход анализа:

На технических весах взвешивают навеску почвы сухой, растертой и пропущенной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, массой 10 г, помещают в стеклянный химический стаканчик емкостью 50 мл, приливают цилиндром 25 мл воды, имеющей рН 6,6–6,8. Тщательно перемешивают стеклянной палочкой в течение 1 мин, дают возможность почве осесть и определяют потенциометрическим методом. При стоянии суспензии величина рН может изменяться.

После проведения настройки рН-метра или ионометра по трем буферным растворам с рН 4,01; 6,86 и 9,18 электроды погружают в суспензию и измеряют величину рН. При выполнении измерений необходимо следить, чтобы электроды были погружены в отстоявшуюся жидкость, не касались стенок стаканчика и осевшей на дно стаканчика почвы.

После измерения рН электроды извлечь из жидкости, обмыть дистиллированной водой и обсушить фильтровальной бумагой.

Форма записи результатов:

| Разрез, горизонт, глубина, см | № стаканчика | Навеска, г | Объем Н ₂ О | Показания прибора |
|--------------------------------------|--------------|------------|------------------------|-------------------|
| A ₁ A ₂ (5–15) | 2 | 10 | 25 | 5,8 |

Реактивы: Н₂О, имеющая рН 6,6–6,8. Готовится путем смешивания кипяченой дистиллированной воды с хорошо прокипяченной и остуженной водопроводной водой.

2.4.2. Определение обменной кислотности (рН солевой вытяжки)

Сущность метода заключается в извлечении обменных катионов из почвы 1,0 н раствором хлористого калия при соотношении почвы и раствора 1:2,5 и потенциометрическом определении рН.

Ход анализа:

На технических весах взвешивают навеску почвы сухой, растертой и пропущенной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, массой 10 г, помещают в стеклянный химический стаканчик емкостью 50 мл, приливают цилиндром 25 мл 1,0 н раствора КСl. Тщательно перемешивают стеклянной палочкой в течение 1 мин, оставляют на 18–24 ч и определяют потенциометрическим методом.

После настройки рН-метра или ионометра по трем буферным растворам с рН 4,01; 6,86 и 9,18 электроды погружают в суспензию, измеряют величину рН. Показания прибора считывают не ранее чем через 1 мин после погружения электродов в суспензию.

Во время работы настройку прибора периодически проверяют по буферному раствору с рН 4,01.

Форма записи результатов:

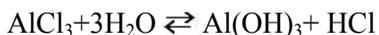
| Разрез, горизонт, глубина, см | № стаканчика | Навеска, г | Объем 1 н КСl, мл | Показания прибора |
|-------------------------------|--------------|------------|-------------------|-------------------|
| A ₂ (15–25) | 5 | 10 | 25 | 4,6 |

Реактивы: 1,0 н раствор КСl. 74,56 г КСl растворить в дистиллированной воде, перелить в мерную колбу и довести до метки 1 л (прил. 2).

2.4.3. Определение обменной кислотности и подвижного алюминия по Соколову

Катионы алюминия, которые вместе с ионами водорода легко переходят в равновесный раствор при взаимодействии кислых почв (рН < 5) с 1,0 н раствором КСl, называют подвижными [6].

Хлорид алюминия, образовавшийся в результате реакции, как соль слабого основания и сильной кислоты, в процессе гидролиза обогащает раствор добавочным количеством водородных ионов. Эту реакцию можно выразить уравнением



Метод А.В. Соколова позволяет одновременно с катионами алюминия (Al^{3+}) определить величину обменной кислотности. Принцип метода А.В. Соколова заключается в следующем: если к полученному раствору добавить достаточное количество фтористого натрия или калия, то содержащиеся в фильтрате ионы алюминия выпадают в осадок в виде нейтральной комплексной соли – криолита Na_3AlF_6 по реакции



Следовательно, метод позволяет определить в растворе в отделимости содержание ионов свободной кислоты (H^+) и алюминия

(Al^{3+}), так как, титруя сначала вытяжку в присутствии фенолфталеина (или бромтимолового синего) без прибавления фторида натрия, определяют общую обменную кислотность, а затем, оттитровав вторую порцию той же вытяжки, после осаждения алюминия фторидом, устанавливают кислотность, вызываемую только поглощенным H -ионом.

Ход анализа:

На технических весах отвешивают 100 г почвы, пропущенной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, и помещают в колбу емкостью 500 мл. Приливают 250 мл 1,0 н раствора KCl , взбалтывают 1 ч, затем фильтруют через сухой беззольный фильтр средней плотности (прил. 3). Для торфяных почв отношение навески к раствору берут не 1:2,5, а 1:5.

Отмеряют пипеткой две пробы прозрачного фильтрата по 50 мл каждая и помещают в конические колбы емкостью 250 мл. Содержание обеих колб нагревают до кипения для удаления CO_2 .

В одну из колб прибавляют 2–3 капли фенолфталеина и титруют горячий раствор 0,02 н раствором $NaOH$ до слабо-розовой окраски, не исчезающей 1 мин. Вместо фенолфталеина можно пользоваться индикатором бромтимоловым синим и титровать без нагревания до появления синей окраски индикатора.

Пошедшее на титрование этой пробы количество щелочи соответствует суммарному содержанию катионов $H^+ + Al^{3+}$, т.е. общей обменной кислотности.

В другую колбу прибавляют 3 мл 3,5%-ного раствора фторида натрия для связывания алюминия.

Содержимое колбочки хорошо перемешивают, дают осадку отстояться примерно 5 мин и титруют раствор той же щелочью, как и в первый раз. Титрованием определяют количество ионов водорода, перешедших непосредственно в раствор. В почвах легкого гранулометрического состава на второе титрование рекомендуется брать 100 мл вытяжки.

По разности миллилитров титрованного раствора $NaOH$, затраченных на первое и второе титрование, находят содержание водородных ионов, эквивалентных подвижному алюминию. Обычно на второе титрование щелочи расходуется меньше, чем на первое.

Когда подвижного алюминия в почве нет, на первое и второе титрование расходуется одинаковое количество щелочи.

Содержание подвижного алюминия вычисляют в мг·экв или в миллиграммах на 100 г почвы.

Расчет результатов анализа:

Обменную кислотность рассчитывают по формуле

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы } H \text{ г} = \frac{\text{мл} \times n \times 100 \times 1,75}{m},$$

где $H \text{ г}$ – обменная кислотность (мг·экв на 100 г почвы); мл – количество миллилитров NaOH, пошедшее на титрование; n – нормальность NaOH; 100 – для пересчета на 100 г почвы; 1,75 – поправка на неполноту вытеснения H^+ ; m – аликвотная навеска, г.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{100 \text{ г} \rightarrow 250 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 50 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{100 \times 50}{250} = 20 \text{ г}.$$

Пример вычисления обменной кислотности и подвижного алюминия. Для получения вытяжки к навеске воздушно-сухой почвы массой 100 г добавили из мерного цилиндра 250 мл 1,0 н раствора KCl, затем 1 ч перемешивали на ротаторе, после чего отфильтровали в чистую сухую колбу через беззольный фильтр. На первое титрование 50 мл вытяжки израсходовано 10,2 мл 0,02 н раствора NaOH. Обменная кислотность в мг·экв на 100 г почвы равна

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы } H \text{ г} = \frac{10,2 \times 0,02 \times 100 \times 1,75}{20} = 1,79.$$

Содержание подвижного алюминия рассчитывают по формуле

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы } \text{Al}^{3+} = \frac{(\text{мл1} - \text{мл2}) \times n \times 100 \times 9}{m},$$

где мл1 – количество миллилитров NaOH, пошедшее на первое титрование; мл2 – количество миллилитров NaOH, пошедшее на второе титрование; n – нормальность NaOH; 100 – для пересчета на 100 г почвы; 9 – величина мг·экв Al^{3+} ; m – аликвотная навеска, г.

Пример вычисления подвижного алюминия. При титровании второй пробы вытяжки в объеме 50 мл, израсходовано 6,50 мл раствора 0,02 н раствора NaOH.

Следовательно, на титрование ионов водорода, эквивалентных содержанию ионов Al^{3+} , требуется $10,2 - 6,5 = 3,7$ мл щелочи. Содержание подвижного алюминия в мг · экв на 100 г почвы равно

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы } Al^{3+} = \frac{(10,2 - 6,5) \times 0,02 \times 100 \times 9}{20} = 3,33.$$

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{100 \text{ г} \rightarrow 250 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 50 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{100 \times 50}{250} = 20 \text{ г}.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем вытяжки для титрования, мг | Объем вытяжки для титрования, мл | Аликвотная навеска, г | Кол-во 0,02 н NaOH, пошедшее на титрование, мл | | Нормальность NaOH | H ⁺ | Al ³⁺ |
|---|---------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|--|-----|-------------------|-------------------------|------------------|
| | | | | | | 1-е | 2-е | | мг · экв на 100 г почвы | |
| A ₁ A ₂ (5–15) | 2 | 100 | 250 | 50 | 20 | 10,2 | 6,5 | 0,02 | 1,79 | 3,33 |

Реактивы:

1. 1,0 н раствор KCl. 74,56 г KCl растворить в дистиллированной воде, перелить в мерную колбу и довести до метки 1 л.

2. 0,02 н раствор NaOH. Готовить из фиксаля.

3. Раствор фенолфталеина или бромтимолового синего. 1 г фенолфталеина растворяют в 60%-ном этиловом спирте и доводят до объема 100 мл.

4. 3,5%-ный раствор NaF. В дистиллированной воде без CO₂ растворяют 3,5 г х.ч. фторида натрия доводят до объема 100 мл. Раствор должен давать с фенолфталеином слабо-розовую окраску.

ку. При отсутствии таковой раствор подщелачивают. Если окраска явно розовая, избыток щелочи нейтрализуют раствором HCl.

2.4.4. Определение обменной кислотности по Дайкухара

Определение обменной кислотности позволяет выявить количественное содержание в почве наиболее подвижных ионов водорода и алюминия и степень участия их в гидролитической кислотности. По величине обменной кислотности вычисляют дозы извести для известкования торфяных и торфяно-болотных почв, а также для снижения кислотности в том случае, когда в севообороте имеются чувствительные к извести растения, например лен и картофель [6].

Ход анализа:

На технических весах взвешивают 40 г воздушно-сухой почвы, растертой и пропущенной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, и помещают в склянку. Приливают 100 мл 1,0 н раствора KCl, закрывают хорошо вымытыми и прокипяченными резиновыми пробками и взбалтывают 1 ч.

При массовых анализах длительное взбалтывание заменяют 3-минутным с последующим суточным настаиванием. При фильтровании солевой вытяжки следует пользоваться беззольными фильтрами диаметром 11–12,5 см (белая лента). Первые порции фильтрата (10–20 мл) отбрасывают. Вытяжку отфильтровывают полностью и только после этого приступают к титрованию.

50 мл фильтрата помещают в коническую колбу емкостью 250 мл, прибавляют 2–3 капли фенолфталеина и титруют на холоде 0,1 н раствором NaOH до появления розовой окраски, не исчезающей 1 мин. Можно вести титрование по индикатору бромтимоловому синему до голубой окраски. Рекомендованное во многих руководствах нагревание раствора перед титрованием при проверке дало одинаковые результаты с титрованием на холоду.

По количеству щелочи, затраченной на титрование, вычисляют величину обменной кислотности в мг-экв на 100 г воздушно-сухой почвы.

Однократной обработкой почвы раствором нейтральной соли извлекается не весь обменный водород, а только часть его, поэтому ис-

пользуют коэффициент 1,75, на который умножают полученную величину, чтобы получить представление о полной обменной кислотности. Некоторые исследователи данный коэффициент, называемый поправкой на неполноту вытеснения водорода, не вводят.

Определение обменной кислотности титрованием щелочью является лучшим методом оценки почвенной кислотности.

Расчет результатов анализа:

Обменную кислотность рассчитывают по формуле

$$H^+ = \frac{\text{мл} \times n \times 100 \times 1,75}{m},$$

где H^+ – обменная кислотность (мг·экв на 100 г почвы); мл – количество миллилитров NaOH, пошедшее на титрование; n – нормальность NaOH; 100 – для пересчета на 100 г почвы; m – аликвотная навеска, г.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{40 \text{ г} \rightarrow 100 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 50 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{40 \times 50}{100} = 20 \text{ г}.$$

Пример вычисления обменной кислотности. На титрование 50 мл солевой вытяжки затрачено 1,20 мл 0,1 н раствора NaOH. Следовательно, обменная кислотность в мг·экв H^+ на 100 г почвы в данном случае равна

$$H^+ = \frac{1,20 \times 0,1 \times 100 \times 1,75}{20} = 1,05.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем вытяжки для титрования, мл | Аликвотная навеска, г | Объем NaOH для титрования, мл | Нормальность NaOH, (n) | H^+ , мг·экв на 100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| A_1 | 1 | 40 | 50 | 20 | 1,2 | 0,1 | 1,05 |

Реактивы:

1. 1,0 н раствор KCl с pH 5,6–6,0. 74,56 г KCl растворить в дистиллированной воде, перелить в мерную колбу и довести до метки 1 л.

2. 0,1 н раствор NaOH. Раствор готовят из фиксанала или берут 4 г х.ч. NaOH, растворяют в воде без CO₂, затем доводят объем дистиллированной водой до 1 л. Нормальность раствора устанавливают по фиксаналу H₂SO₄ или по перекристаллизованной янтарной кислоте.

3. 1%-ный раствор фенолфталеина в 60%-ном спирте или 0,1%-ный раствор бромтимолового синего в 20%-ном спирте. 1 г фенолфталеина растворяют в 60%-ном этиловом спирте и доводят объем до 100 мл.

2.4.5. Определение гидролитической кислотности по Каллену

Гидролитическая кислотность образуется при взаимодействии почвы с раствором гидролитически щелочной соли. В России гидролитическую кислотность определяют при помощи 1,0 н раствора CH₃COONa с pH 8,2 при соотношении почва–раствор 1:2,5 для минеральных почв. Торфяные почвы и органогенные горизонты обладают высокой влагоемкостью, следовательно, соотношение почва–раствор составляет 1:25 или 1:150. В результате реакции образуется уксусная кислота, которую титруют щелочью. По объему щелочи, пошедшей на титрование, определяют количество ионов водорода, т.е. гидролитическую кислотность почвы [6].

Ход анализа:

На технических весах взвешивают 40 г воздушно-сухой почвы, растертой и пропущенной через сито с отверстиями диаметром 1 мм. Навеску почвы помещают в плоскодонную колбу емкостью 250 мл. Отмеряют цилиндром и приливают 100 мл 1,0 н раствора CH₃COONa, плотно закрывают пробкой и взбалтывают в течение 1 ч. Часовое взбалтывание можно заменить 3-минутным с последующим отстаиванием в течение 24 ч и периодическим (4–5 раз) взбалтыванием.

Раствор фильтруют через сухой складчатый фильтр диаметром 11–12,5 см (белая лента). Перед фильтрованием содержимое колбы

взбалтывают от руки и переносят на фильтр большую часть почвы. Первые 10–20 мл фильтрата отбрасывают, чтобы удалить примеси, перешедшие из фильтра. В дальнейшем, если фильтрат мутный, его повторно профильтровывают через тот же фильтр.

Пипеткой отмеряют 50 мл прозрачного фильтрата, помещают в коническую колбу емкостью 250 мл, прибавляют 2–3 капли фенолфталеина и титруют 0,1 н раствором NaOH до слабо-розовой окраски, не исчезающей в течение 1 мин. Если фильтрат окрашен в желтый цвет, титрование проводят со «свидетелем». По количеству затраченной на титрование щелочи вычисляют величину гидролитической кислотности в мг·экв H⁺ на 100 г воздушно-сухой почвы.

Расчет результатов анализа:

$$H_{\Gamma} = \frac{\text{мл} \times n \times 100 \times 1,75}{m},$$

где H_{Γ} – гидролитическая кислотность (мг·экв на 100 г почвы); мл – количество миллилитров NaOH, пошедшее на титрование; n – нормальность NaOH; 100 – для пересчета на 100 г почвы; 1,75 – поправка на неполноту вытеснения H⁺; m – аликвотная навеска, г.

Пример вычисления гидролитической кислотности. На титрование 50 мл фильтрата, израсходовано 4 мл 0,1 н раствора NaOH. Поскольку при однократной обработке почвы раствором CH₃COONa поглощенный водород вытесняется не полностью, полученную величину умножают на условный коэффициент 1,75.

Следовательно, гидролитическая кислотность будет равна в мг·экв H⁺ на 100 г почвы

$$H_{\Gamma} = \frac{4 \times 0,1 \times 100 \times 1,75}{20} = 3,5.$$

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{40 \text{ г} \rightarrow 100 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 50 \text{ мл}}; X_{\Gamma} = \frac{40 \times 50}{100} = 20 \text{ г}.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 1,0 н CH ₃ COONa, мл | Объем вытяжки для титрования, мл | Аликвотная навеска, г | Объем NaOH для титрования, мл | Нормальность NaOH (n) | N г, мг-экв на 100 г почвы |
|--------------------------|---------|------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| A ₁ (0–10) | 3 | 40 | 100 | 50 | 20 | 4 | 0,1 | 3,5 |

Реактивы:

1. 1,0 н раствор CH₃COONa·3H₂O. Отвешивают на технических весах 136 г трехводного уксуснокислого натрия, растворяют примерно в 500 мл дистиллированной воды, если нужно фильтруют и доводят раствор водой до 1 л. Переливают раствор в склянку, перемешивают и проверяют его рН (прил. 4).

Для этого берут 20–25 мл раствора в фарфоровую чашечку и прибавляют каплю фенолфталеина. Если раствор окрасится в слабо-розовый цвет, что соответствует рН 8,2, то он пригоден для работы. При отсутствии окраски титруют 0,1 н раствором NaOH и на основании этого титрования добавляют в раствор необходимое количество щелочи. При интенсивно красной окраске титруют 0,1 н раствором HCl до слабо-розовой окраски и добавляют в раствор необходимое количество кислоты, чтобы довести рН до 8,2. Раствор сохраняется плохо, поэтому его готовят непосредственно перед использованием.

2. 1%-ный раствор фенолфталеина в этиловом спирте. 1 г фенолфталеина растворяют в 60%-ном этиловом спирте и доводят объем до 100 мл.

3. 0,1 н раствор NaOH. Раствор готовят из фиксаля или растворением 4 г х.ч. NaOH в 1 л воды без CO₂. Титр устанавливают по фиксалю H₂SO₄ или перекристаллизованной янтарной кислоте.

2.5. Обменные основания почвы

Поглотительная способность почвы имеет очень большое значение для питания растений и процессов взаимодействия между почвой и вносимыми удобрениями. Поглощенные основания определяют реакцию среды и питательный режим почвы в целом. Присутствие в почвенном растворе различных солей обуславливает обменные реакции между твердой и жидкой фазами почвы. Из ППК могут вытесняться и обмениваться ионы кальция, магния, калия, аммония и др. Установлено, что одновалентные катионы в меньшей степени удерживаются почвой и вследствие этого доступнее растениям, чем двухвалентные [7].

Анионы участвуют в обменных реакциях. Почвы обладают различной поглотительной способностью, что учитывается при выборе доз, форм, сроков внесения удобрений.

Для определения суммы обменных катионов почв используют различные методы. Для кислых и слабокислых почв предлагается метод Каппена–Гильковица с применением 0,1 н HCl.

2.5.1. Определение суммы обменных оснований по Каппену–Гильковицу

Для общей характеристики и быстрой оценки суммы обменных оснований используют метод Каппена–Гильковица. Применение метода основано на положении, что при однократной обработке почвы 0,1 н раствором соляной кислоты ионы H^+ вытесняют из ППК все обменные основания и не разрушают его. Метод не используют, когда необходима точная оценка суммы обменных оснований.

При однократной обработке почвы кислотой в раствор переходят не все обменные основания, к тому же часть кислоты расходуется на побочные реакции, поэтому в подзолах и в дерново-подзолистых почвах показания этого метода преувеличены, а в черноземах – преуменьшены. Следовательно, данный метод дает только приближенное представление о сумме обменных основа-

ний в почве, его используют лишь в практических целях для вычисления степени насыщенности почв основаниями. Точное представление о сумме обменных оснований получают по данным определения обменных катионов [6].

Ход анализа:

20 г подзолистой (10 г черноземной) почвы, пропущенной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, отвешивают на технических весах, переносят в плоскодонную колбу и приливают пипеткой 100 мл 0,1 н раствора HCl точно установленной нормальности.

Содержимое колбы взбалтывают 1 ч, оставляют стоять на 24 ч, после чего фильтруют через складчатый фильтр (белая лента), перенося всю почву на воронку. Первые мутные порции фильтрата отбрасывают.

Берут пипеткой 50 мл прозрачного фильтрата и помещают в коническую колбу емкостью 250 мл, прибавляют 1–2 капли фенолфталеина и титруют остаток кислоты 0,1 н раствором NaOH до слабо-розовой окраски, не исчезающей 1 мин.

Титрование иногда осложняется тем, что выпадает осадок полуторных окислов, которые переходят в раствор в результате разрушающего действия соляной кислоты на алюмосиликатную часть почвенного поглощающего комплекса. В этом случае дают осадку осесть на дно и проверяют окраску прозрачной жидкости над осадком. Сумму обменных оснований вычисляют в мг·экв на 100 г почвы.

Расчет результатов анализа:

Суммы обменных оснований рассчитываются по формуле

$$S = \frac{(a \times N_1 - b \times N_2) \times 100}{m},$$

где S – сумма обменных оснований (мг·экв на 100 г почвы); a – количество фильтрата, взятое для титрования, мл; N_1 – нормальность HCl; b – количество NaOH, пошедшее на титрование испытуемого раствора, мл; N_2 – нормальность NaOH; 100 – для пересчета на 100 г почвы; m – аликвотная навеска, г.

Пример вычисления обменных оснований. Вытеснение обменных оснований проведено 0,1 н раствором соляной кислоты. На

титрование взято 50 мл фильтрата. На титрование истрчено 30 мл 0,1 н раствора NaOH. Сумма обменных оснований равна

$$S = \frac{(50 \times 0,1 - 30 \times 0,1) \times 100}{10} = 20 \text{ мг·экв на 100 г почвы.}$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 0,1 н HCl, мл | Аликвотная навеска, г | Объем вытязки для титрования, мл | Нормальность HCl (N ₁) | Объем NaOH для титрования, мл | Нормальность NaOH (n) | S, мг·экв на 100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| A ₁ (0–10) | 1 | 20 | 100 | 10 | 50 | 0,1 | 30 | 0,1 | 20 |

Реактивы:

1. 0,1 н раствор HCl. Нормальность кислоты должна быть не меньше 0,0900 и не больше 0,1100. Готовят из фиксаля (1 ампула на 10 л H₂O).

2. 0,1 н раствор NaOH. Раствор готовят из фиксаля или берут 4 г х.ч. NaOH и растворяют в воде без CO₂ и затем доводят объем дистиллированной водой до 1 л. Нормальность раствора устанавливают по фиксалю H₂SO₄ или по перекристаллизованной янтарной кислоте.

3. 1%-ный спиртовой раствор фенолфталеина. 1 г фенолфталеина растворяют в 60%-ном этиловом спирте и доводят объем до 100 мл.

2.5.2. Вычисление степени насыщенности почв основаниями

Степень насыщенности почв основаниями называют отношение суммы обменных оснований к емкости поглощения. Она показывает, какую часть всей емкости поглощения занимают обменные основания. Степень насыщенности основаниями – характерный показатель почвы. Эта величина позволяет решать многие вопросы. Особенно большое значение придают ей при обосновании таких мероприятий, как известкование и фосфоритование почв.

Степень насыщенности выражают в процентах и обозначают буквой V . В почвах, не содержащих поглощенного водорода (сероземы, каштановые, бурые, а также карбонатные черноземы), она равна 100%. В почвах с гидролитической кислотностью степень насыщенности меньше 100%. Чем больше в почве поглощенного водорода, тем меньше насыщенность основаниями [6].

Степень насыщенности кислых почв основаниями вычисляют по формуле

$$V = \frac{S \times 100}{S + Hг},$$

где V – степень насыщенности почв основаниями в %; S – сумма обменных оснований в мг·экв/100 г почвы, вычисленная по арифметической сумме обменных катионов или определенная методом Каппена–Гильковица; $Hг$ – гидролитическая кислотность в мг·экв/100 г почвы.

Пример вычисления степени насыщенности почв основаниями. Предположим, что сумма обменных оснований, определенная по Каппену–Гильковицу, равна 3,8 мг·экв/100 г почвы, а величина гидролитической кислотности – 4,4 мг·экв/100 г почвы. Степень насыщенности почв основаниями составляет

$$V = \frac{3,8 \times 100}{3,8 + 4,4} = 46\%.$$

Степень насыщенности почв основаниями учитывается при решении вопроса о нуждаемости почв в извести и обосновании доз известковых удобрений.

По нуждаемости в извести в зависимости от степени насыщенности основаниями кислые почвы делят на три группы.

I группа – почвы, степень насыщенности основаниями которых 50% и меньше. Такие почвы сильно нуждаются в известковании. Известь вносят в них в первую очередь.

II группа – степень насыщенности основаниями находится в пределах 50–70%. Почвы менее нуждаются в извести, и вопрос об их известковании решается в зависимости от величины рН солевой вытяжки.

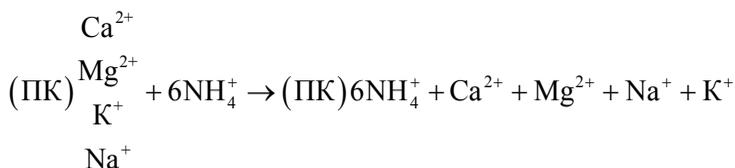
III группа – степень насыщенности основаниями больше 70%. Эти почвы не нуждаются в извести, так как степень кислотности их незначительна. Степень кислотности в процентах при 70% насыщенности равна $100\% - 70\% = 30\%$.

Степень насыщенности почв основаниями наряду с определением рН солевой вытяжки, гидролитической кислотности и суммы поглощенных оснований обязательно вычисляется при исследовании кислых почв в целях известкования.

2.5.3. Определение обменных катионов раствором хлорида аммония (метод Гедройца)

Метод считается наиболее пригодным для почв, насыщенных основаниями. Если почвы не насыщены основаниями, в раствор переходят полуторные окислы, которые осложняют определение обменных катионов. В растворе, кроме кальция и магния, определяют обменный натрий и калий.

Метод основан на вытеснении обменных катионов аммонийным ионом 1,0 н раствора NH_4Cl протекает по схеме



Образующиеся хлориды кальция, магния, натрия и калия легко растворимы, поэтому они переходят в раствор в процессе вытеснения.

Ход анализа:

На весах взвешивают от 2 до 20 г некарбонатной почвы, просеянной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, и помещают в небольшой стаканчик (100 мл) или фарфоровую чашечку. При анализе глинистых и богатых гумусом почв берут 2–2,5 г; для песчаных и супесчаных почв навеску увеличивают до 20 г и больше. К навеске почвы приливают такое количество 1,0 н раствора

NH_4Cl (рН 7,0), чтобы раствор покрыл почву слоем в 1 см. Почву с раствором перемешивают стеклянной палочкой и оставляют на 18 ч для более полного вытеснения обменных катионов. Затем декантируют осветленный раствор через плотный беззольный фильтр (синяя лента). Фильтрат собирают в колбу емкостью 500 мл. В процессе вытеснения нельзя делать перерывов в несколько суток, так как высыхание почвы способствует переходу в вытяжку необменных форм катионов.

После того как количество фильтрата составит примерно половину колбы, производят первую пробу на полноту вытеснения катионов. Для этого в чистую пробирку собирают 1–2 мл фильтрата, приливают 1 мл хлоридно-аммонийного буферного раствора (рН 10), добавляют несколько кристаллов гидросиламина солянокислого. Перемешивают раствор и вносят металлиндикатор хромоген черный. Синяя (голубая) окраска показывает отсутствие катионов кальция и магния. Если окраска фиолетовая, то обработку продолжают.

После полного вытеснения катионов кальция и магния прекращают обработку почвы раствором NH_4Cl , доводят объем раствора в мерной колбе дистиллированной водой до метки (250–500 мл), записывают объем раствора, так как это необходимо для расчета аликвотной навески. Раствор хорошо перемешивают и определяют в его аликвотных частях содержание обменного кальция и магния, а также других катионов, если это требуется.

Определение суммы обменных катионов

Из колбы отбирают пипеткой 25–50 мл полученного фильтрата, помещают в коническую колбу емкостью 250 мл. В раствор прибавляют несколько кристаллов (около 0,1 г) кристаллического гидросиламина солянокислого, тщательно перемешивают анализируемый раствор для связывания мешающих примесей. Разбавляют аликвотную часть дистиллированной водой до 100 мл. Если конические колбы, в которых проводится титрование, не имеют градуировки, то для ускорения аналитической работы рекомендуется нанести метки 100 мл и приливать воду без точного отмери-

вания цилиндром, поскольку это не влияет на точность измерения. Вытяжку рекомендуется нагреть на плитке до 70–80°C (появление первых пузырьков). В горячем растворе химическое равновесие устанавливается быстрее, изменение окраски более отчетливо и при стоянии прежняя окраска не восстанавливается.

Колбы затем переносят в вытяжной шкаф, приливают в них из цилиндра по 10 мл хлоридно-аммиачного буферного раствора, прибавляют хромоген черный, хорошо перемешивают раствор круговым движением и медленно титруют из бюретки 0,01 н раствором Трилона Б до изменения окраски в сине-голубую. Записывают в журнал объем (в мл) Трилона Б, пошедший на титрование вытяжки, и используют в дальнейшем для расчета.

Рекомендуется проводить холостой опыт для проверки содержания катионов в дистиллированной воде. Для этого необходимо взять 40 мл дистиллированной воды, которую используют в анализе, добавить все реактивы в том же количестве, как и при определении суммы поглощенных катионов, а также индикатор хромоген черный. Сине-голубая окраска свидетельствует об отсутствии катионов кальция и магния в воде. Если окраска будет винно-красная, то раствор следует оттитровать и учесть результаты титрования при расчете конечных результатов.

Определение обменного кальция

Из колбы с обменными катионами отбирают пипеткой 25–50 мл полученного фильтрата и помещают в коническую колбу емкостью 250 мл. В раствор прибавляют диэтилдитиокарбаминат натрия или 2–3 капли 1%-ного раствора Na_2S и несколько кристаллов (около 0,1 г) кристаллического гидроксилamina солянокислого, тщательно перемешивают анализируемый раствор для связывания мешающих примесей. Разбавляют аликвотную часть дистиллированной водой до 100 мл. Вносят на каждый миллилитр взятой аликвотной части 0,5 мл 10%-ного раствора NaOH или KOH или соответствующее количество 20%-ного раствора щелочи и добавляют еще небольшой избыток, чтобы обеспечить величину pH среды $\geq 12,5$. Прибавляют мурексид, перемешивают раствор круговым движением и медленно титруют 0,01 н раство-

ром Трилона Б при постоянном и энергичном перемешивании титруемого раствора.

Титрование по мурексиду ведут до изменения розовой окраски индикатора в фиолетовую. Титрование считается законченным, если фиолетовая окраска не изменится в своей интенсивности от добавления лишних 1–2 капель раствора Трилона Б. Титрование проводят со «свидетелем», в качестве которого берут перетитрованную пробу.

Расчет результатов анализа:

Процентное содержание обменного кальция вычисляют по формуле

$$\%Ca^{2+} = \frac{a \times T_{Ca} \times V \times 100}{\Gamma \times V_1} \times K,$$

где a – количество миллилитров Трилона Б, израсходованное на титрование кальция; T_{Ca} – титр 0,01 н раствора Трилона Б по кальцию составляет 0,0004008; V – объем всего раствора, полученного при вытеснении обменных катионов, мл; V_1 – аликвотная часть раствора, взятая на титрование иона кальция, мл; Γ – навеска воздушно-сухой почвы, взятая на определение обменных катионов, г; K – коэффициент пересчета воздушно-сухой почвы на высушенную при 105°C.

Пересчет процентного содержания в миллиграмм-эквиваленты производят по формуле

$$\frac{\%Ca \times 1000}{\text{экв вес Ca}} = \text{мг} \cdot \text{экв Ca}.$$

Эквивалентный вес кальция равен 20,04, следовательно, вычисление можно упростить, умножая процентное содержание кальция на коэффициент 49,9, равный $\frac{1000}{20,04} = 49,9$.

Пример вычисления обменного кальция. Вытеснение обменных катионов проведено из навески 5 г почвы. Содержание гигроскопической воды в анализируемой почве равно 3,24%. Коэффициент пересчета на навеску, высушенную при 105°C, равен 1,03. Филь-

трат солевой вытяжки собран в мерную колбу емкостью 500 мл, из которой на определение иона кальция взято 50 мл. На титрование израсходовано 4,4 мл 0,01 н раствора Трилона Б. Процентное содержание обменных катионов кальция по этим данным будет составлять

$$\%Ca^{2+} = \frac{4,4 \times 0,0004008 \times 500 \times 100}{5 \times 50} = 0,35.$$

Содержание обменного кальция в пересчете на мг·эquiv соответствует $0,35 \times 49,9 = 17,46$ мг·эquiv/100 г почвы. Из указанной величины следует вычесть содержание Ca^{2+} (мг·эquiv/100 г почвы) в водной вытяжке.

Определение обменного магния по разности

Обменный магний можно определять по разности. Для этого следует из объема (мл) Трилона Б, пошедшего на титрование суммы обменных оснований, вычесть количество (мл) Трилона Б, пошедшего на титрование обменного кальция. Далее рассчитать по формуле

$$\%Mg^{2+} = \frac{(a_1 - a) \times T_{Mg} \times V \times 100}{\Gamma \times V_1} \times K,$$

где a_1 – количество Трилона Б, израсходованное на титрование суммы обменных оснований, мл; a – количество мл Трилона Б, израсходованное на титрование кальция, мл; T_{Mg} – титр 0,01 н раствора Трилона Б по магнию составляет 0,0002432; V – объем всего раствора, полученного при вытеснении обменных катионов, мл; V_1 – аликвотная часть раствора, взятая на титрование иона кальция, мл; Γ – навеска воздушно-сухой почвы, взятая на определение обменных катионов, г; K – коэффициент пересчета воздушно-сухой почвы на высушенную при 105°C.

Пересчет процентного содержания магния в мг·эquiv/100 г почвы производят по формуле

$$\frac{\%Mg^{2+} \times 1000}{\text{эquiv вес Mg}} = \text{мг} \cdot \text{эquiv Mg}.$$

Вычисление упрощается, если $\% \text{Mg}^{2+}$ умножить на коэффициент 82,2, который рассчитывается как частное

$$\frac{1000}{12,16} = 82,2.$$

Оставшийся в колбе раствор используют для определения обменного калия и натрия пламеннофотометрическим методом.

Пример вычисления обменного магния. Вытеснение обменных катионов проведено из навески 5 г почвы. Содержание гигроскопической воды в анализируемой почве равно 3,24%. Коэффициент пересчета на навеску, высушенную при 105°C, равен 1,03. Фильтрат солевой вытяжки собран в мерную колбу емкостью 500 мл, из которой на определение иона кальция взято 50 мл. На титрование обменных катионов израсходовано 6,4 мл 0,01 н раствора Трилона Б. Процентное содержание обменных катионов кальция по этим данным будет составлять

$$\% \text{Mg}^{2+} = \frac{(6,4 - 4,4) \times 0,0002432 \times 500 \times 100}{5 \times 50} \times 1,03 = 0,10.$$

Содержание обменного магния в пересчете на мг·экв соответствует $0,10 \times 82,2 = 8,23$ мг·экв/100 г почвы. Из указанной величины следует вычесть содержание Mg^{2+} (мг·экв.) в водной вытяжке.

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 1,0 н NH_4Cl , мл (V) | Объем вытяжки для титрования, мл (V ₁) | Объем Трилона Б для титрования суммы $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, мл (a ₁) | Объем Трилона Б для титрования катионов Ca^{2+} , мл (a) | Объем Трилона Б для титрования катионов Mg^{2+} , мл (a ₁ -a) | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Сумма Ca ²⁺ +Mg ²⁺ |
|-----------------------|---------|------------------|---|--|---|---|---|------------------|------------------|--|
| | | | | | | | | % | | |
| A ₁ (0-10) | 2 | 5 | 500 | 50 | 6,4 | 4,4 | 2,0 | 0,35 | 0,10 | 0,45 |

Реактивы:

1. Дистиллированная вода, проверенная на отсутствие кальция и магния (для приготовления растворов реактивов). К 100 мл воды

приливают 10 мл хлоридно-аммиачного буферного раствора, прибавляют хромоген черный и перемешивают. Голубой цвет раствора говорит об отсутствии ионов кальция и магния в воде.

2. 1%-ный водный раствор сульфида натрия $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Раствор хранится не более 5 сут. Лучше пользоваться свежеприготовленным раствором. 1 г сульфида натрия растворяют в воде и в мерной колбе доводят до метки 100 мл.

3. Гидроксиламин солянокислый $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ сухой кристаллический препарат. Гидроксиламин не мешает титрованию комплексом III, поэтому его можно вводить в титруемый раствор в любых количествах.

4. 10%-ный раствор NaOH или KOH . 100 г NaOH или KOH растворяют в воде в термостойком стакане, непрерывно помешивая. Переливают раствор в мерную колбу и доводят водой до метки 1 л.

5. Хлоридно-аммиачный буферный раствор с pH 10. На 100 мл дистиллированной воды берут 20 г х.ч. NH_4Cl , растворяют в 200 мл дистиллированной воды, переливают в мерную колбу на 1 л, добавляют в нее 100 мл 25%-ного раствора NH_4OH , после чего раствор доливают дистиллированной водой до объема 1 л, тщательно перемешивают и используют в работе. Хранят в емкости с притертой пробкой. После длительного хранения обязательно проверить pH буфера.

6. Хромоген черный в виде сухой смеси. Сухую смесь индикатора хромогена черного, как и других металлоиндикаторов (мурексида, кислотного хром темно-синего), готовят растиранием в маленькой фарфоровой ступке 0,25 г индикатора с 25 г х.ч. NaCl или KCl до тонкого однородно окрашенного порошка. Хранят в темной банке с притертой пробкой.

7. Мурексид в виде сухой смеси с NaCl или KCl . 0,25 г индикатора мурексида смешивают с 25 г х.ч. NaCl или KCl , тщательно растирают в фарфоровой ступке до очень тонкого однородно окрашенного порошка. Хранят в темной банке с притертой пробкой.

8. Титрованный 0,01 н раствор Трилона Б. Готовят из фиксана-ла, растворяя содержимое ампулы в соответствующем объеме дистиллированной воды.

9. 1,0 н раствор NH_4Cl . 53,50 г NH_4Cl растворяют в стакане с дистиллированной водой, переносят в мерную колбу и доводят до метки 1 л. Раствор готовят в объеме 5–10 л. Проверяют приготовленный раствор на содержание катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , а также Na^+ и K^+ , если последние будут определяться. Доводят pH до 6,5–6,6 по индикаторной бумажке, добавляя необходимое количество NH_4OH .

2.5.4. Определения обменных катионов кальция и магния в некарбонатных почвах вытеснением 1,0 н раствором NaCl (метод И.В. Тюрина)

При обработке почвы раствором хлористого натрия, из почвы извлекают обменный и карбонатный кальций. Количество растворенного карбоната кальция учитывается титрованием общей щелочности раствора [8].

Вытеснение обменных катионов раствором хлористого натрия выражается реакцией



Навеску воздушно-сухой почвы массой 2 г, растертой и пропущенной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, помещают в плоскодонную колбу емкостью 250 мл, приливают 200 мл 1,0 н раствора NaCl . Содержимое колбы перемешивают и оставляют стоять 18–24 ч. Фильтруют через рыхлый фильтр (красная лента), перенося почву на фильтр по стеклянной палочке. Фильтрат собирают в колбу вместимостью 250 мл.

Определение суммы кальция и магния

В коническую колбу емкостью 250 мл помещают 25 мл фильтрата, приливают дистиллированной воды до 100 мл, добавляют несколько кристаллов гидроксилamina, диэтилдитиокарбаминат натрия на кончике шпателя или 2–3 капли 1%-ного раствора сульфида натрия (Na_2S). Нагревают содержимое колбы на плитке до

температуры 70–80°C (появления первого пузырька). В колбу приливают 5 мл хлоридно-аммиачного буферного раствора, добавляют хромоген (эриохром) черный и титруют 0,01–0,05 н раствором Трилона Б до сине-голубой окраски.

Одновременно проводят холостое определение с 25 мл 1 н раствора NaCl, используя все необходимые в опыте реактивы.

Определение кальция

В коническую колбу емкостью 250 мл помещают 25 мл фильтра и приливают 75 мл дистиллированной воды. В колбу добавляют несколько кристаллов гидроксилamina, 2–3 капли 1%-ного раствора сульфида натрия (Na₂S) или диэтилдитиокарбаминат натрия на кончике шпателя. В колбу приливают 13 мл 10%-ного раствора NaOH, 2,5 мл 0,5%-ного раствора соды (Na₂CO₃), добавляют мурексид и титруют 0,01–0,05 н раствором Трилона Б до синево-фиолетовой окраски. Титрование проводят со свидетелем.

Рекомендуется провести холостое определение с 25 мл 1,0 н раствора NaCl, используя все необходимые в опыте реактивы.

Расчет результатов анализа:

Количество поглощенных катионов кальция и магния в мг·экв/100 г почвы рассчитывают по формуле

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы} \sum \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = \frac{(a - a_1) \times N \times 100}{m},$$

где a – количество Трилона Б, пошедшее на титрование испытуемого раствора, мл; a_1 – количество Трилона Б, пошедшее на титрование холостого опыта, мл; N – нормальность Трилона Б; m – аликвотная навеска, г.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{2 \text{ г} \rightarrow 200 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 25 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{2 \times 25}{200} = 0,25.$$

Количество обменных катионов кальция рассчитывается по аналогичной формуле.

Количество обменных катионов магния находят по следующей разности:

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы } \text{Mg}^{2+} = \sum (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{Ca}^{2+}.$$

Пример вычисления обменных оснований. Вытеснение обменных катионов проведено из навески 2 г почвы. Содержание гигроскопической воды в анализируемой почве равно 3,24%. Коэффициент пересчета на навеску, высушенную при 105°C, равен 1,03. На титрование суммы обменных катионов израсходовано 8 мл, на титрование кальция – 6,5 мл 0,01 н раствора Трилона Б.

На титрование холостого опыта при определении суммы обменных катионов израсходовано 0,3 мл Трилона Б, при определении обменного кальция – 0,23 мл Трилона Б.

Содержание обменных катионов по этим данным будет составлять:

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы } \sum \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = \frac{(8 - 0,3) \times 0,01 \times 100}{0,25} \times 1,03 = 31,7;$$

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы } \text{Ca}^{2+} = \frac{(6,5 - 0,2) \times 0,01 \times 100}{0,25} \times 1,03 = 25,2.$$

Содержание обменного магния находим по следующей разности:

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы } \text{Mg}^{2+} = 31,7 - 25,2 = 6,5.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 1,0 н NaCl, мл | Объем вытяжки для титрования, мл | Аликвотная навеска, г | Объем Трилона Б для титрования суммы $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, мл (b) | Объем Трилона Б для титрования катионов Ca^{2+} , мл (a) | Нормальность Трилона Б | мг·экв/100 г почвы | | |
|-----------------------|---------|------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|---|---|------------------------|--------------------|------------------|---|
| | | | | | | | | | Ca^{2+} | Mg^{2+} | Сумма $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ |
| A_1 (0–10) | 1 | 2 | 200 | 25 | 0,25 | 8/0,3 _{хол} | 6,5/0,2 _{хол} | 0,01 | 25,2 | 6,2 | 31,7 |

Реактивы:

1. Дистиллированная вода, проверенная на отсутствие кальция и магния (для приготовления растворов реактивов). К 100 мл воды,

нагретой на плитке до первого пузырька (70–80°C), приливают 5 мл хлоридно-аммиачного буферного раствора, прибавляют хромоген черный и перемешивают. Голубой цвет раствора говорит об отсутствии ионов кальция и магния в воде.

2. 1,0 н раствор NaCl. Раствор готовят на хорошо прокипяченной дистиллированной воде. 58,45 г NaCl растворяют в стакане с дистиллированной водой, переносят в мерную колбу и доводят до метки 1 л. Раствор приготавливают в объеме 5–10 л, обязательно проверяют на содержание катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} .

3. 1%-ный водный раствор сульфида натрия $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$. 1 г сульфида натрия растворяют в воде и в мерной колбе доводят до метки 100 мл. Лучше пользоваться свежеприготовленным раствором. Раствор хранится не более 5 сут.

4. Гидроксиламин солянокислый $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ сухой кристаллический препарат. Гидроксиламин не мешает титрованию комплексом III, потому его можно вводить в титруемый раствор в любых количествах.

5. 10%-ный раствор NaOH или KOH. 100 г NaOH или KOH растворяют в воде в термостойком стакане, непрерывно помешивая стеклянной палочкой. Переливают раствор в мерную колбу и доводят водой до метки 1 л.

6. Хлоридно-аммиачный буферный раствор с pH 10. На 100 мл дистиллированной воды берут 20 г х.ч. NH_4Cl , растворяют в 200 мл дистиллированной воды, переливают в мерную колбу на 1 л, добавляют в нее 100 мл 25%-ного раствора NH_4OH , после чего раствор доливают дистиллированной водой до объема 1 л, тщательно перемешивают и используют в работе. Хранят в емкости с притертой пробкой. После длительного хранения обязательно проверить pH буфера.

7. Хромоген черный в виде сухой смеси. Сухую смесь индикатора хромогена черного, как и других металлоиндикаторов, приготавливают растиранием в маленькой фарфоровой ступке 0,25 г индикатора с 25 г х.ч. NaCl или KCl до тонкого однородно окрашенного порошка. Хранят в темной банке с притертой пробкой.

8. Мурексид в виде сухой смеси с NaCl или KCl. 0,25 г индикатора мурексида смешивают с 25 г х.ч. NaCl или KCl, тщательно

растирают в фарфоровой ступке до очень тонкого однородноокрашенного порошка. Хранят в темной банке с притертой пробкой.

9. Титрованный 0,01–0,05 н раствор Трилона Б. Готовят из фиксанала, растворяя содержимое ампулы в соответствующем объеме дистиллированной воды.

10. Диэтилдитиокарбаминат натрия. Используется сухой реактив.

11. 25%-ный раствор NH_4OH (прил. 5).

2.5.5. Определение обменных катионов кальция и магния в карбонатных почвах

При определении обменных оснований в карбонатных почвах предусматриваются приемы, позволяющие устранить или учесть влияние карбонатов кальция на результаты анализа. Предложено несколько вариантов методов определения, но ни один из них не является безупречным.

Есть мнение, что при анализе карбонатных почв следует ограничиваться определением емкости катионного обмена. Во-первых, в этих почвах среди обменных оснований преобладает кальций и его количественное определение не столь важно, а во-вторых, отсутствуют надежные методы определения состава обменных оснований.

Определение обменных катионов кальция и магния по Иванову

Метод определения обменных кальция и магния в почвах, содержащих CaCO_3 . Метод основан на вытеснении обменных оснований 3,0 н раствором NaCl и оценке количества кальция, перешедшего в фильтрат вследствие растворения карбоната кальция, по величине общей щелочности.

При этом допускают, что общая щелочность обусловлена исключительно карбонатными ионами и эквивалентна количеству катионов Ca^{2+} , перешедших в фильтрат вследствие растворения CaCO_3 . В фильтрате, полученном при обработке навески почвы 3,0 н раствором NaCl , определяют общее количество катионов

кальция и магния, вытесненных из ППК, катионы кальция, а также общую щелочность. Содержание обменных катионов кальция находят по разности между общим количеством эквивалентов кальция, выраженных числом миллиграмм-эквивалентов, и общей щелочностью фильтрата. Метод не используют при анализе почв, содержащих карбонат магния.

Перед началом анализа проводят реакцию на присутствие в почве углекислого магния: берут около 5 г почвы взбалтывают с 10–15 мл 3,0 н раствора хлористого натрия, к фильтрату прибавляют 2 капли фенолфталеина; отсутствие окрашивания или появление очень слабой розовой окраски укажет на отсутствие в почве $MgCO_3$, заметное порозовение укажет на присутствие в почве $MgCO_3$.

Ход анализа:

Навеску воздушно-сухой почвы массой 10 г, растертой и пропущенной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, помещают в плоскодонную колбу емкостью 250 мл, приливают 100 мл 3,0 н раствора NaCl. Содержимое колбы взбалтывают 5 мин и оставляют стоять на сутки (18–24 ч). Фильтруют через рыхлый фильтр (красная лента), перенося почву на фильтр по стеклянной палочке. Фильтрат собирают в колбу вместимостью 250 мл.

В полученном фильтрате определяют сумму обменных катионов, обменные катионы Ca^{2+} , общую щелочность.

Определение суммы катионов кальция и магния

В коническую колбу емкостью 250 мл помещают 10–15 мл фильтрата, приливают дистиллированной воды до 100 мл, добавляют несколько кристаллов гидросиламина, диэтилдитиокарбаминат натрия на кончике шпателя или 2–3 капли 1%-ного раствора сульфида натрия (Na_2S). Нагревают на плитке до температуры 70–80°C (появления первого пузырька). В колбу приливают 5 мл хлоридно-аммиачного буферного раствора, добавляют хромоген (эриохром) черный и титруют 0,01–0,05 н раствором Трилона Б до сине-голубой окраски.

Определение катионов кальция

В коническую колбу емкостью 250 мл помещают 10–15 мл фильтра и приливают дистиллированной воды до объема 100 мл. В колбу добавляют несколько кристаллов гидроксилamina, диэтилдитиокарбамат натрия на кончике шпателя или 2–3 капли 1%-ного раствора сульфида натрия (Na_2S). В колбу приливают 13 мл 10%-ного раствора NaOH , 2,5 мл 0,5%-ного раствора соды (Na_2CO_3), добавляют мурексид и титруют 0,01–0,05 н раствором Трилона Б до сиренево-фиолетовой окраски. Титрование проводят со свидетелем.

Расчет результатов анализа:

Сумма поглощенных катионов, а также количество катионов кальция в мг·эquiv/100 г почвы рассчитывают по формулам

$$\text{мг} \cdot \text{эquiv} / 100 \text{ г почвы} \sum \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = \frac{a \times N \times 100}{m} \times K,$$

$$\text{мг} \cdot \text{эquiv} / 100 \text{ г почвы} \text{Ca}^{2+} = \frac{a \times N \times 100}{m} \times K,$$

где a – количество Трилона Б, пошедшего на титрование, мл; N – нормальность Трилона Б; m – аликвотная навеска, г; K – коэффициент гигроскопической влаги.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{10 \text{ г почвы} \rightarrow \text{в } 100 \text{ мл}}{X \text{ г почвы} \rightarrow 10 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{10 \times 10}{100} = 1.$$

Из общего содержания кальция вычитают общую щелочность, выраженную в тех же величинах. Разность выражает количество обменного кальция в мг·эquiv/100 г почвы:

$$\text{мг} \cdot \text{эquiv} / 100 \text{ г почвы} \text{Ca}^{2+} = \text{Ca}^{2+} - \text{CO}_3^{2-}.$$

Количество обменных катионов магния рассчитывают по разности. Из суммы обменных катионов кальция и магния, выраженных в мг·эquiv /100 г почвы, вычитают количество обменного кальция, представленного в этих же единицах, используя формулу

$$\text{мг} \cdot \text{эquiv} / 100 \text{ г почвы} \text{Mg}^{2+} = \sum (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - \text{Ca}^{2+}.$$

Пример вычисления обменных оснований. Вытеснение обменных катионов проведено из навески 10 г почвы. Содержание гигроскопической воды в анализируемой почве равно 3,44%. Коэффициент гигроскопической влаги для пересчета на навеску, высушенную при 105°C, равен 1,03. На титрование суммы обменных катионов израсходовано 24,5 мл, на титрование кальция – 20 мл 0,01 н раствора Трилона Б. Общая щелочность составила 0,5 мг·экв /100 г почвы.

Сумма обменных катионов кальция по этим данным будет составлять

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы} \sum \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = \frac{24,5 \times 0,01 \times 100}{1} \times 1,03 = 25,2.$$

Количество поглощенных катионов кальция составляет

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы} \text{Ca}^{2+} = \frac{20,0 \times 0,01 \times 100}{1} \times 1,03 = 20,6.$$

Количество обменных катионов кальция рассчитываем по разности. Из общего содержания катионов кальция вычитаем общую щелочность, выраженную в тех же величинах:

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы} \text{Ca}^{2+} = 20,6 - 0,5 = 20,1.$$

Содержание обменного магния находим по разности

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы} \text{Mg}^{2+} = 25,2 - 20,1 = 5,1.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 3,0 н NaCl, мл | Объем вытяжки для титрования, мл | Аликвотная навеска, г | Объем Трилона Б для титрования суммы $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, мл (b) | Объем Трилона Б для титрования катионов Ca^{2+} , мл (a) | Нормальность Трилона Б | мг·экв/100 г почвы | | |
|-----------------------|---------|------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|---|---|------------------------|--------------------|------------------|---|
| | | | | | | | | | Ca^{2+} | Mg^{2+} | Сумма $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ |
| A ₁ | 1 | 10 | 100 | 10 | 1 | 24,5 | 20 | 0,01 | 20,6 | 4,6 | 33,0 |

Определение общей щелочности

Общую щелочность определяют путем титрования аликвотной части вытяжки 0,02 н раствором серной кислоты в присутствии метилоранжа, выражают в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. Пипеткой отбирают 50 мл полученного фильтрата, помещают в коническую колбу на 250 мл, добавляют 1–2 капли индикатора метилоранжа и титруют из микробюретки 0,02 н раствором H_2SO_4 до изменения желтой окраски в золотистую.

Расчет результатов анализа:

Общую щелочность рассчитывают по формуле

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы } CO_3^{2-} = \frac{c \times N \times 100}{m},$$

где c – количество 0,02 н H_2SO_4 , пошедшей на титрование, мл; N – нормальность H_2SO_4 ; m – аликвотная навеска, г.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{10 \text{ г почвы} \rightarrow 100 \text{ мл}}{X \text{ г почвы} \rightarrow 50 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{10 \times 50}{100} = 5.$$

Пример вычисления обменных катионов. Вытеснение обменных катионов проведено из навески 10 г почвы. Содержание гигроскопической воды в анализируемой почве равно 3,44%. Коэффициент пересчета на навеску, высушенную при 105°C, равен 1,03. На титрование общей щелочности израсходовано 1,2 мл 0,02 н H_2SO_4 . Общая щелочность по этим данным будет составлять

$$\text{мг} \cdot \text{экв} / 100 \text{ г почвы } HCO_3^- = \frac{1,2 \times 0,02 \times 100}{5} \times 1,03 = 0,5.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 3,0 н NaCl, мл | Объем вытяжки для титрования, мл | Аликвотная навеска, г | Объем 0,02 н H_2SO_4 для титрования общей щелочности мл (с) | Нормальность H_2SO_4 | Общая щелочность, мг-экв/100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|---|------------------------|--------------------------------------|
| $A_1(0-10)$ | 1 | 10 | 100 | 50 | 5 | 1,2 | 0,02 | 0,5 |

Реактивы:

1. Дистиллированная вода, проверенная на отсутствие кальция и магния (для приготовления растворов реактивов). 100 мл воды нагревают на плитке до первого пузырька (70–80°C), приливают 5 мл хлоридно-аммиачного буферного раствора, прибавляют хромоген черный и перемешивают. Голубой цвет раствора говорит об отсутствии ионов кальция и магния в воде.

2. 3,0 н раствор NaCl. 175,35 г NaCl растворяют в стакане с дистиллированной водой, переносят в мерную колбу и доводят до метки 1 л. Проверяют приготовленный раствор на содержание Ca^{2+} и Mg^{2+} .

3. 1%-ный водный раствор сульфида натрия $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$. 1 г сульфида натрия растворяют в воде и в мерной колбе доводят до метки 100 мл. Лучше пользоваться свежеприготовленным раствором. Раствор хранится не более 5 сут.

4. Гидроксиламин солянокислый $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ сухой кристаллический препарат. Гидроксиламин не мешает титрованию комплексом III, поэтому его можно вводить в титруемый раствор в любых количествах.

5. 10%-ный раствор NaOH или KOH. 100 г NaOH или KOH растворяют в воде в термостойком стакане, непрерывно помешивая стеклянной палочкой. Переливают раствор в мерную колбу и доводят водой до метки 1 л.

6. Хлоридно-аммиачный буферный раствор с pH 10. На 100 мл дистиллированной воды берут 20 г х.ч. NH_4Cl , растворяют в 200 мл дистиллированной воды, переливают в мерную колбу на 1 л, добавляют в нее 100 мл 25%-ного раствора NH_4OH , после чего раствор доливают дистиллированной водой до объема 1 л, тщательно перемешивают и используют в работе. Хранят в емкости с притертой пробкой. После длительного хранения обязательно проверить pH буфера.

7. Хромоген черный в виде сухой смеси. Сухую смесь индикатора хромогена черного, как и других металлоиндикаторов, готовят растиранием в маленькой фарфоровой ступке 0,25 г индикатора с 25 г х.ч. NaCl или KCl до тонкого однородно окрашенного порошка. Хранят в темной банке с притертой пробкой.

8. Мурексид в виде сухой смеси с NaCl или KCl. 0,25 г индикатора мурексида смешивают с 25 г х.ч. NaCl или KCl, тщательно растирают в фарфоровой ступке до очень тонкого однородно окрашенного порошка. Хранят в темной банке с притертой пробкой.

9. Титрованный 0,01–0,05 н раствор Трилона Б. Готовят из фиксанала, растворяя содержимое ампулы в соответствующем объеме дистиллированной воды.

10. 0,02 н H₂SO₄. Готовится из фиксанала. Одна ампула фиксанала H₂SO₄ растворяется в необходимом количестве раствора.

11. Диэтилдитиокарбаминат натрия. Используется сухой реактив.

2.6. Обеспеченность почв питательными элементами

2.6.1. Минеральный азот почвы и его формы

Азот входит в состав органических веществ почвы. Его валовое содержание в поверхностном горизонте почв варьирует в пределах 0,10–0,85%. На долю минеральных форм приходится 1–5% от общего количества.

Содержание азота в гумусе для всех почв, кроме каштановых, сероземов и красноземов, составляет около 5% (т.е. примерно $\frac{1}{20}$ часть). В почвенных горизонтах с высоким содержанием органического вещества наблюдается определенное соотношение C:N, которое служит показателем обогащения гумуса азотом [9].

Основная часть почвенного азота сосредоточена в органическом веществе почвы. Азот органического вещества почвы непосредственно недоступен для растений, поэтому об обеспеченности растений почвенным азотом судят по содержанию в почве его минеральных форм (аммиачных, нитратных и нитритных).

Органическое вещество – основной резерв, поставляющий растениям минеральный азот. В результате жизнедеятельности микроорганизмов, использующих органическое вещество почвы как источник энергии, происходит аммонификация азотсодержащих органических веществ. Значительная часть освободившегося

при этом аммония подвергается нитрификации. Нитраты и обменный аммоний являются основными источниками азота, обеспечивающими питание растений.

Аммоний присутствует в почвах в форме водорастворимых солей, обменного, а также фиксированного (необменного) аммония. В пахотных горизонтах преобладает обменный аммоний.

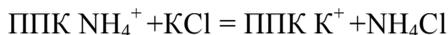
Нитраты находятся в почве в виде водорастворимых солей, отличаются высокой подвижностью, в связи с чем их содержание в почве подвержено большому варьированию. Из пахотных горизонтов почв, особенно легкого гранулометрического состава, нитраты могут вымываться поливными водами и атмосферными осадками в более глубокие горизонты, порой достигая уровня грунтовых вод. В образцах почвы, отобранных с одного и того же варианта опыта, но в различные сроки, содержание нитратов может значительно варьировать, поскольку эта форма соединений находится в тесной связи с температурой и влажностью почвы.

Содержание минеральных форм азота в почве весьма изменчиво и зависит от целого ряда факторов: микробиологических процессов – аммонификации, нитрификации, денитрификации, азотфиксации и других, гранулометрического состава; физико-химических свойств почвы; гидротермических условий периода вегетации растений, вида выращиваемой культуры. Поэтому определение минеральных форм азота в почвенных образцах устанавливает их содержание только для срока взятия образца, но не дает представления об обеспеченности растения почвенным азотом в течение вегетации, т.е. в динамике. Это позволяет рассчитать дозы и сроки внесения азотных удобрений, проведение подкормок. При недостатке азота у растений развивается хлороз. При усиленном азотном питании растения развивают мощную ассимилирующую поверхность и листья имеют темно-зеленую окраску (рис. 1, 2, на вклейке) [9].

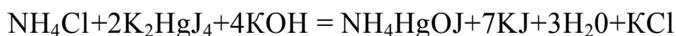
Содержание минерального азота в почве до посева и по фазам развития растений коррелирует с содержанием азота в вегетативных органах растений и величиной урожая сельскохозяйственных культур.

2.6.2. Определение содержания аммиачного азота

Основная часть аммонийного азота в почве находится в поглощенном или обменном состоянии и легко вытесняется из ППК другими катионами, например натрием или калием, поэтому определение содержания аммонийного азота в почве проводят в солевой вытяжке



Образовавшийся хлорид аммония при взаимодействии с реактивом Несслера в щелочной среде образует комплексное соединение оранжевого цвета – йодистый меркураммоний. Интенсивность полученной окраски пропорциональна содержанию аммония в растворе



Окрашенный раствор колориметрируют.

Ход анализа:

На технических весах взвешивают 10 г свежей или сухой почвы помещают в плоскодонную колбу емкостью 250 мл, приливают из цилиндра 10-кратное количество (100 мл) 2%-ного раствора KCl, приготовленного на безаммиачной воде, 1–2 капли толуола для подавления микробиологической деятельности. Колбу взбалтывают в течение 5 мин и оставляют на 18–24 ч или взбалтывают в течение 1 ч.

Вытяжку фильтруют через плотный фильтр, предварительно обработанный горячей безаммиачной водой для устранения примесей. Одновременно проводят холостое определение на чистоту реактивов. Для этого фильтруют 100 мл 2%-ного раствора KCl через обработанный фильтр, а в дальнейшем поступают также, как и с вытяжками из почвы.

Прежде чем начать определение аммиачного азота, следует провести испытание на его содержание в вытяжке. Для этого в пробирку помещают 5 мл вытяжки, прибавляют по 2 капли сегнетовой соли и реактива Несслера. Окраска должна быть чисто желтой, светлого оттенка. Раствор при окрашивании может быстро

помутнеть или приобрести буро-желтый цвет как от присутствия в фильтрате значительных количеств кальция и магния, так и от высокой концентрации аммония. В этом случае вытяжку следует разбавить (обязательно записать величину разбавления, чтобы в последующем учесть при расчетах) и снова провести испытание.

В зависимости от содержания аммония берут пипеткой от 5 до 40 мл вытяжки, помещают в мерную колбу емкостью 50 мл, прибавляют из мерной пипетки 2 мл сегнетовой соли и хорошо перемешивают круговыми движениями. Затем приливают из мерной пипетки 2 мл реактива Несслера и вновь хорошо перемешивают. Если в растворе появляется опалесценция, то прибавляют еще 2 мл сегнетовой соли, чтобы получить прозрачный раствор.

Безаммиачной водой доводят раствор в мерной колбе до метки, закрывают чистой пробкой, хорошо перемешивают, переворачивая колбу 5–6 раз. Через 2–3 мин можно проводить колориметрирование. В качестве раствора сравнения используют раствор с холостым определением аммония. Количество фильтрата, реактивов и их последовательность прибавления такое же, как при анализе с вытяжкой из почвы. Окраска полученных растворов сохраняется не более часа, при длительном стоянии появляется муть.

Если показания прибора высокие и отсчет концентрации по графику взять не представляется возможным, то опыт повторяют с меньшим количеством вытяжки. Разведение окрашенных растворов не допускается.

Расчет результатов анализа:

Содержание аммиачного азота рассчитывают по формуле

$$\text{мг / 100 г почвы } \text{N} - \text{NH}_4^+ = \frac{c \times 100}{m} \times K,$$

где c – концентрация по графику, мг/100 мл; m – аликвотная навеска, г; K – коэффициент для пересчета на сухую навеску.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{10 \text{ г почвы} \rightarrow 100 \text{ мл}}{X \text{ г почвы} \rightarrow 10 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{10 \times 10}{100} = 1.$$

Пример вычисления аммиачного азота. Для определения аммиачного азота взята навеска из 10 г свежей почвы. Содержание воды в анализируемой почве равно 15,44%. Коэффициент пересчета на навеску, высушенную при 105°C, равен 1,15. Концентрация аммиачного азота по графику 0,05 мг/100 мл.

$$\text{мг / 100 г почвы } \text{N} - \text{NH}_4^+ = \frac{0,05 \times 100}{1} \times 1,15 = 5,75.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 2%-ной KCl, мл | Объем аликвотной вытяжки, мл | Аликвотная навеска, г | Оптическая плотность (D) | Концентрация по графику (C), мг/100 мл | Коэффициент для пересчета на сухую почву | Аммиачный азот (N-NH ₄) мг/100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|--|--|--|
| A ₁ (0–10) | 1 | 10 | 100 | 10 | 1 | 0,48 | 0,05 | 1,15 | 5,75 |

Реактивы:

1. Дистиллированная вода без аммиака. К дистиллированной воде добавляют химически чистую соду до слабощелочной реакции (по лакмусовой бумажке) и упаривают на плитке на ¼ часть от первоначального объема, охлаждают. Не рекомендуется использовать теплую воду.

2. 2%-ный раствор KCl. Готовят на безаммиачной воде. 20 г KCl растворяют в 200 мл безаммиачной воды, переливают в мерную колбу на 1 л и доводят до метки этой же водой.

3. Раствор сегнетовой соли (KNaC₄H₄O₅·4H₂O – калий-натрий виннокислый). 50 г сухой соли растворяют в безаммиачной дистиллированной воде, переносят раствор в мерную колбочку на 100 мл и доводят до метки. Сегнетова соль часто бывает загрязнена аммиаком, поэтому следует проверять приготовленный раствор на содержание иона NH₄⁺. В случае его присутствия раствор из колбочки переливают в стакан емкостью 200 мл, прибавляют не-

много (по каплям) КОН или NaOH (до щелочной реакции) и после этого реактив кипятят до начала образования корки солей на стенках стакана. Раствор охлаждают, вновь переливают в мерную колбочку на 100 мл и разбавляют дистиллированной безаммиачной водой до прежнего объема.

4. Реактив Несслера. Используют готовый реактив. Перед работой проводят тест на пригодность реактива к анализу: к 10 мл безаммиачной дистиллированной воды прибавить 0,5 мл рабочего раствора с концентрацией 0,01 мг/мл NH_4^+ и 0,5 мл реактива Несслера. Если через минуту появится буроватая окраска, то реактив годен к анализу. Реактив хранится в емкостях из темного стекла. Цвет реактива светло-желтый.

5. Х.ч. реактив NH_4Cl для приготовления эталонного раствора и построения калибровочного графика.

6. Тoluол C_7H_8 в капельнице.

Построение калибровочного графика

При расчете результатов анализа на элемент азота для построения калибровочного графика необходимо приготовить исходный эталонный раствор. Следует рассчитать количество кристаллического NH_4Cl . Для этого вычисляют молекулярный вес NH_4Cl (53,49 г) умножают на концентрацию исходного раствора (0,1 г) и делят на массу N^+ (14,04 г) и получают 0,3810 г – навеску х.ч. NH_4Cl высушенного до постоянной массы при температуре 105°C. Навеску помещают в мерную колбу на 1 л, растворяют в безаммиачной дистиллированной воде, доводят раствор этой же водой до метки, хорошо перемешивают и получают раствор с содержанием 0,1 мг азота в 1 мл [6].

Рабочий раствор с концентрацией 0,01 мг/мл N получают путем разбавления эталонного раствора в 10 раз. Отмеряют пипеткой (или из бюретки) 10 мл раствора, помещают в мерную колбу на 100 мл, доводят до метки безаммиачной дистиллированной водой, закрывают пробкой и хорошо перемешивают.

Образцовые растворы готовят в мерных колбах емкостью 50 мл. Из бюретки отмеряют необходимое количество миллилит-

ров рабочего раствора, разбавляют безаммиачной водой до 40 мл, прибавляют по 2 мл сегнетовой соли, перемешивают круговыми движениями, приливают по 2 мл реактива Несслера, доводят до метки этой же водой, вновь хорошо перемешивают. Через 2–3 мин приступают к колориметрированию (светофильтр 3, длина волны 400–440 нм, кювета 30 мм, раствор сравнения – холостой). Результаты вносят в таблицу и приступают к построению калибровочного графика.

Для приготовления холостого образца в мерную колбу на 50 мл помещают около 40 мл безаммиачной воды, прибавляют по 2 мл сегнетовой соли, перемешивают круговыми движениями, приливают по 2 мл реактива Несслера, доводят до метки этой же водой, вновь хорошо перемешивают.

После колориметрирования приступают к построению калибровочного графика. По оси ординат откладывают оптическую плотность, по оси абсцисс – концентрацию N мг/100 мл.

Форма записи результатов для построения калибровочного графика:

| № эталона | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Количество рабочего раствора мл | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Концентрация N, мг/100 мл (C) | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,1 |
| Оптическая плотность (D) | | | | | | | | | | |

При определении аммиачного азота расчет иногда делают не на азот, а на ион аммония (NH_4^+). Для построения калибровочного графика необходимо приготовить исходный эталонный раствор на ион аммония NH_4^+ . Следует рассчитать количество кристаллического NH_4Cl . Для этого вычисляют молекулярный вес NH_4Cl (53,49 г) умножают на концентрацию исходного раствора (0,1 г) и делят на вес NH_4^+ (18,04 г) и получают 0,2965 г. – навеску х.ч. NH_4Cl , высушенного до постоянной массы при температуре 105°C. Навеску помещают в мерную колбу на 1 л, растворяют в

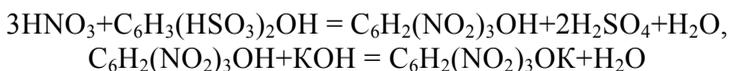
безаммиачной дистиллированной воде, доводят раствор этой водой до метки, хорошо перемешивают и получают раствор с содержанием 0,1 мг/мл.

Рабочий раствор с концентрацией 0,01 мг/мл NH_4^+ получают путем разбавления раствора в 10 раз. Для этого 10 мл эталонного раствора помещают в мерную колбу на 100 мл, доводят до метки безаммиачной дистиллированной водой. Далее определяют так же, как описано выше. Результаты вносят в таблицу и приступают к построению калибровочного графика.

2.6.3. Определение содержания нитратного азота дисульфифеноловым методом

Определение нитратов проводится в день взятия пробы и при естественной влажности почвы. Если анализ не может быть выполнен в этот же день, к почвенным образцам добавляют по 2 капли толуола и помещают в холодильник.

Метод определения нитратного азота основан на взаимодействии нитратов с дисульфифеноловой кислотой с образованием тринитрофенола (пикриновая кислота), который в щелочной среде дает желтую окраску за счет образования пикрата калия (или натрия в зависимости от используемой щелочи) в количестве, эквивалентном содержанию нитратов:



Интенсивность окраски определяют на фотоэлектроколориметре.

Ход анализа:

На технических весах взвешивают 20 г свежей почвы и помещают в колбу объемом 250 мл. Приливают цилиндром 5-кратное количество (100 мл) безаммиачной дистиллированной воды (или 0,05%-ного раствора K_2SO_4) и взбалтывают на ротаторе в течение 3 мин по песочным часам.

Фильтруют в сухую колбу через складчатый фильтр из плотной бумаги, предварительно промытый горячей безаммиачной водой,

стараясь перенести максимальное количество почвы на фильтр. Не следует наливать раствор в воронку более $\frac{1}{2}$ ее объема. Если фильтрат мутный, то его перефильтровывают через этот же фильтр.

Берут пипеткой 25–50 мл прозрачного фильтрата, помещают в фарфоровые чашки объемом 50–100 мл и выпаривают досуха на водяной бане. Рекомендуется следить, чтобы не происходило пересушивания сухого остатка с целью избежать потери нитратов. Чашки снимают с водяной бани и осадок досушивают на воздухе.

После охлаждения в чашки приливают пипеткой 1 мл дисульфодифеноловой кислоты и тщательно растирают сухой остаток небольшой стеклянной палочкой. Оставляют стоять 10 мин. Затем в каждую чашку приливают по 10–15 мл дистиллированной воды, небольшими порциями из пипетки 20%-ный раствор NaOH до появления устойчивой желтой окраски. Если раствор помутнеет, добавляют 2–3 капли щелочи, постоянно перемешивая стеклянной палочкой.

Содержимое чашек переносят в мерные колбы емкостью 50 или 100 мл через маленькую воронку без фильтра. Хорошо обмывают чашки и стеклянные палочки безаммиачной дистиллированной водой, переливая жидкость в колбы, доводят раствор до метки, закрывают пробками и перемешивают. Далее раствор колориметрируют (светофильтр 3 (синий), длина волны 400–440 нм). Содержание нитратного азота в мг/100 мл находят по калибровочному графику.

Если интенсивность окрасок велика, допускается разведение. Для этого берут часть окрашенного раствора и разбавляют до нужного объема. Результаты рассчитывают с учетом разбавления.

Расчет результатов анализа:

Содержание нитратного азота рассчитывают по формуле

$$\text{мг / 100 г почвы N - NO}_3^- = \frac{c \times 100}{m} \times K,$$

где c – концентрация по графику, мг/100 мл; m – аликвотная навеска, г; K – коэффициент для пересчета на сухую навеску.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{20 \text{ г почвы} \rightarrow 100 \text{ мл}}{X \text{ г почвы} \rightarrow 25 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{20 \times 25}{100} = 5.$$

Пример вычисления нитратного азота. Для определения нитратного азота взята навеска из 20 г свежей почвы. Содержание воды в анализируемой почве равно 15,44%. Коэффициент пересчета на навеску, высушенную при 105°C, равен 1,15. Содержание нитратного азота по калибровочному графику составляет 0,08 мг/100 мл.

$$\text{мг / 100 г почвы } \text{N-NO}_3^- = \frac{0,08 \times 100}{5} \times 1,15 = 1,84.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем H ₂ O, мл | Объем аликвотной вытяжки, мл | Аликвотная навеска, г | Оптическая плотность (D) | Концентрация по графику (C), мг/100 мл | Коэффициент для пересчета на сухую почву | Нитратный азот (N) мг /100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|
| A ₁ (0–10) | 1 | 20 | 250 | 25 | 5 | 0,76 | 0,08 | 1,15 | 1,84 |

Построение калибровочного графика

При определении нитратов результаты представляют в элементной форме (N). Взвешивают 0,7216 г перекристаллизованного и высушенного до постоянного веса при температуре 105°C х.ч. KNO₃, растворяют в мерной колбе на 1 л дистиллированной водой, прибавляют для консервации 1 мл толуола, доводят до метки водой, закрывают чистой пробкой и хорошо перемешивают. Полученный раствор содержит 0,1 мг/мл N [6].

Рабочий раствор с концентрацией 0,01 мг/мл N получают путем разбавления раствора в 10 раз. Для этого 10 мл эталонного раствора помещают в мерную колбу на 100 мл, доводят до метки дистиллированной водой. Раствор азотнокислого калия неустойчив, поэтому его готовят непосредственно перед определением.

Из бюретки в фарфоровую чашечку помещают определенное количество рабочего раствора. Раствор выпаривают досуха на водяной бане, снимают, охлаждают. Из пипетки приливают по

1 мл дисульфифеноловой кислоты, тщательно растирают стеклянной палочкой и оставляют стоять 10 мин. Затем в каждую из них приливают по 15 мл дистиллированной воды, нейтрализуют кислоту 20%-ным раствором щелочи NaOH (по каплям) до щелочной реакции, т.е. появления желтой окраски, затем добавляют еще одну каплю щелочи (избыток щелочи не мешает определению).

Форма записи результатов для построения калибровочного графика:

| № эталона | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Количество эталонного раствора, мл | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Концентрация NH_4^+ , мг/100 мл | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,1 |
| Оптическая плотность (D) | | | | | | | | | | |

Окрашенные растворы переносят в мерные колбочки на 50 мл (или 100 мл, в зависимости от содержания нитратов), небольшим количеством, но тщательно (3–4 раза) обмывают стеклянную палочку и чашечку дистиллированной водой, добавляя жидкость к раствору в колбочку. Доводят раствор до метки, хорошо перемешивают и приступают к колориметрированию. Окраска растворов неустойчива, поэтому сравнение окрасок производят сразу же. Цвет светофильтра – синий, длина волны 400–440 нм. Раствор сравнения – дистиллированная вода. Содержание нитратного азота рассчитывают в миллиграммах на 100 граммов сухой почвы.

При определении нитратов результаты иногда представляют не в элементной форме (N), а в содержании нитрат-ионов (NO_3^-). Для приготовления исходного эталонного раствора на нитрат-ион взвешивают 0,1631 г перекристаллизованного и высушенного до постоянного веса при температуре 105°C х.ч. KNO_3 , растворяют в мерной колбе на 1 л дистиллированной водой, прибавляют для консервации 1 мл толуола, доводят до метки водой, закрывают чистой пробкой и хорошо перемешивают. Полученный раствор со-

держит 0,1 мг/мл NO_3^- . Рабочий раствор готовят в день выполнения анализа путем разбавления эталонного раствора в 10 раз и получают раствор с содержанием NO_3^- 0,01 мг в 1 мл.

Дальнейшее определение и построение калибровочного графика проводят так же, как описано выше.

Реактивы:

1. Дисульфифеноловая кислота. Взвешивают 3 г чистого фенола, помещают в колбу емкостью 100 мл, приливают 20 мл концентрированной H_2SO_4 (плотность 1,84), закрывают корковой пробкой со стеклянной трубкой длиной 50–55 см, которая служит обратным холодильником. Конец трубки в пробке должен находиться на уровне ее нижней поверхности, чтобы сгущающиеся пары воды стекали по стенкам колбы, а не падали каплями в реактивную смесь. Содержимое хорошо перемешивают, после чего ставят на горячую водяную баню и выдерживают на ней 6 ч. Приготовленную дисульфифеноловую кислоту переливают в склянку из темного стекла с притертой пипеткой.

2. 20%-ный раствор NaOH . Взвешивают 20 г NaOH , помещают в стакан и приливают примерно 50–60 мл дистиллированной воды, непрерывно помешивая стеклянной палочкой до полного растворения. Переливают раствор в мерную колбу на 100 мл, доводят водой до метки, хорошо перемешивают.

2.6.4. Фосфор в почве и его формы

Фосфор в почве находится в форме органических и минеральных соединений и большая его часть недоступна для растений. Содержание фосфора варьирует от 0,01% – в бедных песчаных до 0,2% – в мощных высокогумусных почвах.

В результате процессов гидролиза, протекающих в почве, труднорастворимые соединения, такие как ортофосфаты кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и магнезия $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, могут переходить в растворимые формы. Переход соединений фосфора из недоступных форм в доступные для растений и обратно происходит как под влиянием естественных факторов, так и антропогенных [9].

Современные представления о фосфатном режиме почв основаны на том, что растения поглощают фосфор в основном в форме ортофосфатов, содержащихся непосредственно в почвенном растворе. Процесс перехода фосфатов в почвенный раствор из твердой фазы почвы весьма динамичный, зависит от целого ряда внешних и внутренних факторов: запаса всех форм природных фосфатов в соединениях разной степени прочности; остаточного количества фосфора от внесенных удобрений; емкости поглощения почв в отношении фосфат-ионов; условий, влияющих на процесс трансформации фосфатов (температура, влажность, степень кислотности, катионный состав ППК и т.д.); деятельности корневой системы растений и других факторов.

Для характеристики фосфатного режима почв определяют следующие показатели: содержание валового фосфора, общее содержание минеральных и органических фосфатов, минеральные формы фосфатов, подвижные соединения фосфатов, степень подвижности фосфатов, потенциальную буферную способность почв в отношении фосфатов.

2.6.5. Методики определения содержания фосфора в почве

Эффективное плодородие почв в отношении фосфатов определяется запасом подвижных форм фосфора. К этой группе относятся различные формы почвенных фосфатов, находящихся в динамическом равновесии «твердая фаза почвы – раствор». Степень доступности растениям подвижных фосфатов зависит от химических, физико-химических, физических свойств данного типа почвы, сезонной динамики ее водного, воздушного и теплового режимов, биологической активности почвы, биологических особенностей возделываемых растений, применяемых удобрений и других факторов.

Доступными для усвоения растениями и микроорганизмами являются:

1. Соли ортофосфорной кислоты: однозамещенные соли калия, натрия, аммония, кальция и магния, растворимые в воде.

2. Двухзамещенные CaHPO_4 и MgHPO_4 , растворимые в слабых кислотах.

3. Труднорастворимые трехзамещенные $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, AlPO_4 , FePO_4 , которые могут давать растворимые соединения в результате гидролиза в почве.

Содержание водорастворимых фосфатов в почве незначительно и составляет 2–3 мг на 1 кг почвы, так как они быстро потребляются растениями и микроорганизмами. В связи с этим доступной считается часть почвенных фосфатов, которая переходит в слабокислую вытяжку. Предполагают, что слабые кислоты по силе воздействия на ППК соответствуют воздействию корневой системы растений.

Для разработки рациональной системы удобрения в хозяйствах необходимо знать количество в почве как общего (валового), так и подвижного фосфора. Выбор формы фосфорного удобрения для каждой почвы, сроки и способы, дозы внесения их зависят от общего уровня плодородия почвы и количества подвижных фосфатов.

Для определения подвижных форм фосфора в почвах существуют различные методы, которые различаются, прежде всего, выбором реактива для получения соответствующей вытяжки.

Фосфаты, доступные растениям, представлены в основном фосфатами, осажденными или адсорбированными на поверхности твердой фазы почвы и фосфатами почвенного раствора.

Для определения подвижных фосфатов на кислых и слабокислых почвах, как правило, применяют кислотные вытяжки и различные буферные смеси с исходным рН в пределах 1–5, в то время как на карбонатных почвах – буферные смеси с рН 3,2–5,0 и щелочные вытяжки с рН 8,5–11,0. Конечное определение различных форм фосфатов в растворе сводится к определению содержания ортофосфорной кислоты.

Ортофосфат PO_4^{3-} в слабокислой среде при определенной концентрации ионов водорода образует с молибденом фосфорномолибденовую гетерополиоксиду состава $\text{H}_7[\text{P}(\text{Mo}_2\text{O}_7)_6]_n \cdot n\text{H}_2\text{O}$, окрашенную в желтый цвет. При добавлении восстановителя к раствору этого комплекса, входящий в него шестивалентный молибден частично восстанавливается с образованием фосфорно-

молибденовой сини, окрашивающей раствор в голубой или синий цвет. По интенсивности окраски определяют содержание фосфора в исследуемом растворе. При этом следует подбирать такие условия анализа, при которых восстанавливался бы молибден, связанный с фосфором, и не восстанавливалась остальная часть молибдена, которая находится в растворе в избытке. Это достигается определенным соотношением реактивов: минеральной кислоты (H_2SO_4 , HCl , HClO_4), молибденовокислого аммония и восстановителя (SnCl_2 , аскорбиновой кислоты, сернокислого гидразина, гидрохинона и т.д.).

Следует помнить, что гетерополиоксид образуется в слабокислой среде, а в сильноокислых растворах часть ее разрушается.

Выбор методики определения фосфора в почве зависит от насыщенности почвы основаниями и от степени карбонатности.

*Определение подвижных форм фосфора по Курсанову
в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207)*

Метод считается стандартным для кислых почв Нечерноземной зоны [10]. Сущность метода состоит в извлечении подвижных фосфатов из почвы 0,2 н раствором HCl при соотношении почва – раствор 1:5. Для органогенных горизонтов соотношение увеличивается и составляет 1:50.

Ход анализа:

Из воздушно-сухого образца почвы, растертого и просеянного через сито с диаметром отверстий 1 мм, взвешивают на технических весах 10 г почвы (для органогенных горизонтов – 1 г). Помещают навеску почвы в колбу объемом 100 мл. Приливают из бюретки 50 мл 0,2 н раствора HCl . Температура экстрагирующего раствора должна быть $18 \pm 3^\circ\text{C}$. Взбалтывают на ротаторе 1 мин, дают отстояться суспензии 15 мин и фильтруют через воронку со складчатым бумажным беззольным фильтром. Необходимо помнить, что при определении фосфора в любых объектах нужно пользоваться только беззольными фильтрами!

Для определения берут 3–5 мл фильтрата, в зависимости от ожидаемого количества фосфора, в мерную колбу объемом 50 или

100 мл и приливают 40–45 мл дистиллированной воды. После этого в колбы добавляют 2 мл 2,5%-ного раствора молибденово-кислого аммония в серной кислоте и хорошо перемешивают содержимое круговым движением.

Для окрашивания раствора приливают в колбы по 3 капли свежеприготовленного раствора хлористого олова, доводят дистиллированной водой до метки, закрывают чистыми пробками и перемешивают 3–4-кратным перевертыванием колбы.

Через 10–15 мин колориметрируют на фотоэлектроколориметре при длине волны 600–750 нм (красный светофильтр).

Если окраска раствора не чисто синяя, а мутно-зеленоватая (что может быть связано с малым содержанием подвижного фосфора, или избытком ионов трехвалентного железа, или присутствием органических веществ), нужно повторить окрашивание с большим количеством вытяжки, или восстановить Fe^{3+} металлическим алюминием, или обесцветить окрашенные вытяжки активированным углем и разбавить их. Оставшуюся часть анализируемых вытяжек используют для определения калия.

Расчет результатов анализа:

Количество подвижного фосфора рассчитывают по формуле

$$\text{мг} / 100 \text{ г } \text{P}_2\text{O}_5 = \frac{a \times 100}{m} \times K,$$

где a – количество P_2O_5 по графику, мг; K – коэффициент гигроскопической влажности почвы; m – аликвотная навеска почвы, г; 100 – пересчет на 100 г почвы.

Пример расчета подвижных форм фосфора. Для колориметрования взяли 5 мл фильтрата, следовательно, аликвотная навеска равна 1 г почвы. Показание ФЭК – 0,25. Количество миллиграмм P_2O_5 , найденное по калибровочному графику, – 0,02. Коэффициент гигроскопической влажности равен 1,03.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{10 \text{ г} \rightarrow 50 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 5 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{10 \times 5}{50} = 1 \text{ г}.$$

$$\text{Количество мг/100 г P}_2\text{O}_5 = \frac{0,02 \times 100}{1} \times 1,03 = 2,06.$$

Если необходимо рассчитать в мг/1 000 г почвы, то результаты, полученные в мг/100 г почвы, умножают на 10.

Форма записи результатов:

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------|------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|--|--|--|
| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 0,2 н раствора HCl, мл | Объем аликвотной вытяжки, мл | Аликвотная навеска, г | Оптическая плотность (D) | Концентрация по графику (C), мг/100 мл | Коэффициент для пересчета на сухую почву | P ₂ O ₅ мг/100 г почвы |
| A ₁ (0–10) | 1 | 10 | 50 | 5 | 1 | 0,25 | 0,02 | 1,03 | 2,06 |

Обеспеченность почв легкорастворимыми фосфатами, доступными для сельскохозяйственных культур, оценивают по показателям, приведенным в табл. 2 [6].

Т а б л и ц а 2

**Обеспеченность почв подвижными фосфатами (мг/100 г почвы)
по содержанию их в вытяжке Кирсанова**

| Степень обеспеченности | Зерновые, зернобобовые | Корнеплоды, картофель | Овощные, технические культуры |
|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Очень низкая | <3 | <8 | <15 |
| Низкая | 5 | 15 | 20 |
| Средняя | 8–15 | 15–20 | 20–30 |
| Высокая | >15 | >20 | >30 |

Реактивы:

1. 0,2 н раствор HCl. 16,4 мл концентрированной HCl плотностью 1,19 разбавляют в мерной колбе дистиллированной водой до 1 л и перемешивают.

2. Раствор молибденовокислого аммония в 10,0 н H₂SO₄. Сначала готовят раствор серной кислоты. В термостойкую колбу наливают 500 мл дистиллированной воды и осторожно при поме-

шивании вливают в нее 280 мл концентрированной серной кислоты плотностью 1,84. Происходит разогревание раствора, в связи с этим колбу ставят на асбест и охлаждают до комнатной температуры. Готовят водный раствор молибденовокислого аммония: 25 г х.ч. реактива растворяют в 200 мл дистиллированной воды, нагретой до 60°C, раствор фильтруют через плотный беззольный фильтр (синяя лента) и охлаждают до комнатной температуры.

Приготовленный раствор молибденовокислого аммония вливают небольшими порциями в раствор серной кислоты при постоянном помешивании. После охлаждения раствор доводят дистиллированной водой до метки 1 л. Хорошо перемешанный реактив переливают в склянку из темного стекла. Раствор устойчив и может храниться длительное время.

3. Раствор двуххлористого олова $\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Раствор готовят в день проведения анализа. 2,5 г двуххлористого олова растворяют в 100 мл 10%-ного раствора соляной кислоты. Растворение протекает медленно, поэтому для ускорения процесса колбу с раствором ставят на разогретую водяную баню. Может образоваться муть, которая не мешает определению, поскольку растворяется при взаимодействии с кислым раствором молибденовокислого аммония.

Построение калибровочного графика

Для построения калибровочного графика готовят основной эталонный раствор P_2O_5 . Для этого 0,1917 г KH_2PO_4 (х.ч.) растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды в мерной колбе емкостью 1 л, доводят водой до метки, плотно закрывают чистой пробкой, перемешивают и получают раствор с содержанием 0,1 мг P_2O_5 в 1 мл. Этот раствор используют как запасной и хранят в темном месте.

Для составления серии эталонных растворов готовят рабочий эталонный раствор. Рабочий эталонный раствор с концентрацией 0,01 мг/мл P_2O_5 получают путем разбавления раствора в 10 раз. Для этого 10 мл эталонного раствора помещают в мерную колбу на 100 мл, доводят до метки дистиллированной водой. Приготовленный раствор неустойчив, поэтому его готовят непосредственно перед определением.

Серия эталонных растворов готовится непосредственно перед построением калибровочного графика. Берут 10 чистых мерных колб емкостью 100 мл и в каждую из них из бюретки приливают определенное количество рабочего раствора $\text{KН}_2\text{PО}_4$ с содержанием 0,01 мг P_2O_5 в 1 мл. Результаты записывают в таблицу. Измерение оптической плотности проводят в кювете с длиной рабочей грани 30 мм.

Форма записи результатов для построения калибровочного графика:

| № эталона | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Количество эталонного раствора, мл | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| Концентрация P_2O_5 , мг/100 мл | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,20 |
| Оптическая плотность (D) | | | | | | | | | | |

Содержание фосфора в разных объектах различно, поэтому часто при фотометрическом определении элемента не ограничиваются одним калибровочным графиком, а пользуются несколькими.

При окрашивании эталонных растворов поступают так же, как и при окрашивании анализируемых. В мерные колбы емкостью 100 мл из бюретки отмеряют определенное количество рабочего раствора $\text{KН}_2\text{PО}_4$ с содержанием 0,01 мг P_2O_5 в 1 мл, приливают 50 мл дистиллированной воды, добавляют 2 мл 2,5%-ного раствора молибденовокислого аммония в серной кислоте и хорошо перемешивают содержимое круговым движением. Для окрашивания раствора приливают в колбы по 3 капли свежеприготовленного раствора хлористого олова, доводят дистиллированной водой до метки, закрывают чистыми пробками и перемешивают 3–4-кратным перевертыванием колбы.

Через 10–15 мин колориметрируют на фотоэлектроколориметре при длине волны 600–750 нм (красный светофильтр).

При построении калибровочного графика по оси абсцисс (OX) откладывают концентрацию P_2O_5 , по оси ординат (OY) – показания оптической плотности.

*Определение подвижных форм фосфора по методу Чирикова
в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204)*

Метод является стандартным для определения подвижного фосфора и калия в серых лесных почвах и некарбонатных черноземах, а также других почвах лесостепной и степной зоны. Не используется для карбонатных горизонтов. Сущность метода заключается в извлечении подвижного фосфора из почвы 0,5 н раствором CH_3COOH при соотношении почва – раствор 1:25 и последующем определении на фотоэлектроколориметре [10].

Обеспеченность почв легкорастворимыми фосфатами, доступными для сельскохозяйственных культур, оценивают по показателям, приведенным в табл. 3 [6].

Т а б л и ц а 3

**Обеспеченность почв подвижными фосфатами (мг/100 г почвы)
по содержанию их в вытяжке Чирикова**

| Степень обеспеченности | Зерновые, зернобобовые | Корнеплоды, картофель | Овощные, технические культуры |
|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Очень низкая | <2 | <5 | <10 |
| Низкая | <5 | <10 | <15 |
| Средняя | 5–10 | 10–15 | 15–20 |
| Высокая | >10 | >15 | >20 |

Ход анализа:

На технических весах взвешивают 4 г воздушно-сухой почвы, помещают в колбу объемом 200–250 мл. В колбу приливают 100 мл 0,5 н уксусной кислоты (CH_3COOH). Взбалтывают на ротаторе 1 ч и оставляют на 18–24 ч, после чего отфильтровывают через сухой бумажный беззольный фильтр. Первые порции фильтрата отбрасывают, чтобы освободиться от примесей. Вытяжка должна быть совершенно прозрачной, но если она мутная, ее перефильтровывают.

В мерную колбу емкостью 50–100 мл отмеряют пипеткой 5–20 мл исходного раствора в зависимости от предполагаемого содержания фосфора в почве, приливают 40–45 мл дистиллированной воды. После этого в колбы добавляют 2 мл 2,5%-ного раствора

молибденовокислого аммония в серной кислоте и хорошо перемешивают содержимое круговым движением.

Для окрашивания раствора приливают в колбы по 3 капли свежеприготовленного раствора хлористого олова, доводят дистиллированной водой до метки, закрывают чистыми пробками и перемешивают 3–4-кратным перевертыванием колбы.

Расчет результатов анализа:

Количество подвижного фосфора рассчитывают по формуле

$$\text{мг} / 100 \text{ г } \text{P}_2\text{O}_5 = \frac{a \times 100}{m} \times K,$$

где a – количество P_2O_5 по графику, мг; K – коэффициент гигроскопической влажности почвы; m – аликвотная навеска почвы, г; 100 – пересчет на 100 г почвы.

Пример расчета подвижных форм фосфора. Для определения (окрашивания) взяли 10 мл фильтрата, следовательно, аликвотная навеска равна 0,4 г почвы. Показание ФЭК – 0,35. Количество мг P_2O_5 , найденное по калибровочному графику, – 0,04. Коэффициент гигроскопической влажности равен 1,03.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{4 \text{ г} \rightarrow 100 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 10 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{4 \times 10}{100} = 0,4.$$

$$\text{Содержание мг} / 100 \text{ г } \text{P}_2\text{O}_5 = \frac{0,04 \times 100}{0,4} \times 1,03 = 10,3.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 0,5 н раствора CH_3COOH , мл | Объем аликвотной вытяжки, мл | Аликвотная навеска, г | Оптическая плотность (D) | Концентрация по графику (C), мг/100 мл | Коэффициент для пересчета на сухую почву | P_2O_5 мг / 100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|--|------------------------------|-----------------------|------------------------------|--|--|---|
| $A_1(0-10)$ | 1 | 4 | 50 | 10 | 0,4 | 0,35 | 0,04 | 1,03 | 10,3 |

Реактивы:

0,5 н раствор уксусной кислоты. В мерную колбу емкостью 1 л наливают дистиллированной воды более 500 мл, добавляют 30 мл концентрированной уксусной кислоты и доводят водой до метки 1 л. Нормальность раствора проверяют ареометром (плотность 0,5 н раствора CH_3COOH равна 1,0026) или титрованием раствором NaOH в присутствии индикатора фенолфталеина.

Определение подвижных форм фосфора по методу Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205)

Метод принят стандартным для определения подвижных фосфатов и калия в карбонатных черноземах, каштановых, бурых, серо-бурых, коричневых почвах, сероземах, а также других карбонатных почвах. Не применяется метод для горизонтов, содержащих гипс [10].

Метод основан на извлечении подвижных соединений фосфора и калия из почвы 1%-ным раствором углекислого аммония с рН 9,0 при $25 \pm 2^\circ\text{C}$ при соотношении почва – раствор 1:20. В вытяжку переходят моно- и дифосфаты кальция, а также в незначительном количестве малорастворимые трифосфаты кальция и органические соединения фосфора.

Оценка обеспеченности почвы доступными для питания растений фосфатами проводится по данным, представленным в табл. 4 [6].

Т а б л и ц а 4

Обеспеченность почв подвижными фосфатами по содержанию P_2O_5 в вытяжке Мачигина, мг P_2O_5 на 100 г почвы

| Степень обеспеченности | Зерновые, хлопчатник | Корнеплоды | Овощные культуры |
|------------------------|----------------------|------------|------------------|
| Очень низкая | <1,0 | <1,5 | <3,0 |
| Низкая | <1,5 | <3,0 | <4,5 |
| Средняя | 1,5–3,0 | 3,0–4,5 | 4,5–6,0 |
| Высокая | >3,0 | >4,5 | >6,0 |

Ход анализа:

5 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм, помещают в плоскодонную колбу емкостью

250 мл и приливают 100 мл 1%-ного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Взбалтывают на ротаторе 5 мин и оставляют на 18–20 ч при температуре $25 \pm 2^\circ\text{C}$ (желательно в термостате).

Через 18–24 ч суспензию перемешивают и фильтруют через беззольный фильтр. Если фильтрат бесцветный или слабо окрашен, то фосфор в нем определяют без предварительной обработки.

Если вытяжка окрашена органическим веществом, то следует провести обесцвечивание. Для этого в мерную колбу емкостью 100 мл помещают 10–50 мл вытяжки, добавляют 2–3 мл 10%-ной H_2SO_4 , 1 мл 0,5 н KMnO_4 и кипятят на плитке в течение 2 мин. Затем к горячему раствору приливают 1 мл 10%-ного раствора глюкозы или аскорбиновой кислоты и остужают. Когда содержимое колбы остынет до комнатной температуры, добавляют 3 капли индикатора β -динитрофенола и нейтрализуют 10%-ным раствором аммиака или 10%-ным раствором Na_2CO_3 до светло-желтой окраски. После этого следует провести обесцвечивание путем добавления из капельницы 10%-ного раствора H_2SO_4 (по каплям!).

Если вытяжка не окрашена, то в мерную колбу с 10–50 мл вытяжки добавляют 3 капли индикатора β -динитрофенола и нейтрализуют 10%-ным раствором H_2SO_4 до обесцвечивания (из капельницы по каплям!). Важно следить за реакцией раствора в колбе.

Далее к раствору в мерной колбе приливают 10–15 мл дистиллированной воды, 2 мл молибденовокислого аммония, затем вновь добавляют воду, перемешивают круговым движением, прибавляют 3 капли свежеприготовленного раствора хлористого олова, доводят водой до метки, закрывают чистой пробкой и хорошо перемешивают путем 3–4-кратного перевертывания колбы. Через 10–15 мин колориметрируют на фотоэлектроколориметре при длине волны 600–750 нм (красный светофильтр).

Для окрашивания раствора приливают в колбы по 3 капли свежеприготовленного раствора хлористого олова, доводят дистиллированной водой до метки, закрывают чистыми пробками и перемешивают 3–4-кратным перевертыванием колбы.

Расчет результатов анализа:

Количество подвижного фосфора (P_2O_5) рассчитывают по формуле

$$\text{мг} / 100 \text{ г } \text{P}_2\text{O}_5 = \frac{a \times 100}{m} \times K,$$

где a – количество P_2O_5 по графику, мг; K – коэффициент гигроскопической влажности почвы; m – аликвотная навеска почвы, г; 100 – пересчет на 100 г почвы.

Пример расчета подвижных форм фосфора. Для определения (окрашивания) взяли 15 мл фильтрата, следовательно, аликвотная навеска равна 0,75 г почвы. Показание ФЭК – 0,35. Количество мг P_2O_5 , найденное по калибровочному графику, – 0,04. Коэффициент гигроскопической влажности равен 1,03.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{5 \text{ г} \rightarrow 100 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 15 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{5 \times 15}{100} = 0,75.$$

$$\text{Содержание мг} / 100 \text{ г } \text{P}_2\text{O}_5 = \frac{0,04 \times 100}{0,75} \times 1,03 = 5,49.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 1%-ного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, мл | Объем аликвотной вытяжки, мл | Аликвотная навеска, г | Оптическая плотность (D) | Концентрация по графику (C), мг/100 мл | Коэффициент для пересчета на сухую почву | P_2O_5 мг / 100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|--|------------------------------|-----------------------|------------------------------|--|--|---|
| $A_1(0-10)$ | 1 | 5 | 100 | 15 | 0,75 | 0,35 | 0,04 | 1,03 | 5,49 |

Реактивы:

1. 1%-ный раствор $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. На технических весах взвешивают 10 г углекислого аммония, растворяют в дистиллированной воде и доводят объем до 1 л.

2. 10%-ная H_2SO_4 . 60,6 мл концентрированной H_2SO_4 (удельный вес 1,88) растворяют в дистиллированной воде. Общий объем доводят до 1 л в мерной колбе.

3. 0,5 н KMnO_4 готовят из фиксанала.
4. 10%-ный раствор глюкозы. 10 г глюкозы растворяют в 100 мл дистиллированной воды.
5. 10%-ный раствор аммиака. 422 мл концентрированной NH_4OH (25%-ной) растворяют в дистиллированной воде. Общий объем доводят до 1 л в мерной колбе.
6. Раствор двухлористого олова $\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Способ приготовления см. в методике Кирсанова.
7. Раствор молибденовокислого аммония в 10,0 н H_2SO_4 . Способ приготовления см. в методике Кирсанова.

2.6.6. Калий в почве и его формы

Основная масса почвенного калия представлена различными калийсодержащими минералами: полевым шпатом, слюдами, лейцитом и др. Этот калий является практически недоступным для питания растений.

Растения в процессе питания усваивают наиболее подвижные формы (калий почвенного раствора, обменный). В процессе питания растений вовлекаются и необменные формы калия. Поэтому при характеристике плодородия почв в отношении калия надо учитывать не только калий почвенного раствора и обменный, но и необменные его формы, которые служат резервом плодородия почвы в отношении калия.

Общее содержание калия в почвах находится в пределах от 1% в дерново-подзолистых супесчаных почвах до 2,4% – в мощных черноземах.

Для характеристики калийного режима почв необходимо не только знать количественное содержание подвижных соединений калия в почве, но и иметь показатели, характеризующие степень его доступности. Такими показателями могут служить калийный потенциал (фактор интенсивности), потенциальная буферная способность почв в отношении калия.

Калий в почве находится в виде различных минералов и солей, степень растворимости которых и доступность их калия для растений неодинаковы. Различают следующие формы калия в почве:

1. Калий почвенных минералов, в том числе алюмосиликатов, основная часть почвенного калия представлена этой формой, она труднодоступна растениям.

2. Калий, поглощенный почвенными коллоидами, или обменный калий – главный источник калийного питания для растений, содержание его от 5 до 50 мг на 100 г почвы, оно увеличивается в почвах тяжелого гранулометрического состава и снижается на легких супесчаных почвах.

3. Водорастворимый калий представлен растворимыми солями, обнаруживается в почве в минимальных количествах, так как полностью поглощается растениями и микроорганизмами.

4. Калий, входящий в состав микробных клеток и органических остатков, доступен растениям после их минерализации (содержание в почве – около 40 кг/га).

5. Калий, фиксированный почвой, или необменный. Особенно активно калий закрепляется почвой при наличии в ней глинистых минералов. Высокое содержание органического вещества в почве, а также ее известкование усиливают закрепление калия в необменной форме.

Между обменным и необменным калием в почве существует динамическое равновесие. Поглощение растениями обменного калия приводит к переходу необменного калия в обменное состояние. Таким образом, необменный калий является резервным в питании растений. При внесении калийных удобрений часть калия потребляется растением, а часть необменно закрепляется в почве. При переменном увлажнении и высушивании почвы усиливается фиксация калия.

Достаточно тесная зависимость установлена между урожаем растений и содержанием обменного калия в почве. Следовательно, при прогнозировании действия удобрений учитывают содержание обменного калия.

При определении обеспеченности почв калием и расчете доз калийных удобрений в качестве показателя широко применяется содержание обменного калия.

Оценка обеспеченности почв доступным для растений калием производится по градации, приведенной в табл. 5 [6].

**Содержание обменного калия в почве (K₂O мг/100 г)
и обеспеченность им растений**

| Обеспеченность | Содержание доступного калия в почве по методу | | |
|----------------|---|-----------|-----------|
| | Кирсанова | Чирикова | Мачигина |
| Очень низкая | 4,0 | 2,0 | 5,0 |
| Низкая | 4,1–8,0 | 2,1–4,0 | 5,1–10,5 |
| Средняя | 8,1–12,0 | 4,1–8,0 | 10,1–20,0 |
| Повышенная | 12,1–17,0 | 8,1–12,0 | 20,1–30,0 |
| Высокая | 17,1–25,0 | 12,1–18,0 | 30,1–40,0 |
| Очень высокая | 25,0 | 18,0 | 40,0 |

Среднее содержание элемента питания в почве соответствует условиям, при которых при соблюдении определенных агротехнических норм можно получить среднестатистический урожай зерновых культур в данном регионе.

Высокое содержание элемента соответствует условиям, при которых возможно возделывание высоко требовательных пропашных культур: картофеля, кукурузы, сахарной свеклы и т.д.

Очень высокое содержание элемента отвечает условиям, которые складываются на почвах овощных севооборотов, на садовых участках и питомниках.

В агрохимических лабораториях определение доступного растениям калия и фосфора часто определяют в одной вытяжке.

2.6.7. Методики определения содержания калия в почве

*Определение водорастворимого калия
(легкоподвижные легкоусвояемые формы калия)*

Водорастворимый калий в почве определяют для количественной характеристики содержания калия в почвенном растворе. Этот калий входит в состав простых солей (хлоридов, сульфатов, нитратов и т.д.), находящихся в растворе в условиях естественной влажности, и сложных (силикатов и алюмосиликатов), переходящий в вытяжку при широком соотношении почва – вода.

Для незасоленных почв водная вытяжка в определенной мере отражает содержание калия в почвенном растворе. Для засоленных почв она используется для установления степени и характера засоления почв.

Содержание водорастворимого калия в незасоленных почвах обычно менее 10 мг на 1 кг почвы. Оно не характеризует плодородие почвы по калию, однако эта вытяжка широко используется при исследовании форм соединений калия, степени окультуренности и удобрённости почв [10].

Ход анализа:

10 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм, помещают в колбу, приливают 50 мл предварительно прокипяченной дистиллированной воды, взбалтывают на ротаторе в течение 3 мин и фильтруют через плотный складчатый фильтр в сухую колбу.

Определение содержания калия в фильтрате проводят на пламенном фотометре. Работу начинают с приготовления эталонных растворов. Это связано с тем, что концентрации элементов производят путем сравнения показаний прибора для испытуемых растворов и эталонных. Для построения калибровочного графика серию эталонных растворов наливают в стаканчики от 5 до 100 мг/л.

При открытой диафрагме фотоэлемента на калий, установив соответствующую чувствительность гальванометра, вводят распылитель в самый концентрированный раствор. Регулируя пламя и ширину диафрагмы, добиваются того, чтобы стрелка гальванометра не уходила за пределы шкалы.

Промывают распылитель водой, устанавливают стрелку гальванометра на нуль и вводят в распылитель новую порцию эталонного раствора. Определение проводят в трех повторениях для каждой концентрации раствора. При смене концентрации раствора распылитель тщательно промывают водой, а также следят за тем, чтобы стрелка гальванометра возвращалась на нуль. Ширину диафрагмы и режим пламени изменять нельзя.

После того, как сняты все показания эталонных растворов, строят калибровочный график, затем проводят измерения испытуемых почвенных вытяжек.

Расчет результатов анализа:

Содержание водорастворимого K_2O , мг/100 г почвы рассчитывают по формуле

$$\text{мг / 100 г } K_2O = \frac{a \times V \times 100}{\text{г} \times 1000} \times K,$$

где a – концентрация K_2O в 1 л вытяжки по калибровочному графику; V – общий объем вытяжки; г – навеска воздушно-сухой почвы, г; 1 000 – коэффициент пересчета концентрации на 1 мл; K – коэффициент гигроскопической влаги.

Пример расчета водорастворимого калия. Для определения водорастворимого калия взята вытяжка, приготовленная из 10 г воздушно-сухой почвы и 50 мл прокипяченной дистиллированной воды. Концентрация K_2O в 1 л вытяжки по калибровочному графику равна 1,45, коэффициент гигроскопической влаги – 1,03.

$$\text{мг / 100 г } K_2O = \frac{1,45 \times 50 \times 100}{10 \times 1000} \times 1,03 = 0,74.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем дистиллированной воды, мл | a – концентрация K_2O по калибровочному графику | Коэффициент гигроскопической влаги | K_2O мг / 100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|---------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|
| $A_1(0-10)$ | 1 | 10 | 50 | 1,45 | 1,03 | 0,74 |

Реактивы:

1. Прокипяченная дистиллированная вода. Дистиллированную воду кипятят в колбе для удаления CO_2 .

2. Основной эталонный раствор с содержанием K_2O 1 мг/мл. Навеску 1,583 г х.ч. KCl , высушенного до постоянной массы при температуре $105^\circ C$, помещают в мерную колбу емкостью 1 л, растворяют в дистиллированной воде, доводят до метки и, закрыв чистой пробкой, хорошо перемешивают.

3. Серия рабочих эталонных растворов. В мерные колбы емкостью 1 л из бюретки точно отмеривают определенное количество основного раствора, доливают до метки водой, закрывают чистыми пробками, хорошо перемешивают.

Форма записи результатов для построения калибровочного графика:

| № рабочего эталонного раствора | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|---|----|----|----|----|-----|
| Количество основного эталонного раствора, мл | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| Концентрация K_2O мг/л | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |

Определение обменного калия в почве по методу Масловой (ГОСТ 26210–91)

Метод рекомендован для определения обменного калия в некарбонатных почвах (дерново-подзолистых, серых лесных, черноземах, красноземах, желтоземах) [10]. Основан на извлечении калия из почвы 1,0 н раствором уксуснокислого аммония с рН 7,0 при соотношении почва – раствор 1:10.

Ход анализа:

5 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм, помещают в плоскодонную колбу емкостью 250 мл, приливают 50 мл 1,0 н раствора уксуснокислого аммония (рН 7,0). Взбалтывают на ротаторе в течение 1 ч и фильтруют в сухую колбу через складчатый плотный фильтр.

Определение калия в фильтрате проводят на пламенном фотометре, используя светофильтр с максимумом пропускания в области 766–770 нм.

Расчет результатов анализа:

Содержание K_2O , мг/100 г почвы производят по формуле

$$\text{мг / 100 г } K_2O = \frac{a \times V \times 100}{\Gamma \times 1000} \times K,$$

где a – концентрация K_2O в 1 л вытяжки по калибровочному графику; V – общий объем вытяжки, мл; Γ – навеска воздушно-сухой

почвы, г; 1 000 – коэффициент пересчета концентрации на 1 мл; K – коэффициент гигроскопической влаги.

Пример вычисления обменного калия. Для определения калия взвесили 5 г воздушно-сухой почвы, прилили 50 мл 1,0 н раствора уксусно-кислого аммония (рН 7,0). Взбалтали на ротаторе в течение 1 ч и профильтровали в сухую колбу через складчатый плотный фильтр. Количество мг K_2O , в 1 л вытяжки, найденное по калибровочному графику, – 6,45. Коэффициент гигроскопической влажности равен 1,03.

$$\text{мг} / 100 \text{ г } K_2O = \frac{6,40 \times 50 \times 100}{5 \times 1000} \times 1,03 = 6,59.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 1,0 н раствора CH_3COONH_4 , мл | Концентрация K_2O по калибровочному графику (a) | Коэффициент гигроскопической влаги | K_2O мг /100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|---|---|------------------------------------|------------------------|
| $A_1(0-10)$ | 1 | 5 | 50 | 6,40 | 1,03 | 6,59 |

Реактивы: 1,0 н раствор CH_3COONH_4 : 77,1 г CH_3COONH_4 растворяют в 900 мл бидистиллята. После установления рН (доводят до рН 7,0, добавляя по каплям 10%-ные растворы CH_3COOH или NH_4OH) объем доводят до 1 л в мерной колбе.

Определение обменного калия в почве по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207–91)

Этот метод рекомендован как стандартный для определения калия (и фосфора) в подзолистых, дерново-подзолистых и серых лесных почвах. Метод основан на извлечении калия и фосфора из почвы 0,2 н раствором HCl при соотношении почва – раствор 1:5. Содержание переведенного в раствор калия определяется на планном фотометре.

Ход анализа:

Из воздушно-сухого минерального образца, растертого и просеянного через сито с диаметром отверстий 1 мм, взвешивают на технических весах 10 г почвы (для органогенных горизонтов – 1 г). Помещают навеску почвы в колбу объемом 100 мл. Приливают из бюретки 50 мл 0,2 н раствора НС1. Температура экстрагирующего раствора должна быть $18 \pm 3^\circ\text{C}$. Взбалтывают на ротаторе 1 мин, дают отстояться суспензии 15 мин и фильтруют через воронку со складчатым плотным бумажным фильтром.

Определение калия в фильтрате проводят на пламенном фотометре.

Расчет результатов анализа:

Содержание K_2O , мг/100 г почвы производят по формуле

$$\text{мг / 100 г } \text{K}_2\text{O} = \frac{a \times V \times 100}{\text{г} \times 1000} \times K,$$

где a – концентрация K_2O в 1 л вытяжки по калибровочному графику; V – общий объем вытяжки, мл; г – навеска воздушно-сухой почвы, г; 1 000 – коэффициент пересчета концентрации на 1 мл; K – коэффициент гигроскопической влаги.

Пример вычисления обменного калия. Для определения приготовлена вытяжка из 10 г воздушно-сухой почвы и 100 мл 0,2 н раствора НС1. Количество мг K_2O , найденное по калибровочному графику, – 3,46. Коэффициент гигроскопической влажности равен 1,03.

$$\text{мг / 100 г } \text{K}_2\text{O} = \frac{3,46 \times 100 \times 100}{10 \times 1000} \times 1,03 = 3,56.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 0,2 н раствора НС1, мл | Концентрация K_2O по калибровочному графику (a) | Коэффициент гигроскопической влаги | K_2O мг / 100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|------------------------------|---|------------------------------------|---------------------------------------|
| $A_1(0-10)$ | 1 | 5 | 50 | 3,46 | 1,03 | 3,56 |

Реактивы:

0,2 н раствор HCl. 16,4 мл концентрированной HCl (удельный вес 1,19) разбавляют в мерной колбе дистиллированной водой до 1 л и перемешивают.

Определение обменного калия в почве по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204–91)

Метод рекомендован как стандартный для определения калия (и фосфора) в некарбонатных черноземах и серых лесных почвах, основан на извлечении калия и фосфора из почвы 0,5 н раствором уксусной кислоты при соотношении почва – раствор 1 : 25. Переведенный в раствор калий определяется на пламенном фотометре.

Расчет результатов анализа:

Обменный K_2O , мг/100 г почвы рассчитывают по формуле

$$\text{мг / 100 г } K_2O = \frac{a \times V \times 100}{\Gamma \times 1000} \times K,$$

где a – концентрация K_2O в 1 л вытяжки по калибровочному графику; V – общий объем вытяжки; Γ – навеска воздушно-сухой почвы, г; 1 000 – коэффициент пересчета концентрации на 1 мл; K – коэффициент гигроскопической влаги.

Пример вычисления обменного калия. Для определения калия приготовлена вытяжка из 1 г воздушно-сухой почвы и 25 мл 0,5 н раствора уксусной кислоты. Количество миллиграмм K_2O , найденное по калибровочному графику, 4,8. Коэффициент гигроскопической влажности равен 1,03.

$$\text{мг / 100 г } K_2O = \frac{4,8 \times 25 \times 100}{1 \times 1000} \times 1,03 = 12,36.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 0,5 н раствора CH_3COOH , мл | Концентрация K_2O по калибровочному графику (a) | Коэффициент гигроскопической влаги | K_2O мг / 100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|--------------------------------------|---|------------------------------------|-------------------------|
| A(0–10) | 1 | 5 | 50 | 4,8 | 1,03 | 12,36 |

Реактивы: 0,5 н раствор уксусной кислоты. В мерную колбу емкостью 1 л наливают дистиллированной воды более 500 мл, добавляют 30 мл концентрированной уксусной кислоты и доводят водой до метки 1 л. Нормальность раствора проверяют ареометром (плотность 0,5 н раствора CH_3COOH равна 1,0026) или титрованием раствором NaOH в присутствии индикатора фенолфталеина.

Определение обменного калия в почве по методу Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205–91)

Метод принят как стандарт для определения калия (и фосфора) в черноземах, сероземах, каштановых и бурых почвах. Основан на извлечении калия из почвы 1%-ным раствором углекислого аммония при соотношении почва – раствор 1:20.

Переведенный в раствор калий определяется на пламенном фотометре.

Расчет результатов анализа:

Обменный K_2O , мг/100 г почвы рассчитывают по формуле

$$\text{мг} / 100 \text{ г } \text{K}_2\text{O} = \frac{a \times V \times 100}{\text{г} \times 1000} \times K,$$

где a – концентрация K_2O в 1 л вытяжки по калибровочному графику; V – общий объем вытяжки; г – навеска воздушно-сухой почвы, г; 1 000 – коэффициент пересчета концентрации на 1 мл; K – коэффициент гигроскопической влаги.

Пример вычисления обменного калия. Для определения калия приготовили вытяжку из 5 г воздушно-сухой почвы и 100 мл 1%-ного раствора углекислого аммония. Количество миллиграмм K_2O , найденное по калибровочному графику, 0,04. Коэффициент гигроскопической влажности равен 1,03.

$$\text{мг} / 100 \text{ г } \text{K}_2\text{O} = \frac{4,8 \times 100 \times 100}{5 \times 1000} \times 1,03 = 9,89.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска почвы, г | Объем 0,5 н раствора CH ₃ COOH, мл | Концентрация K ₂ O по калибровочному графику (а) | Коэффициент гиг- роскопической вла- ги | K ₂ O мг /100 г почвы |
|--------------------------|---------|------------------|--|---|--|----------------------------------|
| A (0–10) | 1 | 5 | 50 | 4,8 | 1,03 | 9,89 |

Реактивы: 1%-ный раствор (NH₄)₂CO₃. На технических весах взвешивают 10 г углекислого аммония, растворяют в дистиллированной воде и доводят объем до 1 л.

Контрольные вопросы к главе

1. Что обуславливает актуальную кислотность почв?
2. Какие почвы имеют кислую, нейтральную и щелочную реакцию почвенного раствора?
3. Назовите методы определения актуальной кислотности.
4. Что понимают под обменной кислотностью?
5. Назовите метод определения обменной кислотности.
6. Перечислите методы определения гидролитической кислотности.
7. Что понимается под составом обменных катионов?
8. От чего зависит величина суммы обменных оснований?
9. Какие почвы имеют наибольшую величину суммы обменных оснований?
10. Охарактеризуйте сущность методики определения углерода мокрым сжиганием по Тюрину.
11. От чего зависит содержание гумуса в разных типах почв?
12. В составе каких фаз содержится азот в почве?
13. Какими соединениями представлен азот почвы?
14. Что собой представляет аммиачная форма азота и как она определяется?

15. Охарактеризуйте сущность методики определения нитратного азота дисульфифеноловым методом.

16. Опишите сущность методики нахождения азота легкогидролизуемых соединений и его определение по Тюрину–Кононовой.

17. Отметьте факторы, влияющие на количество нитратного и аммиачного азота в почвах.

18. Что является источником фосфорного питания растений?

19. Как влияет кислая и щелочная реакция почвенного раствора на адсорбцию фосфатных ионов?

20. На какие группы подразделяются минеральные фосфаты почвы по степени их участия в фосфорном питании растений?

21. От чего зависит степень доступности растениям подвижных фосфатов?

22. Какой метод используется для определения легкорастворимых фосфатов кислых почв?

23. В каких почвах легкорастворимые фосфаты определяют по методу Чирикова?

24. В каких почвах легкорастворимые фосфаты определяют по методу Мачигина?

25. В каких формах присутствует калий в почве?

26. Какая форма калия является непосредственным источником питания растений?

27. Обозначьте сущность метода определения общего количества обменного калия.

28. Какие свойства почв влияют на количество обменного калия?

29. Сколько обменного калия содержится в подзолистых, серых лесных почвах и черноземах?

30. Какие удобрения вносятся для пополнения запасов калия в почвах?

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ РАСТЕНИЙ

Анализ растений позволяет решить следующие важные агрохимические задачи:

- исследовать трансформацию макро- и микроэлементов в системе «почва – растение – удобрения» при различных режимах выращивания растений;
- определить содержание основных биологических компонентов в растительных объектах и кормах: белков, жиров, углеводов, витаминов, алкалоидов и соответствие их содержания принятым нормам и стандартам;
- оценить пригодность растений для потребителя (нитраты, тяжелые металлы, алкалоиды, токсиканты);
- произвести диагностику обеспеченности растений питательными веществами;
- произвести подкормки растений по признакам обеспеченности.

3.1. Подготовка растительной пробы к анализу

3.1.1. Отбор растительной пробы

Отбор растительной пробы требует определенных навыков и опыта, является важным и ответственным этапом работы. Ошибки при отборе пробы и подготовке ее к анализу не компенсируются качественной аналитической обработкой собранного материала.

Основная цель правильного отбора проб растений в агро- и биоценозе заключается в том, что средняя проба растений должна наиболее полно отражать биологическое состояние растений, т.е. быть репрезентативной для поля, опытной делянки, выбранной площадки, вегетационного сосуда. Чтобы средняя проба отражала статус всей совокупности растений, учитывают макро- и микрорельеф, гидротермические условия, равномерность и густоту стояния растений, их биологические особенности [10].

Растительные пробы отбираются в сухую погоду, в утренние часы, после высыхания росы. При изучении процессов обмена веществ в растениях в динамике эти часы соблюдаются в течение всего вегетационного периода.

Для культур сплошного сева, к которым относятся пшеница, овёс, ячмень, злаковые культуры, травы и др., на опытном участке выделяются равномерно 5–6 площадок размером 0,25–1,00 м², растения с площадки скашиваются на высоте 3–5 см. Общий объем взятого материала составляет объединенную пробу. После тщательного усреднения этой пробы отбирают средний образец массой 1 кг. Среднюю пробу взвешивают, разбирают по ботаническому составу, учитывают количество сорняков, бльных растений. Проводят также разделение растений на органы с весовым учётом в пробе листьев, стеблей, початков, цветов, колосьев. Молодые растения от всходов до кушения обычно не дифференцируют по органам и фиксируют целиком.

Отбор проб растений в вегетационных сосудах производится следующим образом: из каждого сосуда отбирается равное количество растений или из 2–3 сосудов каждого варианта растения срезаются полностью, первый прием используют чаще.

Для пропашных культур (картофель, кукуруза, свекла и т.п.), особенно высокостебельных, таких как кукуруза, подсолнечник и т.д., объединенную пробу составляют из 10–20 растений средней величины, взятых по диагонали делянки или поочередно в несмежных рядах.

При отборе корнеплодов выкапывают 10–20 растений средней величины, очищают от почвы, подсушивают, взвешивают, отделяют надземные органы и взвешивают корнеплоды. По состоянию этих компонентов определяют структуру урожая.

Среднюю пробу составляют с учетом размера клубней, початков, корзинок и т.п. Для этого материал сортируют визуально на большие, средние, малые размеры и соответственно долевого участию фракции составляют средний образец. У высокостебельных культур проба может усредняться за счет продольного расчленения всего растения от верхушки до основания.

В производственных условиях пробы зерна, муки, гранулированных кормов, силоса, сенажа, соломы, овощных, плодовых,

ягодных культур отбирают из больших объемов пробоотборниками в соответствии с инструкциями отраслевых стандартов или ГОСТов.

Критерием оценки правильного отбора пробы является сходимость результатов химического анализа при параллельных определениях.

Скорость химических реакций в растительных образцах, взятых в период активной вегетации, намного выше, чем во многих анализируемых объектах (например, зерно, солома, семена). За счет работы ферментов продолжают биохимические процессы, в результате которых происходит разложение таких веществ, как крахмал, белки, органические кислоты и особенно витамины.

Важно при исследовании сократить до минимума срок от взятия пробы до проведения анализа или фиксации растительного материала. Снижения скорости реакций можно добиваться работой со свежими растениями на холоде в климатокамере (+4°C), а также кратким хранением на нижней полке в бытовом холодильнике.

В свежем растительном материале при естественной влажности проводят определение водорастворимых форм белков, углеводов, ферментов, калия, фосфора, определяют содержание нитратов и нитритов. С небольшой погрешностью эти определения можно выполнять в образцах растений после лиофильной сушки.

В фиксированных воздушно-сухих образцах определяют все макроэлементы, т.е. зольный состав растений, общее содержание белков, углеводов, жиров, клетчатки, пектиновых веществ. Высушивание растительных образцов до абсолютно сухого веса для проведения анализа недопустимо, так как нарушаются растворимость и физико-химические свойства многих органических соединений, происходит необратимая денатурация белков.

3.1.2. Фиксация растительного материала

Фиксация растительного материала осуществляется для сохранения органических и зольных веществ в растительных пробах в количествах, близких к их естественному состоянию. В настоящее

время применяется температурная фиксация и лиофильная сушка, при которой растительные ферменты сохраняются в активном состоянии, а белки не денатурируют [10].

Температурная фиксация растительного материала проводится в сушильном шкафу с принудительной вентиляцией. Растительный материал помещают в пакеты из плотной бумаги типа «крафт» и загружают в сушильный шкаф, предварительно нагретый до 105–110°C. После загрузки выдерживают температуру 90–95°C в течение 10–20 мин в зависимости от свойств растительного материала. При такой температурной обработке за счет паров воды происходит инактивация растительных ферментов.

Проверка окончания фиксации производится следующим образом: образцы вынимают из шкафа, разворачивают оберточную бумагу. Растительный материал должен быть влажным и вялым, при этом он должен сохранить свою окраску, т.е. не пожелтеть. Дальнейшее высушивание проводят в открытых пакетах при доступе воздуха и температуре 50–60°C в течение 3–4 ч. Превышать указанные интервалы температуры и времени не следует. Длительное нагревание при высокой температуре приводит к термическому разложению многих азотсодержащих веществ и карамелизации углеводов растительной массы.

Все растительные образцы с большим содержанием воды, такие как корнеплоды, фрукты, ягоды и т.п., разделяют на сегменты так, чтобы в анализ попали периферийные и центральная части плода. Набор сегментов для пробы составляют из сегментов больших, средних и маленьких плодов или клубней в соответствующем соотношении их в урожае. Сегменты средней пробы измельчают и фиксируют в эмалированных кюветах.

Если образцы объемные, то прежде чем приступить к фиксации, следует измельчить ножом или ножницами надземную часть растений (листья, стебли, цветы, черешки, корзинки и т.д.) и быстро закрыть пакеты.

Если в образцах предполагается определение только набора химических элементов, их можно не фиксировать, а высушить при комнатной температуре. Однако высушивание растительного материала лучше провести в термостате при температуре 40–60°C,

так как при комнатной температуре возможно загрязнение массы пылевыми частицами из атмосферы или разложение микроорганизмами.

Не подвергают температурной фиксации образцы зерна и семян, но высушивают их при температуре не выше 30°C.

3.1.3. Размол растительных образцов и их хранение

Размол растений проводят в воздушно-сухом состоянии. Скорость размола увеличится, если образцы растений предварительно измельчить ножницами и подсушить в термостате. Отсутствие в них гигроскопической влаги определяется визуально: хрупкие, легко разламывающиеся в руках стебли и листья – наиболее пригодный материал для размола. Для размола объемных образцов весом более 30 г используют лабораторные мельницы. При очень малых количествах растительные пробы измельчают в фарфоровой ступке с последующим пропусканием материала через сито.

В зависимости от вида анализа, измельченный материал просеивается через сито с диаметром отверстий от 0,25 до 1 мм. Если в анализе не оговаривается особо тонина помола материала, используют сито диаметром 1 мм. Часть материала, не прошедшая через сито, повторно измельчается на мельнице или в ступке. Процесс продолжается до полного растирания всей средней пробы.

При наличии большого объема измельченного материала можно перейти от средней лабораторной пробы к средней аналитической, масса которой составляет 10–50 г, для зерна – менее 100 г.

Отбор производится методом квартования. Лабораторная проба равномерно распределяется на листе бумаге или на стекле в виде квадрата, затем шпателем делится на мелкие квадратики (2–3 см) или сегменты. Материал из несмежных квадратиков отбирается в аналитическую пробу.

Подготовленная растительная проба используется для выполнения всех видов анализов.

3.2. Анализ растительных образцов

3.2.1. Определение гигроскопической влаги

Для характеристики состава растительного материала в нем проводят определение содержания влаги, «сырой золы» и основных элементов питания (азот, фосфор, калий), а также белковой и небелковой форм азота.

Ход анализа:

На аналитических весах в стеклянный бюкс с притертой крышкой взять 2–4 г навески измельченного растительного материала. Поставить бюкс с открытой крышкой в термостат и проводить высушивание при температуре 105°C в течение 3 ч. Затем бюкс охладить в эксикаторе до комнатной температуры и взвесить. Высушивание повторить 1–2 раза в течение 1,5–2 ч до получения постоянной массы (в зависимости от вида растений и органа срок высушивания различный).

Расчет результатов анализа:

Гигроскопическую влагу растительного материала рассчитывают по формуле

$$\% W = \frac{a \times 100}{m},$$

где a – масса испарившейся влаги, г; m – сухая навеска растительного материала, г.

Пример вычисления гигроскопической влаги. Для определения гигроскопической влаги соломы пшеницы взвешена навеска 3,000 г. Произведено высушивание до постоянной массы. Масса воды в соломе составила 0,107 г

$$\% W = \frac{0,107 \times 100}{2,893} = 3,698.$$

Форма записи результатов:

| № растительного образца | № бюкса | Масса, г | | | | | | Гигроскопическая влага, % (И) | |
|-------------------------|---------|---------------|-------------------------------|-------------------|----------|----------------|-------------------|-------------------------------|----------|
| | | пустого бюкса | бюкса с растительным образцом | | | сухого образца | испарившейся воды | | |
| | | | до высушивания | после высушивания | | | | | |
| | | | | 1-е взв. | 2-е взв. | | | | 3-е взв. |
| 1 | 1 | 10,222 | 13,222 | 13,186 | 13,124 | 13,115 | 2,893 | 0,107 | 3,698 |

3.2.2. Определение «сырой» золы в растениях путем сухого озоления

Сухое вещество растений содержит в себе как органические, так и минеральные соединения. Последние остаются после сжигания органического вещества в виде «сырой» золы и составляют в среднем от 5 до 15% сухого вещества растений. «Сырой» золу называют потому, что в ней, помимо зольных элементов растений, содержатся некоторые примеси, такие как углистые частицы, песчинки, плохо смытая почва.

Количество золы и ее состав зависят от вида, органа, возраста растений, почвенно-климатических условий, применяемых форм и доз минеральных удобрений и других факторов. Листья растения более богаты, чем стебли. С возрастом относительное содержание золы уменьшается, изменяется и ее качественный состав: увеличивается содержания кальция, магния, уменьшается количество калия, фосфора и других зольных элементов.

Для определения в растениях процента «сырой» золы используется метод сухого озоления.

Подготовка растительного материала к анализу

Растительный материал необходимо правильно подготовить к анализу. Почву с корней лучше всего удалять механически и обмыть на сите спиртом. Надземные части растения (листья, хвою) очистить с помощью мягкой щеточки или кусочка мягкой материи. Навеску растительного материала следует брать с таким расчетом, чтобы получить 0,5–0,6 г «сырой» золы (табл. 6).

Золу, доведенную при сжигании до постоянной массы и полного озоления, переносят в стеклянный бюкс с притертой крышкой или пакетик и хранят до начала анализа.

Для определения в растениях «сырой» золы используют метод сухого озоления растительного материала [10].

Метод основан на сжигании органического вещества в муфельной печи при высокой температуре. Метод прост и может использоваться во всех лабораториях.

Т а б л и ц а 6

Навески растительного материала в зависимости от зольности

| Растительный материал | Примерная зольность | Навеска для озоления, г воздушно-сухого материала |
|--|---------------------|---|
| Хвоя | 1,5–4,0 | 10–15 |
| Древесные породы | | |
| Листья | 4,0–6,0 | 12,0–15,0 |
| Ствол | 0,5–1,0 | 100,0 |
| Кора | 3,0–5,0 | 15,0–25,0 |
| Ветви и корни | 1,0–3,0 | 20,0–30,0 |
| Надземная часть травянистой растительности | | |
| Бобовые, злаки | 5,0–7,0 | 12,0–15,0 |
| Травы | 5,0–7,0 | 12,0–15,0 |
| Мхи | 2,0–4,0 | 15,0–25,0 |

В полученной этим путем золе можно определить те элементы, которые не теряются вследствие образования легколетучих соединений при температуре 500–600°C. К ним относятся калий, кальций, магний, алюминий, марганец и т.д. Можно проводить озоление как сухих, так и свежих растений.

Определение «сырой» золы в соломе растений

Ход анализа:

На аналитических весах взвешивают навеску воздушно-сухого растительного материала массой 1–3 г. Рыхло укладывают в большой тигель (объемом 10 мл) для свободного доступа кислорода и не перемешивают. Рекомендуется проводить постепенное озоление при невысокой температуре.

Поставить тигли в холодную муфельную печь, озолить в течение 1,5–2 ч при температуре не выше 520°C (не допуская нагревания до темно-красного каления), так как при более высокой температуре наблюдаются потери хлоридов калия и натрия. Затем тигель охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе и взвешивают. Повторное прокаливание проводят в течение 40–60 мин при этой же температуре. Озоление считается законченным, если разница двух последних взвешиваний не превышает 0,0005 г.

Зола может иметь разную окраску: светло-серую, серую, голубоватую, зеленоватую с бурым оттенком, что связано, как правило, с присутствием микроэлементов меди, марганца, железа и др. Полученная таким образом зола служит для определения фосфора, кальция, калия, магния.

Расчет результатов анализа:

Зольность рассчитывают по формуле

$$A, \% = \frac{a \times 100}{m},$$

где A – зольность, %; a – масса золы, г; m – масса растительного материала, г.

Пример вычисления «сырой» золы. Для определения зольности овсяной соломы взята навеска массой 6,277 г. Масса золы определен как разность между последней массой тигля с золой и массой пустого прокаленного тигля. Масса золы 0,350 г, следовательно, зольность овсяной соломы будет составлять

$$A, \% = \frac{0,350 \times 100}{6,277} = 5,576.$$

Форма записи результатов:

| № образца | № тигля | Масса, г | | | | | сухой навески | зола | Зольность, % (A) |
|-----------|---------|---------------|--|----------|----------|----------|---------------|-------|------------------|
| | | пустого тигля | тигля с растительным материалом после прокаливания | | | | | | |
| | | | до прокаливания | 1-е взв. | 2-е взв. | 3-е взв. | | | |
| 1 | 1 | 10,101 | 16,378 | 10,550 | 10,450 | 10,451 | 6,277 | 0,350 | 5,576 |

Растворение золы

Для определения качественного состава «сырой» золы ее следует растворить.

Ход анализа:

Золу из тигля высыпают на кальку, взвешивают на аналитических весах, переносят в фарфоровую чашку объемом не менее 50 мл. Смачивают золу 1–2 мл дистиллированной воды, добавляют 5 мл 20%-ного раствора соляной кислоты и тщательно перемешивают стеклянной палочкой. Работу проводят под тягой.

Приливают 15–20 мл горячей дистиллированной воды для полного растворения золы и снижения концентрации раствора перед фильтрованием. Фильтруют раствор по палочке через плотный беззольный фильтр в мерную колбу емкостью 100 мл. Промывают чашечку и фильтр несколько раз горячей дистиллированной водой.

Раствор охлаждают до комнатной температуры, доводя до метки водой, закрывают чистой пробкой, перемешивают путем 3–4-кратного переворачивания.

В полученном растворе определяют содержание калия на пламенном фотометре (§§ 2.6.7), кальция и магния комплексонометрическим методом (§§ 2.5.5). Фосфор можно определить фотометрическим методом (§§ 2.6.5).

Реактивы:

1. Дистиллированная вода.
2. 20%-ный раствор HCl. 496,8 мл концентрированной HCl (удельный вес 1,19) растворяют в дистиллированной воде. Общий объем доводят до 1 л в мерной колбе.

3.2.3. Определение «сырой» золы растений путем мокрого озоления

При сухом озолении растительного материала, в случае, если температура в муфельной печи поднимется до начала темно-красного каления, возможны потери фосфора и калия. Фосфорная кислота при температуре выше 350°C восстанавливается до свободного фосфора и улетучивается. Следовательно, для получения

точных результатов используют метод мокрого озоления, в процессе которого температура высоко не поднимается.

В основу метода мокрого озоления положены реакции гидролиза и окисления органических веществ растений смесью серной и хлорной кислот в соотношении 10:1 при нагревании. Основным окислителем является хлорная кислота (HClO_4) или перекись водорода (H_2O_2). Предпочтительнее использовать перекись водорода. При использовании хлорной кислоты в качестве катализатора скорость окисления материала происходит не за счет повышения температуры, а за счет быстрого выделения кислорода, что сопровождается потерями азота при озолении.

Безазотистые органические вещества окисляются до воды и углекислоты, высвобождая зольные элементы в виде оксидов. Азотсодержащие органические соединения гидролизуются, окисляются до воды и углекислоты, освобождают азот в виде аммиака, который немедленно связывается серной кислотой.

Таким образом, в растворе находятся зольные элементы в виде оксидов и азот в форме сернокислого аммония и аммонийной соли хлорной кислоты.

Метод мокрого озоления исключает потери азота, фосфора и калия в виде их оксидов, так как растительное вещество озоляется при температуре 332°C . Это температура кипения серной кислоты, у хлорной кислоты она значительно меньше – 121°C .

Необходимо помнить, что при добавлении избытка хлорной кислоты в процессе озоления происходят значительные потери азота (до 50%).

*Мокрое озоление растительного материала по Гинзбург
и определение азота, фосфора, калия из одной навески*

Для окисления органических веществ растений используются концентрированная серная кислота и перекись водорода. Взаимодействуя с органическим веществом, серная кислота распадается на воду, сернистый газ и кислород:



Кислород окисляет водород органического вещества до воды, углерод – до углекислого газа, серу – до сернистого газа.

В одной навеске растительного материала определяют азот, фосфор и калий. Азот определяют с использованием реактива Несслера, без предварительной отгонки аммиака, фосфор – по методу Дениже (вариант Труга), калий – на пламенном фотометре.

Ход анализа:

На аналитических весах взвешивают 0,2 г тонко измельченного воздушно-сухого растительного материала и переносят в колбу Кьельдаля емкостью 100 мл (можно использовать плоскодонные колбы емкостью 100 мл). Приливают 2 мл химически чистой концентрированной серной кислоты, перемешивают круговым движением, чтобы смесь меньше попадала на стенки колбы. Содержимое колбы оставляют на 30–60 мин (лучше на ночь) для обугливания растительного материала. Колбы нагревают на плитке с закрытой спиралью до кипения, добавляют 1–2 капли концентрированной хлорной кислоты. Наблюдается реакция, в результате которой навеска полностью растворяется в серной кислоте, а содержимое колбы становится бесцветным (иногда слабоокрашенным). Процесс полного озоления длится 15–20 мин. Если полное обесцвечивание не произошло, то добавляют еще 1–2 капли хлорной кислоты и продолжают кипячение. Сжигание считается окончанным, когда при интенсивном выделении белых паров жидкость остается бесцветной.

Колбу охлаждают до комнатной температуры. Переносят жидкость в мерную колбу емкостью 250 мл. Колбу, в которой проводили сжигание, несколько раз обмывают безаммиачной дистиллированной водой и сливают в мерную колбу, после чего доводят до метки, закрывают чистой пробкой хорошо перемешивают. Приготовленную вытяжку используют для определения азота, фосфора и калия.

Для окисления органического вещества можно использовать перекись водорода, соблюдая последовательность действий.

Определение аммиачного азота

В зависимости от предполагаемого содержания азота берут 5–20 мл раствора и переносят в мерную колбу емкостью 100 мл. Для нейтрализации избытка серной кислоты в эту колбу приливают столько миллилитров 2,5%-ной NaOH, сколько было взято раствора для определения азота. Затем наливают в колбу немного воды,

добавляют 2 мл реактива Несслера и доводят безаммиачной дистиллированной водой до метки. Содержимое колбы перемешивают и колориметрируют. Если раствор при колориметрировании будет мутным, добавляют 2 мл сегнетовой соли.

Построение калибровочного графика изложено в §§ 2.6.2.

Содержание азота в растениях (в процентах) вычисляют по формуле

$$\% N = \frac{c \times 100}{n \times 1000},$$

где c – концентрация азота в растворе по калибровочному графику; 1 000 – коэффициент пересчета миллиграммов в граммы; n – аликвотная навеска, г.

Форма записи результатов:

| № растительного образца | № колбы | Навеска, г | Объем исходной вытяжки, мл | Объем аликвотной вытяжки, мл | Аликвотная навеска, г | Оптическая плотность (D) | Концентрация по графику (C), мг/100 мл | Аммиачный азот (N), % |
|-------------------------|---------|------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|--|---------------------------|
| 1 | 1 | 0,2 | 250 | 20 | 0,16 | 0,189 | 0,20 | 0,125 |

Реактивы:

1. 2,5%-ный раствор NaOH. 25 г NaOH растворяют в воде в термостойком стакане, непрерывно помешивая стеклянной палочкой. Охлаждают, переливают раствор в мерную колбу и доводят водой до метки 1 л.

2. Раствор сегнетовой соли ($KNaC_4H_4O_5 \cdot 4H_2O$ – калий-натрий виннокислый). 50 г сухой соли растворяют в безаммиачной дистиллированной воде, переносят раствор в мерную колбочку на 100 мл и доводят до метки. Сегнетова соль часто бывает загрязнена аммиаком, поэтому следует проверять приготовленный раствор на содержание иона NH_4^+ . В случае его присутствия раствор из колбочки переливают в стакан емкостью 200 мл, прибавляют немного (по каплям) KOH или NaOH (до щелочной реакции) и после этого реактив кипятят до начала образования корки солей на стенках стакана. Раствор охлаждают, вновь переливают в мерную кол-

бочку на 100 мл и разбавляют дистиллированной безаммиачной водой до прежнего объема.

3. Реактив Несслера. Используют готовый реактив. Перед работой проводят тест на его пригодность к анализу: к 10 мл безаммиачной дистиллированной воды прибавить 0,5 мл рабочего раствора с концентрацией 0,01 мг/мл NH_4^+ и 0,5 мл реактива Несслера. Если через минуту появится буроватая окраска, то реактив годен к анализу. Реактив хранится в емкостях из темного стекла. Цвет реактива светло-желтый.

Определение фосфора

В зависимости от предполагаемого количества фосфора в растительном материале, отбирают пипеткой 1–5 мл вытяжки, переносят в мерную колбу емкостью на 100 мл для нейтрализации избытка серной кислоты, приливают столько миллилитров 2,5%-ной NaOH , сколько взято было раствора для определения фосфора. Разбавляют содержимое колбы водой, добавляют 4 мл молибденово-кислого аммония, 6 капель хлористого олова, доводят до метки, перемешивают и колориметрируют.

Содержание фосфора в растениях (в процентах) вычисляют по формуле

$$\% \text{P}_2\text{O}_5 = \frac{c \times 100}{n \times 1\,000},$$

где c – концентрация фосфора в растворе по калибровочному графику; 1 000 – коэффициент пересчета миллиграммов в граммы; n – аликвотная навеска, г.

Форма записи результатов:

| № растительно-го образца | № колбы | Навеска, г | Объем исходной вытяжки, мл | Объем аликвотной вытяжки, мл | Аликвотная навеска, г | Оптическая плотность (D) | Концентрация по графику (C), мг/100 мл | P_2O_5 , % |
|--------------------------|---------|------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|--|----------------------------|
| 1 | 1 | 0,2 | 250 | 5 | 0,004 | 0,6 | 0,056 | 1,40 |

Реактивы:

1. 2,5%-ный раствор NaOH. 25 г NaOH растворяют в воде в термостойком стакане, непрерывно помешивая стеклянной палочкой. Охлаждают, переливают раствор в мерную колбу и доводят водой до метки 1 л.

2. Раствор молибденовокислого аммония в 10,0 н H_2SO_4 . Сначала готовят раствор серной кислоты. В термостойкую колбу наливают 500 мл дистиллированной воды и осторожно при помешивании вливают в нее 280 мл концентрированной серной кислоты (удельный вес 1,84). Происходит разогревание раствора, в связи с этим колбу ставят на асбест и охлаждают до комнатной температуры. Готовят водный раствор молибденовокислого аммония: 25 г х.ч. реактива растворяют в 200 мл дистиллированной воды, нагретой до $60^\circ C$, раствор фильтруют через плотный беззольный фильтр (синяя лента) и охлаждают до комнатной температуры.

Приготовленный раствор молибденовокислого аммония вливают небольшими порциями в раствор серной кислоты при постоянном помешивании. После охлаждения раствор доводят дистиллированной водой до метки 1 л. Хорошо перемешанный реактив переливают в склянку из темного стекла. Раствор устойчив и может храниться длительное время.

3. Раствор двухлористого олова $SnCl_2 \cdot H_2O$. Раствор готовят в день проведения анализа. 2,5 г двухлористого олова растворяют в 100 мл 10%-ного раствора соляной кислоты. Растворение протекает медленно, поэтому для ускорения процесса колбу с раствором ставят на разогретую водяную баню. Может образоваться муть, которая не мешает определению, поскольку растворяется при взаимодействии с кислым раствором молибденово-кислого аммония.

Определение калия

Определение калия проводят на пламенном фотометре способом, описанным в §§ 2.6.7.

3.2.4. Методы определения различных форм азота в растительном материале

Азот, поглощенный растением в процессе роста и развития, неравномерно распределяется по органам растения. Наибольшее его количество сосредоточено в генеративных органах, особенно в зерне, и меньше в листьях, стебля, корнях, корнеплодах, очень мало в соломе. Общий азот в растении представлен двумя формами: азотом белковым и азотом небелковых соединений. К последним относится азот, входящий в состав свободных аминокислот, амидов, нитратов и аммиака [10].

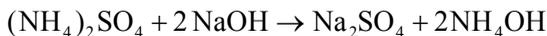
Содержание белка в растениях определяют по количеству белкового азота. Содержание белкового азота (в процентах) умножают на коэффициент 6,25 при анализе вегетативных органов и корнеплодов и на 5,7 – при анализе зерна.

На долю небелковых форм азота приходится 10–30% от общего азота в вегетативных органах, а в зерне не более 10%. Содержание небелкового азота снижается к концу вегетации, поэтому при анализе кормов долей небелкового азота пренебрегают. Определяют общий азот (в процентах) и его содержание пересчитывают на белок. Этот показатель называется «сырой белок».

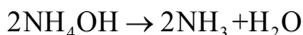
Определение общего азота методом Кьельдаля

Показатель содержание общего азота в растительном материале позволяет оценить вынос и поглощение этого элемента из почвы и удобрений, а также качество продукции.

Принцип метода. Азот после мокрого озолоения находится в растворе в виде сульфата аммония. Для освобождения аммиака используют щелочь

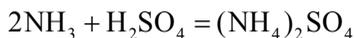


В щелочной среде образуется аммиак:



Газообразный аммиак переходит по холодильнику в начале в виде газа, а затем конденсируется и каплями попадает в колбу-

приемник с титрованной серной кислотой, связывается ею, образуя серно-кислый аммоний:



Избыток кислоты, не связанный с аммиаком, титруют щелочью точно установленной нормальности в присутствии индикатора.

Ход анализа:

Навеску растительного материала $0,3-0,5 \pm 0,0001$ г заливают 10–12 мл концентрированной серной кислоты, далее озоляют по методу Гинзбург, используя в качестве катализатора перекись водорода.

После охлаждения содержимое колбы, в которой проводилось сжигание растительного материала, переносят в круглодонную (отгонную) колбу объемом 1 000 мл. Тщательно (5–6 раз) обмывают стенки колбы небольшим количеством горячей дистиллированной воды, сливая каждый раз промывные воды в отгонную колбу, наполняя ее до $\frac{2}{3}$ ее объема, затем добавляют 2–3 капли фенолфталеина. Малое количество воды затрудняет парообразование при отгонке аммиака, большое, в свою очередь, может вызвать переброс кипящей жидкости в холодильник.

Подготавливают колбу-приемник: в коническую колбу емкостью 250 мл отмеряют из бюретки 25 мл 0,1 н раствора H_2SO_4 (с точно установленным титром), добавляют 2–3 капли индикатора метилового красного (розовая окраска) или реактива Гроака (лиловая окраска). Кончик трубки холодильника должен быть погружен в раствор. Включают холодную воду, которая поступает в холодильник, необходимо убедиться, что напор воды достаточный. Отгонную колбу держат в левой руке, наклоняют, и по стенке из цилиндра аккуратно приливают заранее отмеренное количество 40%-ной щелочи, так, чтобы она вся опустилась на дно колбы. Пробку холодильника смачивают дистиллированной водой, быстро закрывают отгонную колбу, проверяют герметичность соединения, осторожно перемешивают круговыми движениями и устанавливают колбу на нагреватель или плитку с закрытой спиралью. В колбу-приемник поступают сначала пузырьки воздуха.

Горлышко колбы нельзя заливать щелочью по всей поверхности, так как пробка холодильника может выскочить при кипячении

раствора. Щелочь используется для разложения сернокислого аммония и отгона аммиака. Его количество в четыре раза превосходит объем кислоты, взятый на сжигание пробы (при использовании 10 мл кислоты приливают 40 мл щелочи).

Приступают к процессу отгонки аммиака. Раствор в отгонной колбе сначала становится красного цвета, а затем темнеет и при нагревании появляется объемный осадок. Кипение в колбе должно быть достаточно интенсивным, иначе кислота из колбы-приемника будет засасываться в холодильник за счет перепада внутреннего и наружного давления газов. Если засасывание началось, следует увеличить нагрев отгонной колбы и вынуть кончик трубки холодильника из раствора кислоты, опустив приемник.

Через 15–20 мин после начала отгонки приемник опускают так, чтобы раствор аммиака из холодильника свободно стекал по стенке колбы.

Процесс отгонки аммиака считается законченным, когда содержимое отгонной колбы испарится до $\frac{1}{3}$ первоначального объема. Полноту отгона аммиака проверяют универсальным лакмусовым индикатором или реактивом Несслера. Для этого берут несколько стекающих из холодильника капель на индикаторную бумагу или в пробирку, куда добавлен реактив Несслера, который с аммиаком дает желтое окрашивание.

Если в процессе отгонки аммиака жидкость в колбе-приемнике изменит окраску, следует добавить еще точно фиксированное количество 0,1 н H_2SO_4 (20 мл), так как первоначального объема не хватило для связывания аммиака.

По окончании отгонки носик холодильника обмывают дистиллированной водой из промывалки в колбу-приемник.

Содержимое колбы приемника титруют 0,1 н раствором щелочи (NaOH или KOH), тщательно перемешивая, до перехода окраски от лиловой до зеленой по индикатору Гроака. Интенсивность окраски зависит от количества индикатора.

Расчет результатов анализа:

Количество азота находят по разности между количеством кислоты в приемнике, первоначально прилитой, и количеством кислоты, которая связалась с аммиаком и оттитрована щелочью. Содержание общего азота равно

$$\%N = \frac{(a \times n_k - b \times n_{щ}) \times 14 \times 100}{m \times 1000},$$

где a – объем 0,1 н H_2SO_4 в колбе-приемнике, мл; n_k – нормальность H_2SO_4 , мг·экв; b – объем щелочи, израсходованный для титрования, мл; $n_{щ}$ – нормальность щелочи, мг·экв; 14 – атомная масса азота; m – навеска растительного материала, г; 1 000 – коэффициент пересчета миллиграммов в граммы.

Пример вычисления общего азота в растениях. Озоление произведено в навеске растительного образца весом 0,4554 г. В колбу приемник отмерено из бюретки 25 мл 0,1 н H_2SO_4 , на титрование остатка кислоты после полной отгонки аммиака затрачено 16,5 мл 0,1 н щелочи. Содержание общего азота в растительном образце составляет

$$\%N = \frac{(25 \times 0,1 - 16,5 \times 0,1) \times 14 \times 100}{0,4554 \times 1000} = 2,6131.$$

Форма записи результатов:

| № образца | Навеска (m), г | Кислота | | Щелочь | | Масса азота, г | N, % |
|-----------|-----------------------|----------|-------|----------|---------|-------------------|--------|
| | | a , мл | n_k | b , мл | $n_{щ}$ | | |
| 1 | 0,4554 | 25 | 0,1 | 16,5 | 0,1 | 14 | 2,6131 |

Реактивы:

1. H_2SO_4 концентрированная (удельный вес 1,84).
2. Перекись водорода 25%-ная (концентрированная).
3. 40%-ный раствор NaOH. Взвешивают 40 г NaOH, помещают в стакан и приливают примерно 50–60 мл дистиллированной воды, непрерывно помешивания стеклянной палочкой до полного растворения. Переливают раствор в мерную колбу на 100 мл, доводят водой до метки, хорошо перемешивают.
4. Реактив Несслера. Используют готовый реактив. Перед работой проводят тест на пригодность реактива к анализу: к 10 мл безаммиачной дистиллированной воды прибавить 0,5 мл рабочего раствора с концентрацией 0,01 мг/мл NH_4^+ и 0,5 мл реактива Несслера. Если через минуту появится буроватая окраска, то реактив годен к анализу. Реактив хранится в емкостях из темного стекла. Цвет реактива светло-желтый.

5. 0,1 н раствор H_2SO_4 . Нормальность кислоты должна быть не меньше 0,0900 и не больше 0,1100. Готовят из фиксаля (1 ампула на 1 л H_2O).

6. 0,1 н раствор NaOH . Готовят из фиксаля (1 ампула на 1 л H_2O).

7. Индикатор Гроака, комбинированный индикатор. При pH 5,5 дает четкое изменение фиолетового цвета на зеленый. 0,15 г метиленового красного растворяют в 102 мл этилового спирта-ректификата. 0,05 г метиленового голубого растворяют в 5 мл дистиллированной воды. Смешивают приготовленные компоненты, индикатор хранят в склянке из темного стекла.

Определение белкового азота

В растительных тканях содержание белков ниже, чем содержание углеводов. По значимости белки являются главным компонентом растительных клеток, так же как и клеток бактерий и животных.

Содержание и свойства белков в растительных объектах подчиняются общим закономерностям: содержание белка в зерне увеличивается с повышением температуры и снижением относительной влажности воздуха. Количество белка в зерне растений, выращенных в юго-восточных регионах, выше, чем в аналогичных культурах северо-запада.

На долю белкового азота приходится основная часть азота растений. Методы определения содержания белкового азота широко используются для расчета количества белков и оценки качества растительной продукции в агрохимии для оценки влияния удобрений и агротехнических мероприятий, в селекции, пищевой промышленности, в зоотехнии для составления рационов.

Принцип метода. Методы определения белкового азота включают выделение белка из общей растительной массы. Для этого белок переводят в осадок, а небелковые азотистые соединения, хорошо растворимые в водных растворах, отмывают водой или слабым раствором осадителя.

Отмытый и подсушенный белок сжигают в концентрированной серной кислоте. В результате окисления образуются соединения

H_2O , CO_2 , SO_4^{2-} из сульфгидрильных групп белка, в то время как NH_2 превращается в NH_4^+ , образуя растворимую соль, которая сохраняется в колбе. Полученный азот в виде аммиака отгоняют в аппарате Кьельдаля и результаты пересчитывают на белок.

Осаждение белка из раствора проводят одним из реактивов: уксусно-кислым свинцом $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$, медным купоросом $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, натрием сульфосалициловым, трихлоруксусной кислотой (ТХУ), фосфорно-вольфрамовой кислотой и др.

В зависимости от использования осадителя различают методы анализа. Метод Барнштейна основан на осаждении белка медным купоросом в щелочной среде, признан основным при экспертной оценке. Как показывает практика, по этому методу получаются несколько завышенные результаты, потому что осаждаются не только белки, но и азот алкалоидов, нуклеиновых кислот, азотистых оснований.

Определение белкового азота можно проводить в сыром и воздушно-сухом растительном материале. Для проведения анализа в семенах берут навеску 0,2–0,3 г, в вегетативных органах в воздушно-сухом состоянии – около 0,5 г. Если возникает необходимость анализа растений в свежем состоянии, то материал измельчают, взвешивают на часовом стекле 5–7 г, далее содержимое смывают водой в стакан. Одновременно определяется влажность исследуемого материала. Для этого 3–5 г растительного материала помещают в стеклянный бюкс и приступают к высушиванию (§§ 3.2.1).

Определение белкового азота с трихлоруксусной кислотой

Этот метод применяется при массовых анализах. Белковый азот осаждается 50%-ным раствором ТХУ (CCl_3COOH) [10].

Ход анализа:

Навеску измельченного растительного материала 3–5 г свежего или 0,3–0,5 г сухого переносят в химический стакан емкостью 150 мл, приливают 25 мл дистиллированной воды, нагревают до кипения, непрерывно помешивая стеклянной палочкой. В кипящий раствор добавляют 5 мл 50%-ной ТХУ и тщательно перемешивают. Если в растительном материале высокое содержание

крахмала, то раствор нагревают на водяной бане при температуре 40–50°C в течение 10 мин.

Осажденный осадок оставляют на 30–60 мин, затем фильтруют через беззольный фильтр методом декантации, промывая осадок в стакане и на фильтре небольшими порциями 2%-ным раствором ТХУ. Постепенно весь осадок переносят на фильтр и промывают до объема 200 мл промывных вод.

Отмытый белок подсушивают на воздухе, затем вместе с воронкой выдерживают в термостате при температуре 50–60°C в течение часа. Когда фильтр начнет отставать от воронки, его осторожно сворачивают в трубочку и опускают на дно колбы Кьельдаля. В зависимости от размера фильтра и величины навески приливают цилиндром 10–20 мл концентрированной серной кислоты. Прикрывают горлышко колбы стеклянной пробкой (или маленькой воронкой) для предохранения от выкипания. Происходит «обугливание» фильтра и белкового осадка. Масса черного цвета в колбе постепенно разжижается при нагревании. Если этого не происходит, необходимо добавить еще 5–7 мл концентрированной серной кислоты.

Сначала озоление проводят при комнатной температуре до полного разрушения фильтра, слегка подогревая колбу на плитке, пока ее содержимое не приобретет густо-маслянистую консистенцию коричнево-бурого цвета. Для равномерного озоления колбу с фильтром, залитую кислотой, рекомендуется оставить на ночь.

Колбу помещают на плитку или нагреватель и начинают постепенно нагревать, не допуская сильного вспенивания. Если углистые частицы оказались на горлышке колбы, следует охладить колбу и аккуратно смыть их каплями кислоты (H_2SO_4) из пипетки. Когда раствор станет однородным, в колбу добавляют один из катализаторов: 0,05 г металлического порошка селена, серно-кислого калия или серно-кислой меди. Во избежание потерь азота озоление проводят при равномерном и не бурном кипении, не забывая осторожно взбалтывать содержимое колбы.

Обычно озоление органического вещества происходит за 3–8 ч в зависимости от объема навески и вида материала. Сжигание ведут до полного обесцвечивания раствора в колбе. После окончания сжигания содержимое колбы Кьельдаля переносят в отгонную

колбу аппарата Кьельдаля и проводят отгон аммиака. Отгон аммиака проводят так же, как при определении общего азота (§§ 3.2.4).

Расчет результатов анализа:

Количество азота находят по разности между количеством кислоты в приемнике, первоначально прилитой, и количеством кислоты, которая связалась с аммиаком и оттитрована щелочью. Содержание общего азота равно

$$\%N = \frac{(a \times n_k - b \times n_{щ}) \times 14 \times 100}{m \times 1000},$$

где a – объем 0,1 н H_2SO_4 в колбе-приемнике, мл; n_k – нормальность H_2SO_4 , мг·экв; b – объем щелочи, израсходованный для титрования, мл; $n_{щ}$ – нормальность щелочи, мг·экв; 14 – атомная масса азота; m – навеска растительного материала, г; 1 000 – коэффициент пересчета миллиграммов в граммы.

Пример вычисления белкового азота в растениях. Озоление произведено в навеске сухого растительного образца весом 0,3504 г. В колбу приемник отмерено из бюретки 25 мл 0,1 н H_2SO_4 , на титрование остатка кислоты после полной отгонки аммиака затрачено 20,5 мл 0,1 н щелочи. Содержание белкового азота в растительном образце составляет

$$\%N = \frac{(25 \times 0,1 - 20,5 \times 0,1) \times 14 \times 100}{0,3504 \times 1000} = 1,7979.$$

Форма записи результатов:

| № образца | Навеска, г | Кислота | | щелочь | | Масса азота, г | N, % |
|-----------|---------------|----------|-------|----------|---------|-------------------|--------|
| | | a , мл | n_k | b , мл | $n_{щ}$ | | |
| 1 | 0,3504 | 25 | 0,1 | 20,5 | 0,1 | 14 | 1,7979 |

Реактивы:

1. 50%-ный раствор трихлоруксусной кислоты. 50 г сухого реактива помещают в химический стакан, растворяют в дистиллированной воде, переносят раствор в мерную колбу на 100 мл, доводят водой до метки и хорошо перемешивают.

2. 2%-ный раствор трихлоруксусной кислоты. 2 г сухого реактива помещают в химический стакан, растворяют в дистиллированной воде, переносят раствор в мерную колбу на 100 мл, доводят водой до метки и хорошо перемешивают.

3. H_2SO_4 концентрированная (удельный вес 1,84).

4. Катализаторы: 0,05 металлического порошка селена, серноокислого калия или серноокислой меди.

Определение небелкового азота в водной вытяжке

Определение небелкового азота можно проводить двумя путями: расчетным и аналитическим. Расчетным методом небелковый азот находится по разности в содержании общего и белкового азота, выраженных в процентах.

Прямое определение небелкового азота в водной вытяжке является наиболее точным. Он используется в том случае, если необходимо определить содержание форм небелкового азота – аммиачную, нитратную и т.д.

Ход анализа:

На аналитических весах взвешивают точную навеску воздушно-сухого материала $1 \pm 0,0001$ г и помещают в химический стакан объемом 150–200 мл. Если определение проводится из свежего растительного материала, взвешивают навеску свежего растительного материала 10 г с одновременным определением влажности. Приливают цилиндром 125 мл дистиллированной воды, опускают в стакан палочку с резиновым наконечником.

Нагревают водяную баню до 90°C , ставят в нее стаканы с испытуемым материалом и контрольный стакан с чистой водой (125 мл) и термометром.

Экстрагирование азотистых веществ проводят в течение 30 мин при температуре в стаканах 80°C , часто помешивая палочкой. Охлаждают растворы до комнатной температуры в бане с холодной водой (сменяют воду 2–3 раза).

Для осаждения белков приливают к раствору из градуированной пипетки объемом 1 мл 0,5 мл 4%-ного раствора уксуснокислого свинца, хорошо размешивают стеклянной палочкой, дают от-

стояться образовавшемуся осадку несколько минут. После этого прибавляют реактив по 2–3 капли, каждый раз энергично взбалтывая палочкой, до полного осаждения белков. Если осаждение протекает медленно, можно оставить раствор на 1 ч.

Раствор отфильтровывают через воронку диаметром 8–10 см складчатым бумажным фильтром в мерную колбу на 200 мл, промывают стакан и осадок на фильтре 4–5 раз малыми порциями дистиллированной воды, доводят до метки и перемешивают.

50 мл раствора отмеряют пипеткой и переносят в колбу Кьельдаля. Осторожно нагревают до кипения, упаривают объем до 5–7 мл.

Остаток раствора охлаждают, приливают 7 мл концентрированной серной кислоты, продолжают озоление раствора до бесцветного. В качестве катализатора добавляют на кончике пера металлический селен или др.

После окончания озоления раствор переносят в мерную колбу на 200 мл и проводят определение аммиачного азота с применением реактива Несслера или используют отгон по микрокьельдалю.

Определение с реактивом Несслера

В зависимости от предполагаемого содержания азота берут 5–20 мл раствора и переносят в мерную колбу емкостью 100 мл. Для нейтрализации избытка серной кислоты в эту колбу приливают столько миллилитров 2,5%-ного NaOH, сколько было взято раствора для определения азота. Затем наливают в колбу немного воды, добавляют 2 мл реактива Несслера и доводят безаммиачной дистиллированной водой до метки. Содержимое колбы перемешивают и колориметрируют. Если раствор при колориметрировании будет мутным, добавляют 2 мл сегнетовой соли. Построение калибровочного графика изложено в §§ 2.6.2.

Содержание азота в растениях (в процентах) вычисляют по формуле

$$\% \text{ N} = \frac{c \times 100}{n \times 1000},$$

где c – концентрация азота в растворе по калибровочному графику; 1 000 – коэффициент пересчета миллиграммов в граммы; n – аликвотная навеска, г.

Пример вычисления небелкового азота в растениях. Для экстрагирования использовалась навеска сухого растительного образца массой 1,0000 г, объем исходной вытяжки – 200 мл. Для озоления в колбу Кьельдаля отмерено 50 мл исходного раствора, после озоления перенесено в мерную колбу емкостью 200 мл. Для колориметрирования в мерную колбу на 100 мл использовано 20 мл раствора. Оптическая плотность – 0,45, концентрация по графику – 0,05 мг/100 мл.

Расчет аликвотной навески:

$$1) \frac{1,0000 \text{ г} \rightarrow 200 \text{ мл}}{X_1 \text{ г} \rightarrow 50 \text{ мл}}; X_1 = \frac{1,0000 \times 50}{200} = 0,25 \text{ г.}$$

$$2) \frac{0,25 \text{ г} \rightarrow 200 \text{ мл}}{X_2 \text{ г} \rightarrow 20 \text{ мл}}; X_2 = \frac{0,25 \times 20}{200} = 0,025 \text{ г.}$$

Содержание небелкового азота в растительном образце составляет

$$\%N = \frac{0,05 \times 100}{0,025 \times 1000} = 0,2.$$

Форма записи результатов:

| № образца | № колбы | Навеска, г | Объем исходной вытяжки, мл | Объем аликвотной вытяжки, мл | Аликвотная навеска, г | Объем вытяжки, мл | Объем аликвотной вытяжки, мл | Аликвотная навеска, г | Оптическая плотность (D) | Концентрация по графику (C), мг/100 мл | Аммиачный азот (N), % |
|-----------|---------|------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|--|-----------------------|
| 3 | 2 | 1,000 | 200 | 50 | 0,25 | 200 | 20 | 0,025 | 0,45 | 0,05 | 0,2 |

Реактивы:

1. 2,5%-ный раствор NaOH. 25 г NaOH растворяют в воде в термостойком стакане, непрерывно помешивая стеклянной палочкой. Охлаждают, переливают раствор в мерную колбу и доводят водой до метки 1 л.

2. Раствор сегнетовой соли ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_5 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – калий-натрий виннокислый). 50 г сухой соли растворяют в безаммиачной дистиллированной воде, переносят раствор в мерную колбочку на 100 мл и доводят до метки. Сегнетова соль часто бывает загрязнена аммиаком, поэтому следует проверять приготовленный раствор на содержание иона NH_4^+ . В случае его присутствия раствор из колбочки переливают в стакан емкостью 200 мл, прибавляют немного (по каплям) KOH или NaOH (до щелочной реакции) и после этого реактив кипятят до начала образования корки солей на стенках стакана. Раствор охлаждают, вновь переливают в мерную колбочку на 100 мл и разбавляют дистиллированной безаммиачной водой до прежнего объема.

3. Реактив Несслера. Используют готовый реактив. Перед работой проводят тест на пригодность реактива к анализу: к 10 мл безаммиачной дистиллированной воды прибавить 0,5 мл рабочего раствора с концентрацией 0,01 мг/мл NH_4^+ и 0,5 мл реактива Несслера. Если через минуту появится буроватая окраска, то реактив годен к анализу. Реактив хранится в емкостях из темного стекла. Цвет реактива светло-желтый.

Контрольные вопросы к главе

1. В чем заключается основная цель правильного отбора образцов в агро- и биоценозе?
2. Какие требования предъявляются к отбору растительных образцов для культур сплошного сева?
3. Какие требования предъявляются к отбору растительных образцов для растений в вегетационных сосудах?
4. Какие показатели определяют в свежем растительном материале и в воздушно-сухом?
5. Каким образом производят фиксацию растительного материала и для какой цели?
6. Как влияет возраст растений на содержание золы и ее качество?
7. Какие элементы преобладают в золе хлебных злаков?
8. От чего зависит количество и состав золы растений?

9. Опишите содержание золы и химический состав растений.
10. Назовите принцип метода определения количества «сырой» золы.
11. Как осуществляется растворение золы?
12. Что происходит с безазотистыми и азотсодержащими органическими веществами при мокром озолении?
13. Какая форма азота определяется с использованием трихлоуксусной кислоты?
14. Охарактеризуйте сущность ускоренного метода определения азота, фосфора и калия в растениях из одной навески.
15. С какой целью определяют содержание общего азота в растениях?
16. Какими формами представлен общий азот в растениях?
17. Какие соединения азота относятся к небелковым формам?
18. Какие факторы влияют на накопление белка в зерне?
19. Какие вещества используют в качестве катализаторов при определении азота методом Кьельдаля?
20. С какой целью производят определение белкового азота?
21. Какие реактивы используются для осаждения в методах определения белкового азота?
22. Какой из методов определения небелкового азота является более точным?

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ УДОБРЕНИЙ

4.1. Основные свойства минеральных удобрений

Увеличение урожаев и повышение качества растениеводческой продукции, поглощение питательных веществ культурными растениями и изменение плодородия почв выражаются в действии минеральных удобрений. Наибольшее влияние оказывает химический состав, а именно форма связи питательных веществ и сопутствующие компоненты минеральных удобрений. Значительная роль отводится физическим свойствам удобрений (жидкое или твердое, размер и свойства частиц) и технологии кондиционирования.

4.1.1. Химические свойства минеральных удобрений

Все минеральные удобрения состоят преимущественно из солей и частично из окисей и гидроокисей, а азотные – также из амидов. Другие типы соединений в настоящее время имеют ограниченное значение. Многие минеральные удобрения содержат сопутствующие вещества, которые, в зависимости от условий применения, могут быть полезными для растений или же являться просто балластом.

Чтобы обеспечить растения в достаточной мере не только азотом, фосфором и калием, но также магнием и микроэлементами, их часто в определенных количествах добавляют как компоненты к простым и сложным удобрениям или специально оставляют как примеси в процессе производства.

Взаимодействие минеральных удобрений с почвой

В зависимости от свойств почвы и химического состава минеральных удобрений, после их внесения в почву происходят сложные химические и биохимические реакции. От хода этих реакций

зависят растворимость и усвояемость питательных веществ, фиксация элементов в трудно растворимой или даже в нерастворимой форме, потери в результате вымывания и улетучивания. Внесенные в почву удобрения оказывают влияние на химические и биохимические процессы (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Реакции минеральных удобрений в почве и их возможные потери

| Химические соединения | Реакции | Возможные потери |
|---|--|---|
| Соли аммония и аммиак | Поглощение NH_4^+ . Включение в состав органических веществ. Фиксация в глинистых минералах. Нитрификация до NO_3^- . Частичная нитрификация до NO_2 | Улетучивание в форме NH_3 . Вымывание в форме NO_3^- . Улетучивание в форме N_2 и N_2O |
| Нитраты | Поглощение NO_3^- – маловероятно. Незначительное включение в состав органических веществ. Денитрификация | Вымывание в форме NO_3^- . Улетучивание в форме N_2 и N_2O |
| Амиды | Аммонификация, далее – как соли аммония | Так же как соли аммония |
| Полифосфаты | Гидролиз до солей ортофосфорной кислоты | Вымывание маловероятно |
| Кальциевые и магниевые соли, гидроокиси и окиси | Нейтрализация кислот почвы углекислыми солями кальция и магния, действующими как основания. Осаждение в форме карбонатов (при высоком значении pH). Поглощение Ca^{2+} или Mg^{2+} | Вымывание |
| Калийные соли | Поглощение катионов калия ⁺ . Фиксация катионов калия глинистыми минералами | Вымывание |
| Натриевые соли | Незначительное поглощение | Вымывание |

По скорости растворения минеральных удобрений в воде их следует оценивать дифференцированно в зависимости от свойств почвы и обменных реакций. Высокая растворимость не всегда является преимуществом, а низкая – не при всех условиях является недостатком. При дождливой погоде высокая растворимость удоб-

рений, внесенных в почвы с малой емкостью поглощения и хорошо проницаемых, может привести к повышенным потерям вследствие вымывания, а при экстремальных значениях рН почвы – к ускоренной фиксации определенных питательных веществ. Скорость растворения минеральных удобрений можно снизить гранулированием и кондиционированием, например дражированием гранул малопроницаемыми для воды или медленно растворяющимися веществами.

Легкорастворимым минеральным удобрениям следует отдать предпочтение в том случае, если их гидролиз в почве замедляется нейтральной или щелочной реакцией, содержание питательных веществ в почве незначительно, а также при высокой потребности растений в питательных веществах в начале роста. Размер гранул должен соответствовать растворимости минеральных удобрений.

После внесения минеральных удобрений в почву вокруг частиц удобрения образуется концентрированный раствор, реакция которого зависит от состава минерального удобрения, его физического состояния и от свойств почвы. В ходе дальнейших превращений направление изменений реакции почвы может стать противоположным.

Влияние минеральных удобрений на реакцию почвенного раствора важно не только для почвенного плодородия, но также и для степени использования внесенных питательных веществ. При использовании преимущественно кислых минеральных удобрений необходимо существенно увеличить внесение извести. Как правило, на кислых почвах лучше применять физиологически щелочные минеральные удобрения, а на нейтральных и щелочных почвах – физиологически кислые.

Степень использования минеральных удобрений

Задача разных способов внесения удобрений состоит в том, чтобы добиться высокой степени использования вносимых минеральных удобрений и тем самым высокого удобрительного действия. В зависимости от условий выращивания и особенностей самой культуры, степень использования питательных веществ колеблется в широких пределах. В среднем она неудовлетворитель-

на, что приводит к значительным экономическим потерям. В результате улетучивания из почвы в среднем теряется 10–20% азота и столько же в результате вымывания.

Часть питательных веществ, вносимых с минеральными удобрениями, сначала фиксируется в почве и только через год снова становятся доступными для растений. Однако под влиянием минеральных удобрений могут мобилизоваться питательные вещества из почвенных запасов, что увеличивает эффективность удобрений.

4.1.2. Технологические свойства минеральных удобрений

Под технологическими свойствами следует понимать химические и физические свойства минеральных удобрений, влияющие на способы внесения или определяющие их. Наибольшее влияние на технологические свойства оказывают физическое состояние удобрения, сыпучесть, концентрация питательных веществ, сочетание питательных веществ. У жидких удобрений важно учитывать давление паров, температуру высаливания и корродирующие свойства [10].

Физическое состояние. Химическая промышленность выпускает минеральные удобрения в жидкой и твердой форме, порошковидном, кристаллическом и гранулированном состоянии. Жидкие минеральные удобрения технологически характеризуются хорошей возможностью автоматизации внесения, сочетание внесения с обработкой почвы, поливами и пр.

Из твердых минеральных удобрений гранулированные, по сравнению с порошковидными, обладают значительными преимуществами, а именно они менее склонны к слеживанию, не образуют или почти не образуют пыли. Однако не для всех минеральных удобрений удастся выдержать технологически оптимальные размеры гранул. Труднорастворимые минеральные удобрения можно производить только в виде мелких пористых внутри и поэтому менее прочных гранул, чтобы обеспечить их хорошее начальное действие.

Сыпучесть. Это свойство служит решающей предпосылкой для механизации и автоматизации перегрузки удобрений. Она зависит

от состояния, содержания влаги, гигроскопичности, кондиционирования. Минеральные удобрения, содержащие воду, склонны затвердевать при изменении температуры и влажности вследствие образования солевых мостиков между отдельными частицами. Благодаря покрытию поверхности частиц опудривающими веществами, масляными пленками или поверхностно-активными веществами, можно снизить склонность к склеиванию, а значит, увеличить сыпучесть.

Концентрация питательных веществ. Концентрация питательных веществ находится в прямой связи с затратами на внесение удобрений. При ее расчете в первую очередь учитывают количество действующего вещества у азотных, фосфорных и калийных удобрений, а у извести – щелочную активность. Производимые в настоящее время азотные и калийные удобрения в основном умеренно концентрированные (20–30% питательных веществ в расчете на элемент), а фосфорные – низкопроцентные (до 20%).

Сочетание питательных веществ. По сравнению с отдельными рабочими операциями, одновременное внесение основных питательных веществ (азота, фосфора и калия) имеет технологические и экономические преимущества. Возможность этого обеспечивает приготовление смесей из простых удобрений самим потребителем или применение сложных удобрений, производимых промышленностью.

Использование смесей минеральных удобрений связано с опасностью химических реакций и разложения. В связи с этим для рационального внесения требуются сложные минеральные удобрения, доля которых в общем производстве минеральных удобрений постоянно возрастает. Для повышения эффективности применения минеральных удобрений, организации правильного хранения, уменьшения потерь при транспортировке необходимо знать их основные физические, химические и механические свойства, к важнейшим из которых относятся: растворимость в воде, гигроскопичность, слеживаемость, предельная влагоемкость, рассеиваемость, гранулометрический состав, а также прочность гранул.

Влажность. Она не должна превышать значения, утвержденные ГОСТом и техническими условиями. Так, влажность для аммоний-

ных азотных удобрений должна быть не более 0,2–0,6%, аммонийно-нитратных и амидных – 0,2–0,3%, нитратных – 1,0–2,0%. Содержание влаги в кальциевой селитре не должно быть более 14,0%.

Для водорастворимых фосфорных удобрений максимальная влажность составляет 3–5%. Исключение составляет суперфосфат простой порошковидный из апатитового концентрата, его влажность должна быть не более 12%. Для водонерастворимых фосфорных удобрений содержание влаги должно быть от 1,5–2,0 до 8% (преципитат), для калийных удобрений от 1,0–4,0 до 5,0–6,0% (калимагнезия, калийно-магниевый концентрат, гранулированный). Влажность известняковой муки – 1,5–4,0%, сталеплавильных шлаков – 2,0%. Следует знать, что отклонение этих показателей содержания влаги в минеральных удобрениях от стандарта влечет за собой значительное изменение физико-механических свойств удобрений и приводит к их порче.

Гигроскопичность. Для минеральных удобрений характерно поглощение влаги из воздуха. Их гигроскопичность оценивается по 10-балльной системе. К сильно гигроскопичным относится кальциевая селитра, ее балл до 9,5; у аммиачной селитры (гранулированной) – 9,3; мочевины – 3,6; у суперфосфата гранулированного двойного и порошковидного простого – 4,7 и 5,9 соответственно. Калийные удобрения имеют балл гигроскопичности 0,2; 3,2–4,4 – у хлорида калия.

При высокой гигроскопичности удобрения слеживаются, гранулы теряют прочность, ухудшаются сыпучесть и рассеиваемость удобрений. Условия хранения, транспортировки удобрений, их упаковка также зависят от этого показателя. Бестарная транспортировка и хранение допустимы только для слабо гигроскопичных удобрений с баллом 3 и ниже. При балле гигроскопичности 6–4 требуются герметичные бумажные, пропитанные битумом или полиэтиленовые мешки. Для сильно гигроскопичных удобрений (балл 7–10) при хранении необходима совершенно герметичная тара – полиэтиленовые мешки.

Влагоемкость. От нее зависит механический рассев удобрений. Предельная влагоемкость соответствует максимальной влажности удобрений, сохраняющих способность удовлетворительно рассеиваться туковыми сеялками.

Слеживаемость. Этот показатель зависит от ряда факторов: влажности, гигроскопичности, гранулометрического состава удобрений и продолжительности хранения. Слеживаемость удобрения определяется по сопротивлению к разрушению цилиндрика слежавшегося удобрения. Степень слеживаемости оценивается по 7-балльной шкале. К сильно слеживающимся удобрениям относятся карбамид (фракция 0,2–1,0 мм), простой порошковидный суперфосфат – 7 баллов, суперфосфат гранулированный аммонизированный, хлорид калия мелкокристаллический и сильвинит – 6 баллов. Карбамид (фракция 1–3 мм), сульфат аммония, аммиачная селитра имеют баллы 1–2; 2–3; 2–4 соответственно. Практически не слеживаются сульфат калия, калимагнезия, хлорид калия электролит (1 балл). Производство крупнокристаллических и гранулированных удобрений, хранение и перевозка их в герметичной таре способствуют уменьшению слеживаемости удобрений.

Рассеиваемость. Определяется, прежде всего, гранулометрическим составом, сыпучестью (подвижностью) и прочностью гранул. Качественная оценка рассеиваемости проводится по 12-балльной системе, чем лучше рассеиваемость удобрений, тем выше балл. Равномерность распределения удобрений по поверхности почвы зависит как от сыпучести удобрений, так и от разбрасывающих устройств машин. Так, например, оценка качества внесения извести считается отличной, если отклонение дозы внесения составляет менее 3%, и неудовлетворительной, если отклонение дозы внесения превышает 10%. Для организации своевременной и хорошей рассеиваемости удобрений (их смесей) используют высокопроизводительные разбрасыватели различных конструкций.

Гранулометрический состав. Определяется при механическом ситовом анализе и представляет собой тонину помола (размер частиц). Процентное содержание различных фракций оказывает влияние на слеживаемость и рассеиваемость удобрений. При внесении удобрений с однородным гранулометрическим составом центробежными разбрасывателями обеспечивается равномерность поступления удобрения на дозирующее устройство и равномерное распределение по ширине захвата разбрасывателя.

Прочность гранул. Зависит от влажности, размера и формы частиц, плотности упаковки удобрений. Сохранность гранулометрического состава при хранении, транспортировке и внесении удобрений в почву определяет физические свойства удобрений: их сыпучесть, слеживаемость. Характеризуется прочностью гранул механической прочностью на раздавливание (кг на 1 см^2) и истиранием (в %), которые определяются на специальных приборах.

Угол естественного откоса. Образуется горизонтальной плоскостью с плоскостью откоса кучи удобрения, размещенного насыпью. Этот показатель учитывается при строительстве складов (в случае хранения удобрений насыпью), проектировании бункеров, транспортных средств. Угол естественного откоса является также косвенным показателем рассеиваемости удобрений.

Плотность. Представляет собой объем единицы массы (объем 1 т в м^3) – учитывается при проектировании складских помещений, например складов с вертикальными стенками, бункеров, грузоместности транспортных средств и т.д. Насыпная плотность (в тоннах на м^3) зависит от гранулометрического состава удобрений, размера и формы частиц, влажности, гигроскопичности, а также от давления вышележащих слоев.

4.2. Качественные реакции распознавания минеральных удобрений

Многие удобрения по внешнему виду очень сходны между собой. Как правило, они представляют собой кристаллический или аморфный порошок светлого цвета, сыпучий или слежавшийся в зависимости от степени гигроскопичности, без запаха. Удобрения могут загрязняться различными примесями при перевозке и хранении. При этом изменяется не только их внешний вид, но и состав. В случае потери этикеток или сопроводительных документов при транспортировке, длительном хранении в конкретном хозяйстве возникает опасность внесения в почву не того удобрения, которое рекомендовано, что может оказать не столь эффективное воздействие, а иногда и негативное влияние на сельскохозяйствен-

ные культуры. В связи с этим возникает необходимость умения распознавать удобрения, устанавливать их принадлежность к той или иной группе (азотные, фосфорные, калийные, известковые и т.д.) с помощью простых качественных реакций с небольшим количеством доступных реактивов. Существует несколько способов распознавания удобрений при помощи элементарных проб [11]. Порядок выполнения этих проб указан ниже в определителе минеральных удобрений.

Пробы для распознавания минеральных удобрений:

1. Проба на растворимость.

1–2 г удобрения переносят в пробирку, приливают 10–20 мл дистиллированной воды, встряхивают и наблюдают растворимость. По растворимости удобрения можно условно подразделить на следующие категории:

- а) полностью растворимо;
- б) заметно растворимо (растворяется не менее половины взятого удобрения);
- в) слабо растворимо (растворяется менее половины взятого удобрения);
- г) нерастворимо (видимого уменьшения в воде объема взятого удобрения не произошло).

2. Проба со щелочью.

Позволяет установить, содержится ли в удобрении аммиак. Если удобрение растворимо, то к части полученного раствора (3–5 мл) в пробирке приливают 2–3 мл 10%-ного раствора NaOH (или KOH) и кипятят содержимое, держа над отверстием пробирки лакмусовую бумажку, смоченную водой. Посинение лакмусовой бумажки или выделение аммиака указывает, что удобрение содержит ион NH_4^+ .

3. Проба с хлористым барием.

К части водного раствора удобрения в пробирке добавляют 3–5 капель 5%-ного раствора BaCl_2 . Образование белого тяжелого кристаллического осадка указывает на присутствие в удобрении аниона SO_4^{2-} . Для уверенности в том, что выпал именно сернокислый барий, следует убедиться в нерастворимости осадка в слабой соляной или уксусной кислоте.

4. Проба с азотнокислым серебром.

К части водного раствора удобрения в пробирке добавляют 3–5 капель 2%-ного раствора AgNO_3 . Образование белого творожистого осадка, нерастворимого в разбавленной азотной кислоте, свидетельствует о наличии в составе удобрения иона Cl^- , а образование желтого – на присутствие аниона PO_4^{3-} . Азотнокислое серебро реагирует и с анионом SO_4^{2-} , при этом выпадает тяжелый мелкокристаллический осадок, но меньшего объема, чем при добавлении хлористого бария.

С гашеной и негашеной известью AgNO_3 образует бурый осадок закиси серебра, который растворим в уксусной кислоте.

5. Проба со щавелевокислым аммонием.

К раствору удобрения в пробирке приливают 1–2 мл насыщенного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. Образование белого осадка свидетельствует о присутствии в составе удобрения иона Ca^{2+} .

6. Проба с раскаленным углем.

Небольшое количество сухого удобрения насыпают на раскаленный уголь. При этом наблюдают за быстротой сгорания удобрения, образованием дыма, его запахом и характером остатка.

7. Проба на пламя.

Небольшое количество сухого удобрения на кончике ножа вносят в бесцветное пламя горелки. Если удобрение горит, то наблюдают за цветом пламени. Окрашивание пламени желтым цветом свидетельствует о присутствии в удобрении катионов Na^+ , фиолетовым – катионов K^+ .

8. Проба с кислотой.

К небольшому количеству водного раствора или сухому удобрению в пробирке приливают 1–2 мл 5%-ной HCl . Выделение пузырьков газа («вскипание») указывает на присутствие в удобрении угольной кислоты.

9. Проба с лакмусовой бумагой.

Водным раствором удобрения смачивают полоску универсальной лакмусовой бумажки. Если удобрение имеет кислую реакцию – бумажка краснеет, а если щелочную – синее.

4.2.1. *Определитель минеральных удобрений* (по Петербургскому)

1. Удобрение в воде полностью или почти полностью растворяется, **см. пункт 2.**

Удобрение в воде не растворяется или растворяется незначительно, **см. пункт 14.**

2. Раствор удобрения с раствором щелочи при подогревании выделяет аммиак, **см. пункт 3.**

Раствор удобрения не выделяет аммиака, **см. пункт 8.**

3. Раствор удобрения с азотнокислым серебром образует осадок (нерастворимый в разбавленной HNO_3), **см. пункт 4.**

Раствор удобрения с AgNO_3 осадка не образует (может быть муть), **см. пункт 6.**

4. Цвет осадка (после прибавления AgNO_3) белый, **см. пункт 5.**

Цвет осадка (после прибавления AgNO_3) желтый – *аммофос* $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и *диаммофос* $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$.

5. Сухое удобрение белого или желтого цвета, на раскаленном угле не трещит, но выделяет белый дым, запах аммиака и соляной кислоты – *хлористый аммоний* NH_4Cl .

6. Раствор удобрения с раствором хлористого бария образует белый осадок (нерастворимый в кислотах), **см. пункт 7.**

Раствор удобрения с BaCl_2 осадка не образует (может быть муть); удобрение на раскаленном угле быстро плавится, кипит, дает белый дым и запах аммиака – *аммиачная селитра* NH_4NO_3 . Гранулированная селитра имеет вид мелких шариков или чешуек.

7. Сухое удобрение плавится, брошенный в расплав тлеющий уголек ярко вспыхивает – *нитрат-сульфат аммония* $2\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

Сухое удобрение в ложке не плавится и вспышки угля не дает, на раскаленном угле удобрение пахнет аммиаком – *сульфат аммония* $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

8. Раствор удобрения с раствором азотнокислого серебра образует белый творожистый осадок, нерастворимый в разбавленной азотной кислоте, **см. пункт 9.**

Раствор удобрения с AgNO_3 осадка не образует (может быть муть), **см. пункт 11.**

9. Удобрение крупнокристаллическое, розоватого цвета, имеет примесь красных кристаллов – **силивинит** $KCl \cdot NaCl$.

Удобрение мелкокристаллическое, **см. пункт 10.**

10. Кристаллы белого цвета, удобрение сухое – **хлористый калий** KCl .

Кристаллы грязноватые, удобрение сыроватое, напоминающее неочищенную соль – **калийные соли** $KCl + KCl \cdot NaCl$ и примеси.

11. Раствор удобрения с раствором щавелевокислого аммония образует белый осадок; на раскаленном угле плавится и сгорает, оставляя белый налет – **известковая селитра** $Ca(NO_3)_2$.

Раствор удобрения с $(NH_4)_2C_2O_4$ осадка не образует (может быть муть), **см. пункт 12.**

12. Сухое удобрение, разогретое в ложке, дает резкий запах аммиака – **мочевина** $CO(NH_2)_2$.

Сухое удобрение аммиака не выделяет, **см. пункт 13.**

13. Кристаллы крупные, влажные; на раскаленном угле удобрение вспыхивает и с шипением сгорает. Цвет пламени желтый – **натриевая селитра** $NaNO_3$.

Кристаллы мелкие сухие; на раскаленном угле удобрение вспыхивает и с шипением сгорает; цвет пламени фиолетовый – **калийная селитра** KNO_3 .

Кристаллы мелкие, сухие, на раскаленном угле не горят; водный раствор удобрения с 1–2 каплями $BaCl_2$ дает белый осадок, нерастворимый в кислотах – **серно-кислый калий** K_2SO_4 .

Сходные реакции дает **калимагнезия** $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$ (и примеси), но она (в отличие от K_2SO_4) не растворяется полностью в воде, а раствор ее содержит примеси иона Cl^- , обнаруживаемого при прибавлении 1–2 капель $AgNO_3$.

Реакцию на ион SO_4^{2-} с $BaCl_2$ дает также **каинит** $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$, но он лучше растворим в воде, чем калимагнезия, и дает с $AgNO_3$ более обильный осадок $AgCl$.

14. При прибавлении соляной кислоты содержимое пробирки пенится, **см. пункт 15.**

При прибавлении соляной кислоты удобрение в пробирке не вскипает и не пенится или вскипает и пенится незначительно, **см. пункт 16.**

15. Удобрение имеет вид белого или грязноватого порошка – **известняк** CaCO_3 или **мергель**.

Удобрение имеет вид серого пылящего порошка с кусочками угля – **печная зола**.

16. Цвет сухого удобрения белый, **см. пункт 17**.

Удобрение иного цвета, **см. пункт 18**.

17. При прибавлении к раствору удобрения азотноокислого серебра верхний слой осадка желтеет – **преципитат** $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Верхний слой осадка не желтеет – **цинк** $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

18. Удобрение светло-серого или серого цвета, **см. пункт 19**.

Удобрение иного цвета, **см. пункт 22**.

19. Раствор удобрения имеет кислую реакцию (проба с лакмусовой бумагой) – **суперфосфат** $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Гранулированный заводской суперфосфат имеет вид комочков с диаметром 1–4 мм.

Раствор удобрения имеет не кислую реакцию, **см. пункт 20**.

20. Сухое удобрение на раскаленном угле быстро темнеет и издает запах жженого рога – **костяная мука** $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + примеси многих других веществ.

Удобрение на угле не изменяется, **см. пункт 21**.

21. Удобрение имеет вид голубовато-серого, тонкого, плохо смачивающегося порошка, похожего на толченное стекло – **апатитовый концентрат** $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2$ + примеси многих других веществ.

Удобрение имеет вид серо-коричневого землистого порошка грубого размола – **фосфоритная мука** $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + примеси многих других веществ.

22. Удобрение почти черного цвета, имеет вид тонкого пылеватого порошка – **цианамид кальция** CaCN_2 + примеси.

Удобрение темно-коричневого цвета, тяжелый порошок – **томасшлак** $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaO}$ + примеси.

Удобрение темно-серого цвета, состоящее из отдельных комочков, водная вытяжка из удобрения дает отчетливую реакцию с хлористым барием, а также муть от прибавления раствора азотноокислого серебра – **калимаг** $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$ + примеси.

Форма записи результатов:

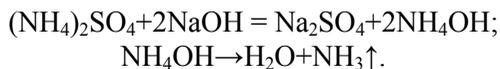
| № удобрения | Название, химический состав (формула) | Внешний вид и запах | Растворимость в воде | Отношение к щелочи | Реакция с AgNO_3 | Реакция с BaCl_2 | Реакция с $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ | Реакция с HCl | Отношение к раскаленному углю | Цвет пламени | Проба с лакмусовой бумагой |
|-------------|---------------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|---|------------------------|-------------------------------|--------------|----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |

4.2.2. Ускоренное определение важнейших минеральных удобрений

Вся аналитическая работа сводится к следующему. Навеску удобрения 1–2 г растворяют в 15–20 мл дистиллированной воды. По степени растворимости в воде минеральные удобрения условно разделяются на две группы: растворимые и нерастворимые. Полностью растворимы в воде все азотные, калийные и некоторые сложные удобрения (аммофос и диаммофос). Не полностью растворимы – суперфосфат простой и двойной, нитрофосы и нитрофоски; нерастворимы – все известковые удобрения [12].

Растворимые в воде удобрения:

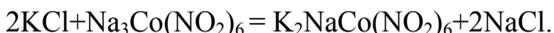
1. Определение удобрений проводят в пробирках. К 2–3 мл раствора удобрения добавляют такое же количество 5%-ного раствора щелочи; если после интенсивного встряхивания обнаруживается запах аммиака, то это свидетельствует о присутствии в удобрении **ионов аммония (NH_4^+)**



Реакция с NaOH – специфическая для аммонийных форм удобрений.

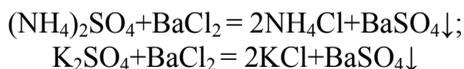
2. К 2–3 каплям раствора удобрения приливают 2 мл дистиллированной воды, добавляют около 0,1 г кобальтинитрита натрия и

взбалтывают. Если выпадает желтый осадок, в составе удобрения имеются **катионы калия (K⁺)**

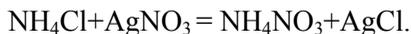


Следует отметить, что если в удобрении обнаружены катионы аммония, то не стоит проводить качественную реакцию на катион калия, так как катионы аммония и калия с кобальтинитритом натрия образуют желтый осадок комплексной соли. Так определяют катион калия в однокомпонентных удобрениях.

3. К 2–3 мл раствора удобрения добавляют 1–2 капли BaCl_2 . Если образуется мелкокристаллический белый осадок, нерастворимый в 1%-ном растворе соляной кислоты, значит в состав удобрения входят **анионы SO_4^{2-}**



4. К 2–3 мл раствора удобрения добавляют 2–3 капли 2%-ного раствора азотнокислого серебра. Если образуется белый творожистый осадок, значит, в составе удобрения имеются **ионы хлора (Cl⁻)**.



5. С раствором фосфорного удобрения, например суперфосфата, азотнокислое серебро образует осадок фосфорнокислого серебра (AgH_2PO_4) желтого цвета. В случае отсутствия AgNO_3 к 1 мл раствора удобрения прибавляют 2 мл подкисленной воды, 2 мл молибдата аммония и 3 капли 2,5%-ного раствора SnCl_2 . Если раствор становится темно-синим, следовательно, в его составе имеются **анионы фосфорной кислоты (PO_4^{3-})**.

К 1–2 мл раствора дифениламина прибавляют немного раствора удобрения, если раствор становится ярко-синим, в его составе имеются **анионы азотной кислоты (NO_3^-)**.

6. К 2–3 мл раствора удобрения добавляют 1–2 капли концентрированной фосфорной кислоты и 1–2 капли раствора SnCl_2 . Синее окрашивание указывает на наличие в удобрении **молибдена**. Если при смешивании указанных реактивов появляется только слабое окрашивание или помутнение раствора, это свидетельству-

ет о наличии соответствующих ионов не в составе удобрения, а лишь в примесях.

Если минеральное удобрение полностью растворимо в воде, но в растворе не обнаружен ни один из вышеперечисленных ионов, то рекомендуется провести пробу с раскаленным углем. Если удобрение на раскаленном угле плавится, дымит и издает резкий запах аммиака – это **мочевина** $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

Нерастворимые в воде удобрения:

Сухое удобрение в количестве 1–2 г помещают в пробирку и добавляют к нему 4–5 капель 5%-ного раствора соляной кислоты.

Если выделяется углекислый газ (раствор «вскипает»):

а) порошок белого и серовато-белого цвета – **молотый известняк** (CaCO_3);

б) порошок желтовато-серого цвета – **доломитовая мука** ($\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3$).

Не выделяется CO_2 (раствор не «вскипает»):

а) порошок белого цвета. К 2–3 мл водной суспензии удобрения добавить 2–3 капли 5%-ного раствора AgNO_3 и через несколько минут наблюдается пожелтение осадка – **преципитат** ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

б) серый порошок – **фосфоритная мука** – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

Гранулы светло-серого цвета:

а) реакция водного раствора удобрения кислая – **простой сульфат** ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

б) реакция водного раствора нейтральная – **двойной суперфосфат** $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$;

в) гранулы светло-серые с голубым оттенком – **борный суперфосфат**. Если в фарфоровую чашку поместить 1–2 г данного удобрения, добавить немного сахарозы, облить спиртом и поджечь, пламя окрашивается в зеленый цвет. Это указывает на **наличие бора** в удобрении;

г) гранулы серые с розовым оттенком – **нитрофоска, нитроаммофоска, тукосмесь**.

Темный (почти черный) тонкий пылеватый порошок с запахом керосина не дает характерных реакций, но имеет щелочную реакцию среды, которая легко устанавливается с помощью лакмусовой бумажки – **цианамид кальция** CaCN_2 .

4.3. Азотные удобрения

Азот в жизни растений имеет исключительно важное значение. На него приходится 16–18% массы белка, а белковые вещества – это главная составляющая часть протоплазмы, присутствуют в каждой живой клетке, являются основой всякого жизненного процесса.

Азот входит в состав всех аминокислот, из которых построена молекула белка, а также в состав нуклеиновых кислот, хлорофилла, фосфатидов, многих глюкозидов, алкалоидов и других органических азотистых веществ растений [9].

Источником азота для питания растений являются соли азотной кислоты, азотистой, а также соли аммония. Особое положение занимают бобовые культуры. Они могут усваивать азот атмосферы с помощью клубеньковых бактерий. При питании растений азотом в виде солей азотной кислоты поглощенные нитраты уже в корневой системе восстанавливаются до аммиака. Аммиачный азот, поступивший в растение при участии углеводов и продуктов их окисления, идет на образование аминокислот и амидов.

В растительном организме процессы обмена азотистых веществ начинаются одновременно с прорастанием семян. В растущих органах происходят синтез белков и образование других азотистых соединений. Азотистые вещества способны передвигаться из относительно более старых листьев в молодые растущие органы.

Общее содержание азота у разных растений и в разных органах неодинаково. В виде белковых веществ много азота содержат семена. Молодые листья богаче азотом, в корнях и стеблях растений содержание азота ниже. В листьях увеличивается количество белка, и они продолжительное время сохраняют жизнедеятельность. Условия азотного питания имеют большое значение и для качества сельскохозяйственной продукции. В одних случаях повышение белка, например в зерне пшеницы, желательно, а в других повышение содержания небелковых азотистых веществ, например в корнях сахарной свеклы, снижает ее качество.

4.3.1. Классификация азотных удобрений и их свойства

В зависимости от того, в какой форме представлен азот в туках, все азотные удобрения подразделяют на нитратные или селитры (кальциевая, натриевая, калийная), аммиачные или аммонийные (сульфат аммония, хлористый аммоний), аммиачно-нитратные (азотнокислый аммоний или аммиачная селитра) и амидные (мочевина) (прил. 6).

Сырьем для производства азотных удобрений являются аммиак и азотная кислота, которые синтезируются из атмосферного азота или утилизируются из отходящих газов различных производств (переработка нефти, угля, газа).

Стоимость производства отдельных форм азотных удобрений неодинакова. Аммиачные удобрения дешевле нитратных, поскольку для получения нитратного азота требуются дополнительные расходы для переработки аммиака в азотную кислоту. Все аммиачные удобрения, включая аммиачную селитру, а также амидные, за исключением цианамида кальция, в разной степени подкисляют почву, вследствие физиологической кислотности самих удобрений и протекающих в почве под действием микроорганизмов процессов нитрификации.

Разнообразие почвенно-климатических зон, а также многообразие возделываемых сельскохозяйственных культур вызывают необходимость выпуска широкого ассортимента удобрений с учетом специфических особенностей различных растений и среды их произрастания.

На почвах, насыщенных основаниями (черноземы, сероземы, каштановые и т.д.), имеющих нейтральную реакцию почвенного раствора, аммиачные формы удобрений имеют преимущества перед нитратными и способствуют получению более высоких урожаев.

Нитратные удобрения

Эти удобрения содержат азот в виде солей азотной кислоты (HNO_3). Они хорошо растворимы в воде, не поглощаются почвой и легко вымываются атмосферными осадками из пахотного слоя в

грунтовые воды при внесении удобрений задолго до посева сельскохозяйственных культур. Поэтому в районах с влажным климатом, особенно на легких почвах, вносить их осенью под яровые культуры нецелесообразно. Азот нитратных удобрений легко усваивается растениями. Они наиболее пригодны для предпосевного, припосевного внесения и в подкормки, когда растениям требуется усиленное азотное питание. Нитратные формы азотных удобрений являются физиологически щелочными, так как при поглощении растениями азота в виде нитратного иона большая часть оснований остается в почве. К нитратным удобрениям относят натриевую и кальциевую селитры.

Кальциевая селитра – кристаллическое, очень твердое удобрение белого цвета, без запаха. Очень гигроскопичное, хорошо растворяется в воде, легко усваивается растениями. В удобрении содержится 19% кальция и 15,5% нитратного азота. Рекомендуется внесение на кислых почвах.

Недостаток кальция для растений вызывает ослабление развития корневой системы растений, на корнях прекращают образовываться корневые волоски, через которые поступает вода и основная часть питательных элементов. При недостатке кальция корни загнивают, появляется хлоротичность листьев, прекращается рост стебля, у томатов развивается вершинная гниль.

Недостатком удобрения является слеживаемость при хранении. Кальциевая селитра должна храниться в герметичных полипропиленовых мешках.

Натриевая селитра (NaNO_3) – кристаллическое вещество белого цвета иногда с желтоватым оттенком. В природе встречается в виде минерала нитронатрита (чилийская селитра). Получают из природных залежей или синтетическим путем из азота воздуха или из синтетического аммиака. Содержит 16% азота в нитратной форме. Хорошо растворяется в воде и легко усваивается растениями.

Натриевая селитра – физиологически щелочное удобрение, применяется на всех типах почв (кроме солонцов). Наиболее эффективно действует на кислых почвах в сочетании с водорастворимыми формами фосфорных и калийных удобрений. Применяют под все сельскохозяйственные культуры. Особенно рекомендуется

рядковое внесение весной под сахарную и столовую свеклу и другие корнеплоды. Высокая эффективность связана с положительным действием натрия на отток углеводов из листьев в корни.

Недостатком является очень высокая гигроскопичность удобрения. Не рекомендуется смешивать натриевую селитру с суперфосфатом.

Аммиачные удобрения

Они содержат азот в хорошо усвояемой растениями аммиачной (аммонийной) форме. В отличие от нитратных удобрений, азот аммиачных хорошо поглощается почвой, что предохраняет его от вымывания, особенно при осеннем внесении на легких почвах. Эти удобрения относятся к физиологически кислым в связи с избирательным поглощением растениями аммиака и постепенным переходом его в почве в нитраты под влиянием нитрифицирующих бактерий. Интенсивность процессов нитрификации зависит от многих факторов, прежде всего от аэрации, влажности, температуры почвы, от реакции почвенного раствора. Наиболее интенсивно нитрификация протекает в почвах при pH 8,5 и температуре 20–35°C. Поэтому переход аммиака в нитраты возрастает в весенне-летний период, резко ослабляется осенью и приостанавливается зимой. К аммиачным азотным удобрениям относят сульфат аммония, сульфат аммония-натрия, жидкий (безводный) аммиак и хлористый аммоний.

Сульфат аммония (сернокислый аммоний) – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Это мелкокристаллический продукт, который выпускается в двух видах. Синтетический сульфат содержит 20,8–21% азота, 0,2–0,3% свободной серной кислоты, 0,1–1,5% влаги. Коксохимический сульфат содержит 20,5% азота, до 0,4% свободной серной кислоты и 2% влаги. Коксохимический сульфат аммония получается путем улавливания серной кислотой аммиака, образуемого в процессе коксования угля.

Синтетический сульфат аммония имеет белый цвет, а коксохимический – серый, иногда синеватый и красноватый. В его состав могут входить небольшие количества органических примесей –

смоляные кислоты, фенолы, роданистый аммоний. Последний должен содержаться в количестве, не превышающем 0,1%, так как роданистый аммоний токсичен для растений. Сульфат аммония чисто аммиачное удобрение. В сухом состоянии он хорошо рассеивается. Применяется под все сельскохозяйственные культуры. Кислые почвы предварительно нужно известковать, так как это удобрение обладает большой физиологической кислотностью, иначе его эффективность может снизиться, особенно на культурах, чувствительных к кислотности (сахарная свекла, яровая пшеница и др.). Средние нормы внесения сульфата аммония – до 4–6 ц/га.

Хлористый аммоний – NH_4Cl . Белое, малогигроскопичное вещество, содержит 24–25% азота, почти не слеживается, в сухом состоянии хорошо рассеивается. Содержит много хлора, в связи с чем сильно подкисляет почву. В нечерноземной полосе хлористый аммоний может применяться только на известкованных почвах. Используется в основном на черноземах в допосевном внесении при зяблевой вспашке под кукурузу и другие культуры. Из-за высокого содержания хлора к применению хлористого аммония следует подходить осторожно, не рекомендуется вносить под картофель.

Аммиачно-нитратные удобрения

Они содержат азот как в аммиачной, так и в нитратной форме. К ним относятся аммиачная и известково-аммиачная селитры. Среди твердых азотных удобрений самым распространенным в России является аммиачная селитра. Она содержит 34–35% азота – половину в подвижной, быстроусвояемой нитратной форме и половину – в медленно и продолжительно действующей аммиачной. Это концентрированное высокоэффективное удобрение универсального значения, поскольку в нем удачно сочетается быстросействующий нитратный азот с менее подвижным аммиачным. Азот аммиачной селитры наиболее дешевый. Хорошая растворимость делает аммиачную селитру пригодной для всех приемов и почти для всех сроков внесения: до посева, при посеве (в лунки, гнезда), в подкормку.

Аммиачная селитра (азотнокислый аммоний) – NH_4NO_3 – содержит 33,95% азота. Это белое или желтоватое вещество, хорошо растворяется в воде. Выпускается в гранулированном или чешуйчатом виде. При хранении в сырых помещениях аммиачная селитра, особенно чешуйчатая, сильно слеживается. Меньше слеживается и хорошо рассеивается гранулированная. Применяется во всех районах под все культуры при различных сроках и способах внесения: до посева под вспашку, при посеве (в рядки и гнезда) и в период роста растений (в подкормку). Внесение аммиачной селитры требуется в первую очередь под технические и овощные культуры. Аммиачная селитра вносится в дозах от 1 до 3–3,5 ц/га.

Удобрение сильно гигроскопично, рекомендуется перевозить и хранить в упакованном виде.

Амидные удобрения

Удобрения содержат азот в амидной форме. В почве амиды превращаются в аммиак и нитриты. К амидным азотным удобрениям относят мочевины (карбамид или диамид угольной кислоты), цианамид кальция и мочевино-формальдегидные удобрения.

Мочевина (карбамид) – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – содержит 46% азота. Хорошо растворима в воде. Менее гигроскопична, чем аммиачная селитра. Выпускается в гранулированном виде.

Мочевина является самым концентрированным из азотных удобрений, а по эффективности равноценна аммиачной селитре (при одинаковой дозе азота). Азот мочевины освобождается постепенно. Ее разложение протекает под действием фермента уреазы с образованием углекислого аммония. Далее углекислый аммоний разлагается на аммиак, углекислоту и воду. Образовавшийся аммиак сорбируется почвой и постепенно нитрифицируется, в результате происходит смещение реакции среды в кислую сторону.

Мочевина может применяться во всех почвенно-климатических зонах на большинстве почв и под все культуры. При внесении под зерновые оказывает такое же действие на урожай, как и аммиачная селитра, но в ряде случаев способствует большему повышению

белковости зерна. Мочевина является лучшим азотным удобрением для внекорневой подкормки плодовых и ягодных насаждений и виноградников. В качестве удобрений ее целесообразно применять в дозах 1–3 ц/га, для внекорневой подкормки садов и ягодников готовят водный раствор с концентрацией 0,2–0,3%.

Цианамид кальция – CaCN_2 Представляет собой темно-серый сильно пылящий порошок. Содержит 18–22% азота. Цианамид кальция как удобрение, имеющее щелочную реакцию среды, целесообразно вносить на кислых и легких почвах, так как слабо вымывается из почвы. Выпускается удобрение в крайне ограниченном количестве и используется в основном для дефолиации хлопчатника.

Мочевино-формальдегидные удобрения (МФУ, карбамиформ, уреаформ) – это медленно действующие удобрения, содержащие 33–42% азота и только 3–10% в водорастворимой форме. Медленно действующие удобрения отдают азот постепенно, следовательно, их можно вносить в почву в больших дозах без опасения вымывания даже в районах с избыточным увлажнением и на орошаемых полях.

4.3.2. Анализ азотных удобрений с аммиачной формой азота

При отсутствии паспорта на удобрение или при долгом его хранении возникает необходимость проведения анализа удобрения. Это связано с определением его качества для расчета дозы удобрения при разных способах внесения. Из большого количества имеющихся методов количественного определения различных форм азота в минеральных азотных удобрениях остановимся на некоторых стандартных и широко используемых во многих агрохимических лабораториях [12].

Определение содержания влаги

Навеску удобрения 3–5 г переносят в предварительно взвешенный стеклянный бюкс с притертой крышкой. Взвешивают бюкс с

удобрением на аналитических весах и помещают его в сушильный шкаф, предварительно открыв крышку. Сушат при температуре 105°C до постоянной массы.

Расчет результатов анализа:

Содержание влаги в процентах вычисляют по формуле

$$\%H_2O = \frac{a \times 100}{m},$$

где a – количество испарившейся воды, г; m – навеска удобрения, г.

Пример вычисления гигроскопической влаги сульфата аммония. Для определения гигроскопической влажности сульфата аммония использовалась навеска удобрения 3,1545 г. Высушивание проводилось в термостате при температуре 105°C. Масса испарившейся влаги составила 0,0402:

$$\%H_2O = \frac{0,0402 \times 100}{3,1545} = 1,2743.$$

Форма записи результатов:

| № бюкса | Масса пустого бюкса, г | Масса бюкса с удобрением, г | Навеска, г | Масса бюкса после высушивания, г | Масса испарившейся влаги, г | H ₂ O, % |
|---------|------------------------|-----------------------------|------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| 1 | 14,5678 | 17,7223 | 3,1545 | 14,6080 | 0,0402 | 1,2743 |

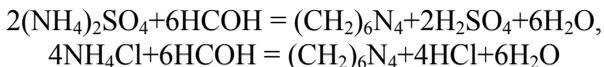
Определение содержания аммиачного азота формалиновым методом

Формалиновый метод считается стандартным при определении азота в аммиачных удобрениях – сульфате аммония, хлористом аммонии, аммофосах и др. [12].

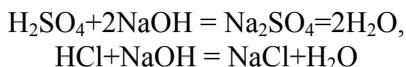
Принцип метода. Определение основано на количественном связывании аммиака при помощи формалина в нейтральное орга-

ническое соединение гексаметилентетрамин – $C_6H_{12}N_4$ (уротропин). Аммиачные удобрения в нейтральном растворе с водным раствором формальдегида (формалина – $HCHO$) образуют минеральную кислоту в количестве, эквивалентном навеске удобрения.

Образование свободной минеральной кислоты можно выразить уравнениями



Минеральная кислота определяется путем титрования 0,5 н раствором щелочи



По количеству образовавшейся кислоты, которая учитывается при титровании, определяют количественное содержание азота в исследуемом удобрении.

Приготовление раствора. На технических весах взвешивают 10 г удобрения, помещают в стакан емкостью 200 мл и растворяют в 100 мл холодной дистиллированной воды. Если удобрение загрязнено, то раствор получается мутным. В таком случае его отфильтровывают через обычный бумажный фильтр в мерную колбу объемом 250 мл. Стакан несколько раз споласкивают дистиллированной водой, перенося жидкость в эту же мерную колбу, и доводят ее до метки.

Ход анализа:

Из приготовленного раствора пипеткой берут 25 мл вытяжки, переносят в коническую колбу емкостью 250 мл, туда же прибавляют 2–3 капли индикатора метилового красного. В случае появления розового окрашивания (кислая среда) раствор нейтрализуют 0,1 н раствором $NaOH$ или KOH , добавляя его из капельницы, до перехода розового окрашивания в золотисто-желтое.

В другую коническую колбу или стакан приливают (под тягой) из мерного цилиндра 20 мл 25%-ного раствора формалина и проверяют его нейтральность путем прибавления двух капель метилового красного. В случае кислой среды (появление розового окрашивания) проводят нейтрализацию тем же способом, что предложен выше.

Нейтрализованный раствор формалина вливают в нейтрализованный раствор анализируемого удобрения и осторожно перемешивают. Реакция протекает очень быстро и от образовавшейся минеральной кислоты окраска раствора из золотисто-желтой переходит в розовую.

К раствору с выделившейся минеральной кислотой прибавляют 2 капли индикатора фенолфталеина и титруют его из макробюретки объемом 50 мл раствором 0,5 н щелочи (NaOH или KOH). При титровании следует внимательно следить за изменением окраски. Поскольку в растворе присутствуют два индикатора, то в процессе титрования цвет раствора изменяется два раза. В начале окраска раствора из розовой (от метилоранжа рН 3,1) постепенно переходит в бледно-желтую (от метилового красного при рН 6,2), затем сменяется малиновой (от фенолфталеина, при рН > 8,0). Конец титрования определяется появлением малинового окрашивания. По количеству затраченной щелочи на титрование исследуемого раствора учитывают аммиачный азот в анализируемом удобрении.

Количество аммиачного азота (в %) вычисляют по формуле

$$\% \text{N} = \frac{a \times n \times 0,014 \times 100}{m},$$

где a – количество щелочи NaOH, пошедшее на титрование, мл;
 n – нормальность щелочи NaOH; 0,014 – миллиэквивалент азота;
 m – аликвотная навеска, г.

Пример вычисления содержания азота в сульфате аммония.
Для определения содержания азота в сульфате аммония использовалась навеска удобрения 10 г, общий объем раствора 250 мл. Для титрования взято 25 мл раствора удобрения. На титрование затрачено 30,3 мл 0,5 н раствора NaOH. Содержание азота в сульфате аммония составляет

$$\% \text{N} = \frac{30,3 \times 0,5 \times 0,014 \times 100}{1} = 21,21.$$

Форма записи результатов:

| № удобрения | Навеска, г | Общий объем раствора, мл | Аликвотная навеска, г | Нормальность щелочи NaOH | Количество щелочи NaOH, пошедшее на титрование, мл | N, % |
|-------------|------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--|-------|
| 1 | 10 | 250 | 1 | 0,5 | 30,3 | 21,21 |

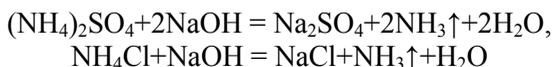
Реактивы:

- 0,1 н раствор NaOH.
- 0,5 н раствор NaOH. Раствор готовят из фиксанала или берут 20 г х.ч. NaOH и растворяют в воде без CO₂ затем доводят объем дистиллированной водой до 1 л. Нормальность раствора устанавливают по фиксаналу H₂SO₄ или по перекристаллизованной янтарной кислоте.
- 25%-ный раствор формалина. 630 мл 40%-ного формалина растворяют в дистиллированной воде, переносят в мерную колбу емкостью 1 л, доводят до метки, закрывают чистой пробкой, хорошо перемешивают. Приготовление реактива необходимо выполнять под тягой!
- Метилоранж индикатор. 0,1 г метилового оранжевого растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе емкостью 100 мл.
- Фенолфталеин. 0,1 г фенолфталеина растворяют в 95%-ном этиловом спирте в мерной колбе емкостью 100 мл. Хранят в емкости с притертой пробкой.
- Индикатор метиловый красный. 0,1 г метилового красного растворяют в 60%-ном спирте в мерной колбе емкостью 100 мл.

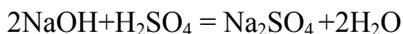
*Определение в удобрениях аммиачного азота
методом открытого кипячения*

Метод открытого кипячения менее точен, по сравнению с формалиновым, однако при соблюдении основных правил проведения анализа может также использоваться для количественного определения азота в аммиачных удобрениях.

Принцип метода. При кипячении раствора аммиачного удобрения со щелочью выделяется и улетучивается аммиак. Реакцию можно выразить уравнением



При этом расходуется количество щелочи, эквивалентное содержанию азота в анализируемом удобрении. Остаток щелочи, не вошедший в реакцию, оттитровывают серной кислотой



По количеству миллилитров щелочи, пошедшей на разложение удобрения с образованием аммиака, вычисляют содержание азота.

Ход анализа:

Из ранее приготовленного раствора аммиачного удобрения пипеткой берут 25 мл жидкости и переносят в термостойкую коническую колбу емкостью 250 мл. К раствору добавляют 2–3 капли индикатора метилоранжа. В случае появления бледно-розового окрашивания, свидетельствующего о кислой реакции среды, раствор нейтрализуют несколькими каплями 0,1 н щелочи (NaOH или KOH). После нейтрализации в колбу прибавляют 50 мл 0,5 н раствора NaOH и перемешивают. Колбу с раствором прикрывают маленькой стеклянной воронкой, под тягой нагревают на плитке до кипения и кипятят до тех пор, пока объем раствора не уменьшится на $\frac{1}{3}$ часть от первоначального. Кипение не должно быть слишком бурным.

Раствор охлаждают до комнатной температуры, стенки воронки и горлышко колбы обмывают дистиллированной водой из промывалки для смыва вещества, попадающего сюда с брызгами.

Избыток оставшейся в растворе щелочи оттитровывают 0,5 н раствором серной кислоты в присутствии фенолфталеина. При титровании окраска раствора изменяется из малиновой (от фенолфталеина, $\text{pH} > 8,0$) через желтую (от метилоранжа $\text{pH} 4,4$) до бледно-розовой (от метилоранжа $\text{pH} 3,1$).

Расчет результатов анализа:

Содержание азота (в процентах) в сульфате аммония вычисляют по формуле

$$\%N = \frac{(50 - a) \times n \times 0,014 \times 100}{m},$$

где a – количество серной кислоты, пошедшее на титрование, мл;
 n – нормальность серной кислоты; 0,014 – миллиэквивалент азота;
 m – аликвотная навеска.

Пример вычисления содержания азота в сульфате аммония.
 Для определения содержания азота в сульфате аммония использовалась навеска удобрения 10 г, общий объем раствора 250 мл. Для титрования взято 25 мл раствора удобрения. На титрование избытка щелочи затрачено 30,3 мл 0,5 н раствора H_2SO_4 .

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{10 \text{ г удобрения} \rightarrow 250 \text{ мл раствора}}{X \text{ г удобрения} \rightarrow 25 \text{ мл раствора}}; \quad X_{\text{г}} = \frac{10 \times 25}{250} = 1.$$

Содержание азота в сульфате аммония составляет

$$\%N = \frac{(50 - 19,7) \times 0,5 \times 0,014 \times 100}{1} = 21,21.$$

Форма записи результатов:

| № удобрения | Навеска, г | Общий объем раствора, мл | Аликвотная навеска, г | Нормальность H_2SO_4 | Количество H_2SO_4 , которое пошло на титрование, мл | N,% |
|-------------|------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|--|-------|
| 1 | 10 | 250 | 1 | 0,5 | 19,7 | 21,21 |

Реактивы:

- 0,1 н раствор NaOH. Раствор готовят из фиксанала.
- 0,5 н раствор H_2SO_4 . Раствор готовят из фиксанала.
- 0,5 н раствор NaOH. Раствор готовят из фиксанала или берут 20 г х.ч. NaOH и растворяют в воде без CO_2 , затем доводят объем дистиллированной водой до 1 л. Нормальность раствора устанавливается

ливают по фиксаналу H_2SO_4 или по перекристаллизованной янтарной кислоте.

4. Метилоранж индикатор. 0,1 г метилового оранжевого растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе емкостью 100 мл.

5. Фенолфталеин. 0,1 г фенолфталеина растворяют в 95%-ном этиловом спирте в мерной колбе емкостью 100 мл. Хранят в емкости с притертой пробкой.

Определение свободной кислотности аммиачных удобрений

Из приготовленного ранее раствора аммиачного удобрения берут пипеткой 100 мл жидкости, переносят в коническую колбу емкостью 250 мл и прибавляют 2–3 капли индикатора метилового красного. Если в растворе удобрения присутствуют свободные кислоты, то раствор окрашивается в бледно-розовый цвет. Конец титрования определяется изменением розовой окраски в желтую. (титрование проводят на холоде).

Расчет результатов анализа:

Свободная кислотность вычисляется по формуле

$$\%X = \frac{a \times n \times 0,0049 \times 100}{m},$$

где a – количество 0,1 н NaOH, пошедшее на титрование, мл; n – нормальность NaOH; 0,0049 – г H_2SO_4 , отвечающие 1 мл 0,1 н раствора щелочи; m – аликвотная навеска.

Пример вычисления свободной кислотности удобрения. Для определения содержания азота в сульфате аммония использовалась навеска удобрения 10 г, общий объем раствора 250 мл. Для титрования взято 100 мл раствора удобрения. На титрование затрачено 0,3 мл 0,1 н раствора NaOH.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{10 \text{ г удобрения} \rightarrow 250 \text{ мл раствора}}{X \text{ г удобрения} \rightarrow 100 \text{ мл раствора}}; X \text{ г} = \frac{10 \times 100}{250} = 4 \text{ г}.$$

Свободная кислотность сульфата аммония равна

$$\%X = \frac{2,10 \times 0,1 \times 0,0049 \times 100}{4} = 0,0257.$$

Форма записи результатов:

| № удобрения | Навеска, г | Общий объем раствора, мл | Аликвотная навеска, г | Нормальность NaOH | Количество щелочи NaOH, которое пошло на титрование, мл | N, % |
|-------------|------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|---|--------|
| 1 | 10 | 250 | 4 | 0,1 | 2,10 | 0,0257 |

Реактивы:

- 0,1 н раствор NaOH. Раствор готовят из фиксаля.
- Индикатор метиловый красный. 0,1 г метилового красного растворяют в 60%-ном спирте в мерной колбе емкостью 100 мл.

4.3.3. Анализ азотных удобрений с нитратной формой азота

Наиболее распространенными методами определения азота в нитратных удобрениях признаны:

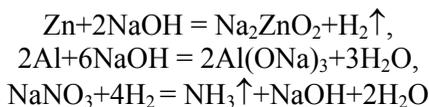
1) метод Ульша, который заключается в восстановлении азота нитратов до аммиака действием восстановленного железа в кислой среде;

2) метод Деварда, согласно которому азот нитратов также восстанавливается до аммиака в щелочной среде действием сплава меди, цинка и алюминия в щелочной среде.

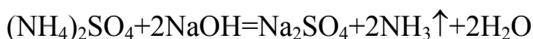
Во всех случаях выделившийся аммиак связывается титрованной серной кислотой, что дает возможность его точного учета. Рассмотрим стандартный метод, применяемый для количественного определения нитратного азота.

*Определение суммы аммиачного и нитратного азота
в удобрениях по методу Деварда (ГОСТ 20851.1)*

Принцип метода. Метод основан на восстановлении в щелочной среде нитратного азота до аммиачного под действием сплава Деварда (сплав меди, цинка и алюминия в соотношении 50:5:45) с дальнейшей отгонкой аммиака по методу Кьельдаля и его титриметрическим определением [10]:



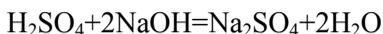
Аммонийная форма азота комплексных удобрений при взаимодействии со щелочью и при нагревании также образует аммиак:



Выделившийся аммиак отгоняют в отгонном аппарате в приемник, где он связывается с титрованным раствором серной кислоты:



Избыток свободной серной кислоты оттитровывают раствором щелочи:



Это дает возможность количественного учета аммиака, а по нему и азота, содержащегося в исследуемом удобрении.

Приготовление вытяжки. На технических весах взвешивают 2 г растертого удобрения, помещают в термостойкий химический стакан емкостью 200 мл. Приливают 100–150 мл воды и нагревают до кипения, перемешивая содержимое стакана стеклянной палочкой.

Горячий раствор фильтруют через плотный фильтр (синяя лента) в мерную колбу емкостью 250 мл. Стакан и палочку обмывают несколько раз горячей дистиллированной водой, которую также сливают на фильтр. Когда раствор охладится, доводят объем жидкости до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают.

Полученный раствор используют для количественного определения азота в селитрах и сложных удобрениях.

Ход анализа:

Вначале готовят приемник. Приемником служит коническая колба емкостью 500 мл, в которую точно из бюретки наливают 50 мл 0,1 н раствора серной кислоты и капают 2–3 капли индикатора Гроака. Приемник устанавливают к аппарату так, чтобы кончик холодильника был погружен в жидкость.

Отмеряют пипеткой 50 мл исходного раствора удобрения пипеткой и переносят в колбу Кьельдаля, приливают туда же 150–200 мл дистиллированной воды, прибавляют 2–2,5 г сплава Деварда. Затем медленно по стеночке приливают из цилиндра 40 мл 40%-ного раствора NaOH и очень быстро присоединяют колбу к прибору для отгонки. Содержимое колбы перемешивают круговым вращением и оставляют без нагревания на 1 ч. За это время происходит восстановление нитратов до аммиака, который поступает в приемник и связывается с серной кислотой. Затем нагревают отгонную колбу на плитке и кипятят содержимое в течение 3 ч до конца отгонки. Полнота отгонки аммиака определяется по его отсутствию в конденсате. Для этого кончик холодильника вынимают из приемника, обмывают дистиллированной водой, помещают в пробирку, набирают около 1 мл конденсата и прибавляют к нему несколько капель реактива Несслера ($K_2[HgJ_4]$). Отсутствие желтой окраски укажет на полноту отгонки аммиака.

После окончания отгонки приемник отсоединяют, кончик холодильника обмывают дистиллированной водой, сливают промывные воды в приемник и содержимое приемника титруют 0,1 н раствором щелочи до изменения окраски от фиолетовой через серую до зеленой.

Одновременно проводят контрольный опыт в тех же условиях и с тем же количеством реактивов, но без анализируемого удобрения (опыт на чистоту реактивов). Азот в контрольном опыте проводят ежедневно и при применении новых реактивов.

Расчет результатов анализа:

Содержание азота в удобрении рассчитывают по формуле

$$\%N = \frac{(V_1 - V_2) \times 0,0014 \times 100}{m},$$

где V_1 – объем 0,5 н раствора щелочи, израсходованной на титрование избытка кислоты в контрольном опыте, мл; V_2 – объем 0,5 н раствора щелочи, израсходованной на титрование испытуемой пробы, мл; 0,0014 – количество азота, соответствующее 1 мл 0,1 н раствора щелочи, г; m – аликвотная навеска, г.

Пример вычисления содержания азота в натриевой селитре. Навеску 2 г натриевой селитры растворяют в дистиллированной воде и переносят с мерную колбу емкостью 250 мл. Для отгонки азота использовано 50 мл раствора удобрения. Избыток 0,1 н серной кислоты в колбе-приемнике оттитрован 0,1 н раствором щелочи NaOH. На титрование контрольного образца затрачено 49,3 мл 0,1 н раствора щелочи NaOH, испытуемого образца – 3,6. Содержание азота в натриевой селитре составляет

$$\%N = \frac{(49,3 - 3,6) \times 0,0014 \times 100}{0,4} = 15,995.$$

Форма записи результатов:

| Удобрение | Навеска, г | Общий объем раствора удобрения, мл | Объем раствора для анализа, мл | Аликвотная навеска, г | Объем 0,2 н NaOH для титрования контрольного образца (V_1), мл | Объем 0,2 н NaOH для титрования раствора удобрения (V_2), мл | N, % |
|-----------|------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--|--|--------|
| 1 | 2 | 250 | 50 | 0,4 | 49,3 | 3,6 | 15,995 |

Реактивы:

1. 0,1 н раствор H_2SO_4 . Нормальность кислоты должна быть не меньше 0,0900 и не больше 0,1100. Готовят из фиксаля (1 ампула на 1 л H_2O). Если нет фиксаля, тогда пипеткой точно отмеряют 2,8 мл H_2SO_4 (удельный вес 1,84), растворяют в дистиллированной воде, затем доводят объем водой до 1 л. Нормальность раствора устанавливают по фиксалю NaOH.

2. 0,1 н раствор NaOH. Раствор готовят из фиксаля (1 ампула на 1 л H_2O) или берут 4 г х.ч. NaOH и растворяют в воде без CO_2 и

затем доводят объем дистиллированной водой до 1 л. Нормальность раствора устанавливают по фиксаналу H_2SO_4 или по перекристаллизованной янтарной кислоте.

3. 40%-ный раствор NaOH . Взвешивают 400 г NaOH , помещают в стакан и приливают примерно 500–600 мл дистиллированной воды, непрерывно помешивая стеклянной палочкой до полного растворения. Переливают раствор в мерную колбу на 1 000 мл, доводят водой до метки, хорошо перемешивают.

4. Сплав Дебарда (сплав цинка, меди и алюминия в соотношении 5:50:45).

5. Индикатор Гроака, комбинированный индикатор. При pH 5,5 дает четкое изменение фиолетового цвета на зеленый. 0,15 г метиленового красного растворяют в 102 мл этилового спирта-ректификата. 0,05 г метиленового голубого растворяют в 5 мл дистиллированной воды. Смешивают приготовленные компоненты, индикатор хранят в склянке из темного стекла.

6. Реактив Несслера (щелочной раствор $\text{K}_2[\text{HgJ}_4]$). Используют готовый реактив.

4.3.4. Анализ удобрений, содержащих азот в амидной форме

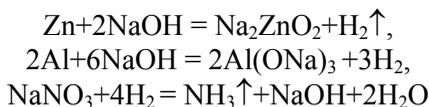
Многие промышленные азотные удобрения содержат азот в амидной форме. К ним относятся мочевины, карбамид-аммонийно-нитратные удобрения (КАС).

Определение содержания общего азота в мочеvine

Принцип метода. Метод основан на переводе амидной формы азота в аммонийную. Определение проводится с использованием отгонного аппарата Кьельдаля. Реакцию перехода амидного азота в аммонийную можно выразить уравнением



Этот же метод можно использовать для определения азота в КАС. Тогда для восстановления нитратов до аммиака добавляется сплав Дебарда:



При взаимодействии аммонийной формы азота со щелочью образуется аммиак. Для ускорения реакции содержимое колбы нагревают:



Аммиак, образовавшийся в результате реакции, отгоняют в приемник, где он связывается титрованным раствором серной кислоты:



Приготовление вытяжки. На технических весах берут навеску удобрения 3 г, переносят в коническую колбу объемом 100 мл и добавляют 10 мл дистиллированной воды. Содержимое колбы перемешивают и приливают 10 мл концентрированной серной кислоты. В вытяжном шкафу устанавливают плитку с закрытой спиралью, ставят на нее колбу, нагревают до прекращения бурного выделения CO_2 , а затем кипятят до появления белых паров ($\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_3$). После этого содержимое колбы охлаждают, переносят в мерную колбу емкостью 250 мл, доводят дистиллированной водой до метки и тщательно перемешивают.

Ход анализа:

Перед началом отгонки аммиака в первую очередь готовят приемник. Приемником служит коническая колба емкостью 500 мл, в которую точно из бюретки наливают 100 мл 0,2 н раствора серной кислоты и капают 2–3 капли индикатора метилового красного. Приемник устанавливают так, чтобы кончик холодильника был погружен в раствор серной кислоты.

Из приготовленного раствора пипеткой отбирают 50 мл раствора удобрения, переносят в колбу Кьельдаля, приливают туда же из мерного цилиндра 150 мл дистиллированной воды, добавляют 2 г сплава Деварда, осторожно по стеночке приливают из цилиндра 30 мл 40%-ного раствора NaOH и очень быстро присоединяют колбу к прибору для отгонки. Содержимое колбы перемешивают

круговым вращением и оставляют без нагревания на 1 ч. Затем проводят отгонку аммиака, нагревая содержимое колбы Кьельдаля до кипения, и последующим кипячением. Конец отгонки определяют с помощью лакмусовой бумажки. Если лакмусовая бумажка будет синеть от капельки конденсата, то это означает, что отгонка аммиака еще не закончена.

По окончании отгонки приемник отсоединяют от холодильника. Кончик холодильника вынимают из приемника, обмывают дистиллированной водой, сливая промывные воды в приемник, и его содержимое титруют 0,2 н раствором щелочи NaOH до соломенно-желтого цвета.

За результаты анализа принимают среднее арифметическое двух параллельных определений.

Расчет результатов анализа:

Содержание азота в мочеvine рассчитывают по формуле

$$\%N = \frac{(V_1 - V_2) \times 0,0028 \times 100}{m},$$

где V_1 – объем 0,2 н щелочи, израсходованной на титрование избытка кислоты в контрольном опыте, мл; V_2 – объем 0,2 н щелочи, израсходованной на титрование испытуемой пробы, мл; 0,0028 – количество азота, соответствующее 1 мл 0,2 н раствора щелочи, г; m – аликвотная навеска, г.

Пример вычисления содержания азота в мочеvine. Навеску 3 г мочеvine растворили в дистиллированной воде и перенесли с мерную колбу емкостью 250 мл. Для отгонки азота использовано 50 мл раствора удобрения. Избыток раствора 0,2 н серной кислоты в колбе-приемнике оттитрован 0,2 н раствором щелочи NaOH. На титрование контрольного образца затрачено 99,3 мл 0,2 н раствора щелочи NaOH, испытуемого образца – 1,6. Содержание азота в исследованном образце мочеvine составляет

$$\%N = \frac{(99,3 - 1,6) \times 0,0028 \times 100}{0,6} = 45,59.$$

Форма записи результатов:

| Удобрение | Навеска, г | Общий объем раствора удобрения, мл | Объем раствора для анализа, мл | Аликвотная навеска, г | Объем 0,2 н NaOH для титрования контрольного образца (V_1), мл | Объем 0,2 н NaOH для титрования раствора удобрения (V_2), мл | N, % |
|-----------|------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--|--|-------|
| 1 | 3 | 250 | 50 | 0,6 | 99,3 | 1,6 | 45,59 |

Реактивы:

1. 0,2 н раствор H_2SO_4 . Пипеткой точно отмеряют 5,6 мл H_2SO_4 (удельный вес 1,84), растворяют в дистиллированной воде, затем доводят объем водой до 1 л. Нормальность раствора устанавливают по фиксаналу NaOH.

2. 0,2 н раствор NaOH. Взвешивают 8 г х.ч. NaOH и растворяют в воде без CO_2 , затем доводят объем дистиллированной водой до 1 л. Нормальность раствора устанавливают по фиксаналу H_2SO_4 или по перекристаллизованной янтарной кислоте.

3. 40%-ный раствор NaOH. Взвешивают 400 г NaOH, помещают в стакан и приливают примерно 500–600 мл дистиллированной воды, непрерывно помешивая стеклянной палочкой до полного растворения. Переливают раствор в мерную колбу на 1 000 мл, доводят водой до метки, хорошо перемешивают.

4. Сплав Дебарда (сплав цинка, меди и алюминия в соотношении 5:50:45).

5. Индикатор метиловый красный (метильтрот). 0,1 г метилового красного растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе емкостью 100 мл.

Контрольные вопросы к параграфу

1. Чем обусловлена эффективность азотных удобрений?
2. Какой азот растения используют быстрее: закрепленный азот почвы или закрепленный азот удобрений?

3. Напишите формулы нитратных удобрений.
4. Какая форма азота слабо подвижна?
5. Напишите реакцию взаимодействия натриевой селитры с ППК.
6. Какая форма азота оказывает вредное действие на молодые проростки сельскохозяйственных культур?
7. В почвах с каким увлажнением снижается эффективность азотного удобрения?
8. От чего зависит коэффициент использования азота удобрений растениями?
9. Каковы причины потери минерального азота из почвы?
10. Напишите формулы аммиачных удобрений.
11. Какая форма азота хорошо подвижна?
12. Напишите реакцию получения серноокислого аммония без использования серной кислоты.
13. Что происходит с кислотами после процесса нитрификации серно-кислого аммония? Напишите реакции.
14. В какое время года лучше применять нитратные удобрения?
15. Что образуется в мочеvine при её гранулировании (реакция)?
16. Что такое МФУ?
17. От чего зависит интенсивность нитрификации аммонийного азота?
18. В каких гумусовых веществах азот быстрее минерализуется?
19. Какую кислоту используют для получения нитратных и аммиачно-нитратных удобрений?
20. Напишите реакцию взаимодействия нитрата натрия с почвой.
21. Напишите реакцию получения серноокислого аммония с использованием серной кислоты.
22. Напишите реакцию взаимодействия серноокислого аммония с почвой?
23. Напишите реакцию взаимодействия аммиачной селитры с почвой.
24. В какой период развития зерновые колосовые поглощают больше азота?

25. Напишите формулы удобрений, содержащие азот в амидной форме.
26. Напишите реакцию получения нитрата натрия.
27. На каких почвах лучше применять селитры?
28. Напишите реакцию получения хлористого аммония.
29. В какое время года лучше применять аммиачные удобрения?
30. Напишите реакцию взаимодействия мочевины с почвой.

4.4. Фосфорные удобрения

4.4.1. Значение фосфора в жизни растений

Фосфор по своему значению в жизни растений уступает место лишь азоту. Его необходимость для растений определяется, прежде всего, тем, что он входит в состав протоплазмы и клеточных ядер, основу которых составляют белки. В отличие от азота, фосфор непосредственно не входит в состав белка, а является неотъемлемой частью нуклеиновых кислот, которые соединены с простым белком, образуя сложные белки – нуклеопротеиды. Содержание их в растениях и растительных тканях меняется с возрастом растений и отдельных его органов. В молодых растениях нуклеопротеидов больше, чем в старых, в верхних листьях больше, чем в нижних. Содержание их зависит также от условий произрастания растений.

Фосфор входит в состав многих ферментов, регулирующих биохимические процессы растительных и животных организмов. При участии фосфорных соединений происходят дыхание растений и синтез углеводов – крахмала и сахаров [10].

Исследованиями установлена важная роль фосфора в процессах накопления энергии в растениях. Фосфор, получаемый растением из почвы, сразу входит в состав органического вещества (аденазинтрифосфорной кислоты). Содержание фосфора в растениях обычно незначительное – десятые доли процента; в зерне оно достигает 1% от сухого вещества.

При прорастании семени (при образовании первых корешков и появлении всходов) расходуется практически весь запас фосфора семени, растение нуждается в поступлении его из почвы. Недостаток фосфора в этот период резко снижает развитие корневой системы. Когда фосфор с самого начала корневого питания поступает в растения в достаточном количестве, то образуется больше репродуктивных органов, в конечном счете увеличивается урожай. Недостаток фосфора проявляется и на внешнем виде растений: происходит скручивание листьев, образуются пятна различной окраски – фиолетовые, красноватые, бурые (рис. 3, 4, на вклейке) [9]. Зерновые культуры с урожаями от 10 до 30 ц с 1 га выносят из почвы 15–40 кг фосфорной кислоты, картофель при урожае 200–500 ц – 40–70 кг, сахарная свекла при урожае 200–500 ц – 25–30 кг.

Единственным источником фосфора для растений является почва. Его запасы не могут пополняться из воздуха, как это происходит с азотом. В почвах с высоким плодородием содержание фосфора (P_2O_5) в пахотном слое достигает 5–6 т на 1 га, а на песчаных дерново-подзолистых уменьшается до 1–1,5 т. Поэтому длительное время получать высокие и устойчивые урожаи за счет почвенных запасов невозможно. Для обеспечения нормального питания растений необходимо наряду с органическими удобрениями вносить минеральные фосфорные удобрения.

4.4.2. Характеристика свойств фосфорных удобрений

По степени растворимости фосфорные удобрения делятся на три группы:

1. *Водорастворимые* – фосфор содержится в виде соединений, хорошо растворимых в воде. К ним относятся простой и двойной суперфосфаты, комплексные удобрения, почти на всех почвах они хорошо используются растениями.

2. *Не растворимые в воде, но растворимые в растворе лимоннокислого аммония или лимонной кислоты.* Углекислота, выделяемая корнями растений и кислотность самой почвы, растворяют фосфор этих соединений. К удобрениям данной группы относятся

преципитат, обесфторенный фосфат, мартеновский шлак, томасшлак, метафосфат кальция. Фосфор из названных удобрений хорошо используется растениями почти во всех почвенно-климатических зонах.

3. *Труднорастворимые*, содержащие фосфор в виде не растворяющихся в воде и слабых кислотах соединений, но под действием почвенной кислотности и корневых выделений растений постепенно переходят в усвояемую растениями форму. Представителем этой группы соединений является фосфоритная и костяная мука.

Промышленное производство фосфорных удобрений основано на переработке полезных ископаемых – апатитов и фосфоритов. Содержание P_2O_5 в фосфорной руде варьирует от 5 до 35%, поэтому они подлежат обогащению. В ходе переработки фосфатного сырья осуществляют перевод фосфора в усвояемую для растений форму. Химический состав и свойства фосфорных удобрений приведены в прил. 7.

Водорастворимые фосфорные удобрения

К этой группе относят суперфосфаты. Водорастворимый, легкодоступный растениям фосфор суперфосфата используется растениями не полностью. Значительная его часть закрепляется почвой. На почвах, насыщенных основаниями, фосфорная кислота из однозамещенного переходит в двузамещенный, и затем трехзамещенный слабо-растворимый фосфат. На кислых почвах фосфорная кислота, взаимодействуя с полуторными окислами железа и алюминия, становится вообще недоступной растениям. Поэтому чем сильнее перемешаны с почвой водорастворимые фосфаты, тем скорее они переходят в труднодоступное состояние.

Гранулирование водорастворимых фосфатов благодаря уменьшению поверхности удобрений способствует снижению их взаимодействия с почвой и является лучшим способом повышения их эффективности.

По способу производства и, соответственно, по содержанию P_2O_5 их подразделяют на простые и двойные суперфосфаты.

Суперфосфат простой – самое распространенное универсальное фосфорное удобрение серого цвета. Содержит 16–20% P_2O_5 , выпускается в порошковидной и гранулированной форме. В удобрении содержатся в небольшом количестве необходимые для полноценного функционирования растительного организма микроэлементы: железо, марганец, медь, цинк, бор, молибден. Гигроскопичность и слеживаемость слабая.

Фосфор суперфосфата находится в легкодоступной форме, в основном в виде монофосфата кальция $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ и небольшой примеси фосфорной кислоты. Содержание нерастворимых форм, главным образом фосфатов алюминия и железа, очень незначительно. Недостатком суперфосфата является то, что он содержит около 50% сульфата кальция (гипса) и до 5,5% свободной фосфорной кислоты. Простой суперфосфат содержит 18–23% действующего вещества. Из фосфоритов Каратау получают суперфосфат с содержанием доступного фосфора 14%. Суперфосфат простой имеет неудовлетворительные физические свойства и содержит много свободных кислот.

Химическая промышленность выпускает суперфосфаты трех марок (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

Состав суперфосфата разных марок

| Элемент | Марка «А» | Марка «Б» | Марка «В» |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| | % | | |
| Азот | 3,0 | 6,0 | 3,0 |
| Фосфор | 21,0 | 26,0 | 22,0 |
| Калий | 5,0 | 0 | 0 |
| Сера | 7,0–14,0 | 8,0–10,0 | 8,0–10,0 |
| Кальций | 11,0–14,0 | 14,0–17,0 | 14,0–17,0 |
| Магний | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

В марке «А» присутствует калий, который способствует получению устойчивого и полноценного по качеству урожая даже в неблагоприятных погодных условиях, так как этот элемент улучшает поступление воды в клетки растений и понижает процесс испарения, тем самым увеличивая устойчивость растений к засухе.

К тому же в присутствии калия повышается иммунитет растительного организма к болезням и вредителям.

Суперфосфат можно применять на всех почвах и под все культуры в качестве основного, предпосевного и припосевного удобрения. Особенно эффективно его внесение под технические культуры – свеклу, хлопчатник, лен и др.

Простой суперфосфат не следует смешивать с цианамидом кальция, всеми нитратными удобрениями и мочевиной, так как происходят реакции обмена с выделением воды и аммиака. Можно смешивать с сульфатом аммония и калийными солями.

В целях улучшения физических свойств и повышения эффективности суперфосфат гранулируют и аммонизируют. Гранулированный суперфосфат имеет ряд преимуществ перед порошковидным: обычно содержит больше фосфора, не слеживается при хранении, хорошо рассеивается при внесении. Но самое главное, фосфор гранулированного суперфосфата меньше закрепляется почвенным поглощающим комплексом. Это особенно важно на кислых почвах, содержащих в повышенных количествах железо и алюминий, так как фосфор образует с этими элементами нерастворимые соединения.

В процессе аммонизации происходит испарение воды, а содержание P_2O_5 при этом не уменьшается. В результате физические свойства суперфосфата улучшаются из-за полной нейтрализации в нем свободной кислотности. Гранулированный аммонизированный суперфосфат содержит 2–4% азота, не слеживается, хорошо рассеивается и является хорошим компонентом для тукосмесей.

Суперфосфат двойной – универсальное высококонцентрированное фосфорное удобрение в виде порошка или гранул. Очень удобен для смешивания с другими удобрениями. В отличие от простого суперфосфата не содержит сульфата кальция (балласта). В зависимости от исходного сырья содержание доступного фосфора в двойном суперфосфате колеблется от 38 до 54%. Основная масса фосфора находится в легкоусвояемой форме, в виде монокальция фосфата, хорошо растворимого в воде. Это обстоятельство делает двойной суперфосфат пригодным для использования на любых почвах под любые культуры.

Высокое содержание легкорастворимого фосфора в двойном суперфосфате позволяет значительно снизить затраты труда и средств на разгрузку, перевозку, хранение и внесение в почву. Возможность одновременного внесения с семенами при посеве обуславливает исключительную ценность этого удобрения. Агрохимическая эффективность двойного суперфосфата в эквивалентных количествах равноценна эффективности простого суперфосфата. Двойной суперфосфат также может быть подвержен обработке аммиаком. Аммонизированный двойной суперфосфат не содержит свободной фосфорной кислоты и отличается хорошими физическими свойствами.

В последние годы на базе использования суперфосфорной кислоты стали получать двойной суперфосфат с более высокой концентрацией P_2O_5 от 54 до 57%.

Силикометафосфаты кальция – новое высококонцентрированное удобрение, содержащее фосфор в водорастворимой форме. Концентрация P_2O_5 в этом удобрении составляет более 60%. Это малогигроскопичный стеклообразный продукт.

Метафосфат калия – высококонцентрированное фосфорно-калийное удобрение с содержанием 38% K_2O и 53–54% водорастворимой P_2O_5 . По своей эффективности близко к обычным фосфорным и калийным удобрениям.

Метофосфат аммония – аммиачно-фосфорное полноценное удобрение. Содержание питательных веществ равно почти 100%. Содержание фосфора может быть доведено до 75%, азота – до 15% и выше.

Аммофос – высококонцентрированное фосфорное удобрение, содержащее около 50% P_2O_5 и 10–12% азота. Относится к группе сложных удобрений, получаемых при нейтрализации аммиаком фосфорной кислоты. Это удобрение обладает хорошими физическими свойствами, негигроскопично, легко рассеивается, хорошо используется растениями, эффективно на всех почвах. Аммофос пригоден как для основного внесения, так и для подкормки растений.

Фосфорные удобрения, растворимые в слабых кислотах

Преципитат – фосфорное удобрение, получаемое в результате осаждения фосфорной кислоты мелом или известковым молоком. Это нерастворимый в воде дикальцийфосфат. В зависимости от качества исходного сырья содержание фосфора в преципитате варьирует от 27 до 31%. Фосфор преципитата не растворим в воде, но растворяется в лимоннокислом аммонии и хорошо используется растениями. По внешнему виду преципитат – легкий тонкий порошок белого цвета, негигроскопичен, не слеживается, обладает хорошей рассеиваемостью. Его можно смешивать с цианамидом кальция, сульфатом аммония, хлористым калием и калийными солями и использовать самостоятельно как основное удобрение под различные культуры на всех почвах.

Томасшлак – побочный продукт переработки богатого фосфором чугуна на сталь и железо. По внешнему виду порошок темно-серого или черного цвета, тяжелый, негигроскопичен, не слеживается. Согласно стандарту это удобрение должно содержать не менее 14% фосфора, но обычно его количество колеблется в широких пределах и может достигать 20% и более.

Фосфор в томасшлаке представлен в форме тетракальцийфосфата $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$. Это удобрение хорошо действует на всех почвах, но наибольший эффект от применения наблюдается на песчаных, бедных питательными веществами почвах. Это связано с тем, что он содержит, кроме фосфора, кальций, магний и другие элементы.

Эффективность томасшлаков зависит от тонины помола, поэтому не менее 85% томасшлака должно проходить через сито с диаметром отверстий 0,18 мм. Поскольку в томасшлаке имеется свободная окись кальция (около 10–12% CaO), то длительное хранение смеси с аммиачными формами азота может сопровождаться потерями аммиака.

Томасшлак имеет преимущества перед суперфосфатом в силу нейтрализующей способности, обусловленной содержанием в нем кальция и магния. Нейтрализующая способность этого удобрения важна при использовании его с физиологически кислыми формами азотных удобрений.

Томасшлак можно смешивать с цианамидом кальция и сульфатом калия. Смешивание с хлористым калием и сильвинитом допустимо только перед непосредственным внесением в почву. Это физиологически щелочное удобрение, пригодное для всех культур. Его обычно вносят перед посевом под вспашку. На лугах и кислых торфяных почвах томасшлак эффективен и при поверхностной заделке.

Термофосфаты получают путем спекания фосфоритов или апатитов с содой, поташом или другими щелочными солями. В результате получают продукт, фосфор которого растворим в лимонной кислоте и более доступен для растений. Это порошок темно-серого цвета, тяжелый, негигроскопичный, несслеживающийся. По физическим и химическим свойствам близкий к томасшлаку. Содержание P_2O_5 варьирует от 18 до 34%. Термофосфаты, как и томасшлак рекомендуется применять на кислых и песчаных почвах, где они имеют преимущества перед суперфосфатом, однако они хорошо действуют и на других почвах.

Обесфторенные фосфаты получают в результате обработки апатитового концентрата парами воды при температуре 1 400–1 500°C (с добавлением в шахту 2–3% кремнезема) или каратауского фосфорита (с добавлением извести). При такой обработке природная кристаллическая решетка апатита разрушается и происходит удаление фтора на 90%. Продукт превращается в доступное для растений удобрение. Это дорогостоящее фосфорное удобрение, содержание доступного фосфора находится в пределах 26–28%. Обесфторенные фосфаты обладают хорошими свойствами, не слеживаются при хранении и перевозке. Нельзя смешивать с аммонийными удобрениями.

В нечерноземной полосе по своей эффективности обесфторенные фосфаты приближаются к суперфосфату.

Магниевые плавленые фосфаты содержат около 20% доступного фосфора и 12% окиси магния. Получают путем сплавления апатита и фосфорита с силикатами магния (оливином или серпентинитом). Этот вид удобрений особенно эффективен на легких почвах, где они действуют не только как фосфорные, но и как магниевые удобрения.

Металлургические фосфорные шлаки (фосфатшлаки) образуются как побочный продукт металлургической промышленности. Фосфатшлаки содержат 16–19% фосфора, 26–42% CaO, 16–24% окиси кремния, 4–12% окиси магния, а также микроэлементы – молибден, марганец, кобальт. Необходимым условием получения фосфора фосфатшлаков в легкодоступной форме является быстрое охлаждение плава. Фосфатшлаки по своим свойствам близки к томасшлакам, поэтому их нельзя смешивать с аммиачными формами азотных удобрений задолго до внесения, чтобы не вызвать потерю азота.

Фосфорная кислота в фосфатшлаках содержится в основном в виде тетракальцийфосфата ($\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_9$), растворимого в слабых кислотах. Как и все фосфаты, нерастворимые в воде, фосфатшлаки непригодны для рядкового внесения и использования на подкормки. Их эффективность при основном внесении в нечерноземной полосе близка к стандартным тукам.

Вивианит (синяя руда) – фосфорнокислая соль окиси железа ($\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) с содержанием P_2O_5 до 28%. В чистом виде вивианит в природе встречается очень редко. Преимущественно залегает в торфяных болотах или встречается в торфозалежах в виде торфовивианитов, которые по эффективности часто не уступают фосфоритной муке или даже суперфосфату.

В местах залегания вивианит имеет белый, слегка сероватый цвет, а при соприкосновении с воздухом приобретает синюю окраску, затем по мере высыхания постепенно становится серовато-голубым, темно-бурым. Сухой вивианит обладает хорошими физическими свойствами и представляет собой рассыпчатый порошок, пригодный для смешивания с другими видами туков. Особенно ценно использование торфовивианита на песчаных почвах, где он по эффективности превосходит другие формы фосфатов. Это объясняется присутствием органического вещества, благодаря чему улучшаются физические свойства песчаных почв, повышается их водоудерживающая способность и улучшается азотный пищевой режим.

Труднорастворимые фосфорные удобрения

Фосфоритная и костная мука иначе, чем суперфосфат, взаимодействует с почвой. При тщательном перемешивании с почвой они лучше отдают фосфорную кислоту. При этом почва с повышенной кислотностью за счет кальция фосфоритной или костной муки снижает кислотность. Отдавая кальций, фосфор фосфоритной и костной муки переходит в двузамещенную, а затем и однозамещенную, легкодоступную для растений форму. Однако не исключено, что однозамещенная фосфорная кислота, как водорастворимая форма, может снова образовать труднорастворимые соединения с полуторными окислами.

В нечерноземной полосе действие фосфоритной муки, томасшлака и других нерастворимых в воде фосфатов нередко не уступает действию суперфосфата, а порой даже превосходит его. Фосфор из фосфоритной муки хорошо используется на кислых почвах нечерноземной полосы, на деградированных черноземах. Основное преимущество этого удобрения – дешевизна, так как получают его простым размолом руды. Фосфор костной муки труднорастворим, но под действием почвенной кислотности растворяется легче, чем фосфор фосфоритной муки.

Фосфоритная мука – дешевое фосфорное удобрение, получаемое простым размолом фосфорита. Главное условие повышения растворимости фосфоритной муки – тонина помола. Установлено, что фосфориты различных месторождений обладают различной растворимостью, следовательно, неодинаковой агрохимической ценностью. Необходимо, чтобы не менее 27–30% фосфора от общего содержания его в фосфоритной муке растворялось в 2%-ной лимонной кислоте.

Растворимости фосфоритной муки способствуют почвенная кислотность, а также почвенные микроорганизмы. Особенно велика роль микроорганизмов на слабокислых почвах. В этих условиях растворимость фосфоритов зависит от количества кислых выделений почвенных микроорганизмов. Так, нитрифицирующие бактерии, образуя в процессе жизнедеятельности нитриты, могут активно влиять на активность фосфора фосфоритной муки.

Органические кислоты и углекислоты, образуемые при разложении органического вещества, также обуславливают активную кислотность почвы и, следовательно, усиливают ее способность растворять фосфоритную муку. При одной и той же величине гидrolитической кислотности действие фосфоритной муки тем выше, чем меньше поглотительная способность.

Вместе с ценными качествами фосфоритная мука обладает и недостатками: она пригодна только для основного внесения под пахоту. Чтобы фосфор стал доступен растениям, требуется определенное время для взаимодействия частиц удобрения с частицами почвы.

Доступность растениям фосфоритной муки резко повышается при применении ее с другими, особенно подкисляющими формами удобрения, а также при использовании в компостах.

4.4.3. Методы определения содержания фосфора в удобрениях (ГОСТ 20851.2)

При проведении анализа используют реактивы квалификации «чистый для анализа» («ч.д.а.») и дистиллированную воду по ГОСТу 6709, мерную посуду, откалиброванную по ГОСТу 8.100 [13].

Отбор и подготовка проб

Пробу удобрения отбирают в соответствии с ГОСТом 21560.0 и нормативно-техническими документами на конкретный продукт. Среднюю пробу удобрения растирают в ступке и просеивают через сито с квадратными отверстиями 0,2 мм (или 0,3 мм на ситах с круглыми отверстиями). При анализе простого суперфосфата применяют сито с квадратными или круглыми отверстиями размером 0,5 мм. Комочки, не проходящие через сито, растирают до полного просева.

Определение гигроскопической влаги в суперфосфате

Количество гигроскопической влаги характеризует доброкачественность удобрения.

Ход анализа:

Точную навеску около 5 г суперфосфата помещают в предварительно взвешенный стеклянный бюкс. Взвешивают бюкс с удобрением на аналитических весах, помещают в сушильный шкаф и выдерживают в течение 3 ч при температуре 100–105°С. Высушивание проводят до постоянной массы.

Расчет результатов анализа:

Содержание влаги (W) в процентах рассчитывают по формуле

$$\%W = \frac{a \times 100}{m},$$

где a – количество испарившейся влаги, г; m – навеска удобрения, г.

Пример вычисления гигроскопической влаги суперфосфата. Для определения гигроскопической влажности гранулированного суперфосфата использовалась навеска удобрения 4,1545 г. Высушивание проводилось в термостате при температуре 105°С. Масса испарившейся влаги составила 0,0671 г:

$$\%W = \frac{0,0671 \times 100}{4,1545} = 1,6151.$$

Форма записи результатов:

| № бюкса | Масса пустого бюкса, г | Масса бюкса с удобрением, г | Навеска, г | Масса бюкса после высушивания, г | Масса испарившейся влаги, г | W , % |
|---------|------------------------|-----------------------------|------------|----------------------------------|-----------------------------|---------|
| 1 | 15,7128 | 19,8673 | 4,1545 | 19,8002 | 0,0671 | 1,6151 |

Согласно стандарту суперфосфат простой должен содержать не более 15% влаги.

Определение общего фосфора в суперфосфате цитратным методом

Ход анализа:

Для приготовления вытяжки на технических весах взвешивают 5 г растертого и просеянного через сито суперфосфата, помещают

в термостойкий стакан объемом 250 мл, постепенно небольшими порциями приливают из мерного цилиндра 50 мл царской водки. Наблюдается бурная реакция взаимодействия удобрения со смесью кислот. После этого стакан с раствором нагревают до кипения на плитке и кипятят 30 мин.

Раствор охлаждают до комнатной температуры, добавляют 50 мл холодной дистиллированной воды и отфильтровывают через беззольный фильтр средней плотности в мерную колбу емкостью 250 мл. Стакан хорошо промывают горячей подкисленной дистиллированной водой, перенося промывные воды на фильтр. Осадок на фильтре продолжают обрабатывать горячей подкисленной водой до объема 200 мл фильтрата. Раствор в мерной колбе охлаждают до комнатной температуры, доводят водой до метки, закрывают чистой пробкой и хорошо перемешивают.

Для осаждения общей фосфорной кислоты отмеряют пипеткой 25 мл вытяжки и помещают в химический стакан объемом 200 мл, добавляют из цилиндра 15 мл 50%-ного раствора лимоннокислого аммония и нейтрализуют из капельницы концентрированным аммиаком в присутствии фенолфталеина до слабо-розовой окраски. Для осаждения общей P_2O_5 приливают 30 мл щелочно-магнезиальной смеси и тщательно перемешивают раствор.

Затем добавляют 25 мл 25%-ного раствора NH_4OH и оставляют на 15–18 ч в теплом месте или подвергают непрерывному взбалтыванию в течение 30 мин. Раствор с осадком отфильтровывают через плотный беззольный фильтр, тщательно перенося на него весь осадок. Хорошо промывают стенки и дно стакана, а затем фильтр 2,5%-ным раствором NH_4OH до объема 100 мл промывных вод.

Фильтр с осадком подсушивают на воздухе, помещают в фарфоровый тигель и прокаливают в муфельной печи при температуре $750^{\circ}C$ в течение 40 мин. Охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах.

Расчет результатов анализа:

Содержания общей фосфорной кислоты в суперфосфате рассчитывают по формуле

$$\%P_2O_5 = \frac{a \times 0,6379 \times 100}{m},$$

где a – масса осадка общей P_2O_5 , г; t – навеска, соответствующая аликвотной части фильтрата; 0,6379 – коэффициент перевода MgP_2O_7 в P_2O_5 .

Пример вычисления общей фосфорной кислоты. Для определения общей фосфорной кислоты в суперфосфате приготовлена вытяжка из 5 г удобрения в мерной колбе емкостью 250 мл. Осаждение проведено в объеме 25 мл. После прокаливания масса осадка составила 0,1820 г.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{5 \text{ г суперфосфата} \rightarrow 250 \text{ мл}}{X \text{ г суперфосфата} \rightarrow 25 \text{ мл}}; X_{\text{г}} = \frac{5 \times 25}{250} = 0,5.$$

Количество общей P_2O_5 в суперфосфате составляет

$$\%P_2O_5 = \frac{0,1820 \times 0,6379 \times 100}{0,5} = 23,22.$$

Форма записи результатов:

| № удобрения | Навеска удобрения, г | Общий объем вытяжки, мл | Объем раствора, взятый для анализа, мл | Аликвотная навеска, г | № тигля | Масса пустого тигля, г | Масса тигля с осадком после прокаливания, г | Масса осадка, г | Общая P_2O_5 , % |
|-------------|----------------------|-------------------------|--|-----------------------|---------|------------------------|---|-----------------|--------------------|
| 1 | 5 | 250 | 25 | 0,5 | 3 | 12,2341 | 12,4161 | 0,1820 | 23,22 |

Реактивы:

1. Царская водка. В термостойкую посуду цилиндром отмеряют 30 мл концентрированной HCl (удельный вес 1,19), туда же вливают 20 мл концентрированной HNO_3 (удельный вес 1,2). Кислоты сильно дымят, работы выполняют под тягой.

2. Подкисленная дистиллированная вода. В химический стакан емкостью 250 мл из капельницы добавляется 3–4 капли концентрированной HCl .

3. 50%-ный раствор лимоннокислого аммония. 500 г лимонной кислоты растворяют в 600 мл растворе 25%-ного аммиака, доводят объем дистиллированной водой до 1 л и фильтруют. Раствор имеет нейтральную реакцию.

4. Щелочно-магнезиальная смесь. 55 г $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ и 70 г NH_4Cl растворяют в дистиллированной воде, прибавляют 250 мл 10%-ного раствора аммиака доводят объем раствора до 1 л в мерной колбе и фильтруют.

5. NH_4OH 25%-ный раствор. Концентрированный аммиак.

6. NH_4OH 2,5%-ный раствор. В химический стакан емкостью 500 мл приливают 109,05 мл концентрированного аммиака (25%-ный). Полученный раствор переносят в мерную колбу емкостью 1 л, доливают дистиллированной водой, закрывают чистой пробкой и хорошо перемешивают. Хранят в емкостях с притертой пробкой.

7. Фенолфталеин. 0,1 г фенолфталеина растворяют в 95%-ном этиловом спирте в мерной колбе емкостью 100 мл. Хранят в емкости с притертой пробкой.

Определение усвояемой фосфорной кислоты цитратным методом

Под усвояемой фосфорной кислотой суперфосфата понимают фосфорную кислоту, растворимую в лимоннокислом аммонии. Определение усвояемой фосфорной кислоты нужно для расчетов норм расхода удобрения в том случае, если оно длительное время хранилось под открытым небом. Обычно при таком способе хранения фосфорная кислота вымывается, а общая масса остается прежней, так как увеличилась влажность.

Приготовление вытяжки:

А) Навеску 5 г растертого суперфосфата помещают в фарфоровую ступку, заливают 20–25 мл дистиллированной воды и растирают. Полученную жидкость переносят на плотный фильтр и фильтруют в мерную колбу емкостью 250 мл. К остатку удобрения вновь приливают дистиллированную воду и продолжают растирать с водой, декантируя жидкость на фильтр. Так повторяют 3 раза, каждый раз приливая по 20–25 мл воды.

Остаток удобрения переносят из ступки на фильтр и промывают водой до тех пор, пока не наберется 200 мл фильтрата. Затем объем в колбе доводят дистиллированной водой до метки и перемешивают раствор (*колба № 1*).

Б) Фильтр с остатком удобрения переносят в другую мерную колбу емкостью 250 мл, приливают 100 мл реактива Питермана, закрывают пробкой и энергично встряхивают до распада фильтра на мелкие части (*колба № 2*). Колбу оставляют при комнатной температуре на 15 ч, после чего выдерживают 1 ч на водяной бане, разогретой до температуры 40°C. Во время нагревания содержимое колбы встряхивают каждые 15 мин. Раствор охлаждают, доводят водой до метки и фильтруют через складчатый фильтр в сухую колбу, отбросив первые (мутные) 10–15 мл фильтрата.

Ход анализа:

Для определения усвояемой фосфорной кислоты из колб № 1 и № 2 берут по 25 мл вытяжки в стакан емкостью 200 мл, прибавляют 30 мл щелочно-магнезиальной смеси и тщательно перемешивают раствор, после чего оставляют на 15–18 ч в теплом месте. Отфильтровывают вытяжку через беззольный фильтр средней плотности и промывают осадок 2,5%-ным раствором NH_4OH до 100 мл объема промывных вод.

Фильтр с осадком подсушивают на воздухе, помещают в фарфоровый тигель и прокаливают в муфельной печи при температуре 750°C в течение 40 мин. Охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах. Расчет производят по формуле

$$\% \text{P}_2\text{O}_5 = \frac{a \times 0,6379 \times 100}{m},$$

где a – масса осадка, г; m – навеска, соответствующая аликвотной части фильтрата, г; 0,6379 – коэффициент перевода MgP_2O_7 в P_2O_5 .

Пример вычисления усвояемой фосфорной кислоты в суперфосфате. Для определения усвояемой фосфорной кислоты в суперфосфате приготовлена вытяжка из 5 г удобрения. Получены растворы в колбе № 1 и № 2 (объем мерной колбы № 1 и № 2 250 мл). Для осаждения использован раствор из колбы № 1 (25 мл) и из колбы № 2 (25 мл). Масса осадка составила 0,1820 г.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{5 \text{ г суперфосфата} \rightarrow 500 \text{ мл}}{X \text{ г суперфосфата} \rightarrow 50 \text{ мл}}; X_{\text{г}} = \frac{5 \times 50}{500} = 0,5.$$

Содержание усвояемой P_2O_5 в суперфосфате составляет

$$\%P_2O_5 = \frac{0,1560 \times 0,6379 \times 100}{0,5} = 19,90.$$

Форма записи результатов:

| № удобрения | Навеска удобрения, г | Общий объем выляжки, мл | Объем раствора, взятый для анализа, мл | Аликвотная навеска, г | № тигля | Масса пустого тигля, г | Масса тигля с осадком после прокаливания, г | Масса осадка, г | Усвояемая P_2O_5 , % |
|-------------|----------------------|-------------------------|--|-----------------------|---------|------------------------|---|-----------------|------------------------|
| 1 | 5 | 500 | 50 | 0,5 | 4 | 12,3340 | 12,4900 | 0,1560 | 19,90 |

Реактивы:

1. Реактив Питермана – цитрат аммония, содержащий в 1 л готового раствора 173 г кристаллической, не выветрившей лимонной кислоты и 42 г аммиачного азота. 173 г лимонной кислоты растворяют в 300 мл дистиллированной воды, переносят в мерную колбу емкостью 1 л, приливают 536 мл 10%-ного раствора NH_4OH , доводят водой до метки и хорошо перемешивают.

2. Щелочно-магнезиальная смесь. 55 г $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ и 70 г NH_4Cl растворяют в дистиллированной воде, прибавляют 250 мл 10%-ного раствора аммиака, доводят объем раствора до 1 л в мерной колбе и фильтруют.

3. NH_4OH 2,5%-ный раствор. В химический стакан емкостью 500 мл приливают 109,05 мл концентрированного аммиака (25%-ный). Полученный раствор переносят в мерную колбу емкостью 1 л, доливают дистиллированной водой, закрывают чистой пробкой и хорошо перемешивают. Хранят в емкостях с притертой пробкой.

Определение водорастворимой фосфорной кислоты

Ход анализа:

Для определения водорастворимой фосфорной кислоты из колбы № 1 в стакан емкостью 200 мл берут 25 мл вытяжки, прибавляют 30 мл щелочно-магнезиальной смеси и тщательно перемешивают раствор, после чего оставляют на 15–18 ч в теплом месте. Отфильтровывают вытяжку через плотный беззольный фильтр и промывают осадок 2,5%-ным раствором NH_4OH до 100 мл объема промывных вод.

Фильтр с осадком подсушивают на воздухе, помещают в фарфоровый тигель и прокаливают в муфельной печи при температуре 750°C в течение 40 мин. Охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах.

Расчет результатов анализа:

Содержание водорастворимой фосфорной кислоты в суперфосфате производят по формуле

$$\% \text{P}_2\text{O}_5 = \frac{a \times 0,6379 \times 100}{m},$$

где a – масса осадка, г; m – навеска, соответствующая аликвотной части фильтрата, г; 0,6379 – коэффициент перевода MgP_2O_7 в P_2O_5 .

Пример вычисления содержания водорастворимой фосфорной кислоты в суперфосфате. Для определения водорастворимой фосфорной кислоты в суперфосфате используется раствор из колбы № 1. Для осаждения взято 25 мл вытяжки. Масса осадка составила 0,1020 г.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{5 \text{ г суперфосфата} \rightarrow 250 \text{ мл}}{X \text{ г суперфосфата} \rightarrow 25 \text{ мл}}; \quad X \text{ г} = \frac{5 \times 25}{250} = 0,5.$$

Содержание водорастворимой P_2O_5 в суперфосфате составляет

$$\% \text{P}_2\text{O}_5 = \frac{0,1020 \times 0,6379 \times 100}{0,5} = 13,01.$$

Форма записи результатов:

| № удобрения | Навеска удобрения, г | Общий объем вытяжки, мл | Объем раствора, взятый для анализа, мл | Аликвотная навеска, г | № тигля | Масса пустого тигля, г | Масса тигля с осадком после прокаливания, г | Масса осадка, г | Водорастворимая P_2O_5 , % |
|-------------|----------------------|-------------------------|--|-----------------------|---------|------------------------|---|-----------------|------------------------------|
| 1 | 5 | 250 | 25 | 0,5 | 5 | 12,1120 | 12,2140 | 0,1020 | 13,01 |

Реактивы: щелочно-магнезиальная смесь. 55 г $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ и 70 г NH_4Cl растворяют в дистиллированной воде, прибавляют 250 мл 10%-ного раствора аммиака, доводят объем раствора до 1 л в мерной колбе и фильтруют.

Определение свободной фосфорной кислоты в суперфосфате

Государственным стандартом допускается содержание в суперфосфате свободной кислотности (в пересчете на P_2O_5) не более 5,5%. При повышенной свободной кислотности наблюдается отрицательное влияние удобрения на всхожесть семян, что имеет значение, например, при совместном высеве семян и внесении суперфосфата. В настоящее время государственные заводы выпускают гранулированный суперфосфат, нейтрализованный известью.

Ход анализа:

Для определения свободной фосфорной кислоты из колбы № 1 берут 25 мл вытяжки и помещают в коническую колбу емкостью 250 мл, прибавляют такое же количество дистиллированной воды. Затем прибавляют 3–5 капель индикатора метилоранжа и титруют 0,1 н раствором $NaOH$ до перехода золотистой окраски в желтую. Рекомендуется титровать из микробюретки.

Расчет результатов анализа:

Содержание свободной фосфорной кислоты в суперфосфате производят по формуле

$$\%P_2O_5 = \frac{(a - b) \times 0,0071 \times 100}{m},$$

где a – количество мл 0,1 н раствора NaOH, пошедшее на титрование; b – количество мл 0,1 н раствора HCl, прибавленное для растворения осадка в процессе приготовления раствора удобрения в колбе № 1; m – навеска, соответствующая аликвотной части вытяжки; 0,0071 – количество P₂O₅ (г), соответствующее 1 мл 0,1 н раствора NaOH.

Пример вычисления свободной фосфорной кислоты. Для определения содержания свободной фосфорной кислоты в суперфосфате взято 25 мл раствора из колбы № 1. При получении вытяжки соляная кислота в колбу № 1 не добавлялась. На титрование израсходовано 1,2 мл 0,1 н раствора NaOH. Количество свободной фосфорной кислоты составляет

$$\%P_2O_5 = \frac{(1,2 - 0) \times 0,0071 \times 100}{0,5} = 1,70.$$

Форма записи результатов:

| № удобрения | Навеска удобрения, г | Общий объем вытяжки, мл | Объем раствора, взятый для анализа, мл | Аликвотная навеска, г | Количество NaOH, пошедшее на титрование, мл | Нормальность NaOH | Свободная P ₂ O ₅ , % |
|-------------|----------------------|-------------------------|--|-----------------------|---|-------------------|---|
| 1 | 5 | 250 | 25 | 0,5 | 1,2 | 0,1 | 1,70 |

Реактивы:

- 0,1 н раствор NaOH. Готовят из фиксанала (1 ампула на 1 л H₂O).
- Метилоранж индикатор. 0,1 г метилового оранжевого растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе емкостью 100 мл.

Контрольные вопросы к параграфу

1. Какими солями представлены все виды фосфорных удобрений?
2. Какая группа фосфорных удобрений практически недоступна растениям?
3. Какое строение имеет апатит?
4. Как получают обогащенный апатитовый концентрат?
5. Напишите формулу суперфосфата. Сколько фосфора содержится в нем?
6. Напишите реакцию получения суперфосфата из фосфорита.
7. Какова подвижность иона фосфорной кислоты в почве?
8. Сколько P_2O_5 содержит концентрированный суперфосфат?
9. Следует ли тщательно перемешивать суперфосфат с почвой?
10. Как получают термофосфаты?
11. На какие группы делятся все фосфорные удобрения?
12. Какие минералы являются сырьем для получения фосфорных удобрений?
13. Какое строение имеют фосфориты?
14. Сколько фосфора содержит обогащенный апатитовый концентрат?
15. Какой растворимости фосфор содержится в суперфосфате?
16. Напишите реакцию взаимодействия суперфосфата с нейтральной почвой.
17. Чем отличается гранулированный суперфосфат от порошкового?
18. Напишите реакцию первой фазы получения двойного суперфосфата.
19. Напишите формулу преципитата.
20. Какая группа фосфорных удобрений растворима в воде?
21. Какой способ получения фосфорной кислоты является перспективным в настоящее время?
22. Какое количество усвояемой P_2O_5 содержится в суперфосфате?
23. Напишите реакцию взаимодействия суперфосфата с карбонатными почвами.

24. Чем отличается концентрированный суперфосфат от простого?
25. Какова доступность фосфора фосфоритной муки?
26. Какая группа фосфорных удобрений является полурастворимой (не растворима в воде, но растворима в слабых кислотах)?
27. Чем характеризуется большая часть отечественных фосфоритов.
28. Каким способом извлекается фосфор из апатита?
29. Напишите реакцию взаимодействия суперфосфата с кислотами почвами.
30. Напишите формулу концентрированного суперфосфата.
31. Какое фосфатное сырье используется при получении двойного суперфосфата (на первой фазе и на второй)?
32. Какое удобрение получают как побочный продукт при переработке богатых фосфором чугунов?
33. Как увеличить доступность P_2O_5 фосфоритной муки?

4.5. Калийные удобрения

4.5.1. Роль калия в жизни растений. Источники калия

Калий, так же как азот и фосфор, относится к числу элементов, играющих в жизни растений исключительно важную роль. Из всех зольных элементов количество калия в растениях наибольшее. Особенно богаты калием молодые растения. В них содержится калия 4–5% от массы сухого вещества. В листьях же калиелюбивых растений, таких как табак, подсолнечник, гречиха, содержание калия еще больше – до 7–8%.

Калий наиболее интенсивно поступает в молодые растения в первые фазы их развития. С возрастом относительное, а иногда и абсолютное содержание калия в растениях уменьшается. По мере роста и старения отдельных органов растений калий накапливается в точке наиболее интенсивного роста [14].

Установлено, что в отличие от других элементов, весь калий, содержащийся в растении, может быть вымыт водой, поскольку

он находится в ионной форме и не входит в состав сложных соединений.

Калий способствует активности синтезирующих систем растительной клетки, набухаемости коллоидов плазмы и в связи с этим нормальному течению обмена веществ в растении. Оказывает влияние на условия азотного питания растений. Угнетение, вызванное чрезмерно высокими дозами азота, ликвидируется повышением дозы калийных удобрений. Специфична роль калия и в усвоении аммиачного азота. При аммиачном отравлении растений внесение калийных удобрений устраняет симптомы интоксикации. Овощи и плоды, выращенные при недостатке калия, лучше переносят хранение и транспортировку. Калий увеличивает всхожесть зерна, повышает холодостойкость растений и устойчивость к полеганию.

Недостаток калия, особенно в жаркую погоду, ведет к усилению завядания растений, приостанавливается превращение простых сахаров в более сложные, тормозится синтез белка. Внешние признаки калийного голодания растений – появление желтых пятен на листьях, побурение и скручивание краев листьев (рис. 5–11, на вклейке).

Содержание калия в почвах зависит от гранулометрического состава и колеблется в пределах от 0,7 до 2–4%. Наиболее обеспечены им глинистые почвы (3–4%). Очень бедны калием верховые торфяники и почвы пойм рек, из которых при разливах данный элемент вымывается в более глубокие горизонты почвенного профиля.

В зависимости от степени подвижности и доступности растениям калий в почвах подразделяется на формы: калий минеральной части почвы; калий, содержащийся в силикатных минералах (обменный и поглощенный), и водорастворимый. Калий первой формы доступен растениям лишь в незначительной степени, но под влиянием воды, углекислоты воздуха и корневых выделений в течение очень длительного времени происходит постепенное разложение минералов, вплоть до образования растворимых форм. Силикатные минералы – это тот резерв, за счет которого происходит восстановление и накопление запасов усвояемых форм обменного и водорастворимого калия. В щелочных почвах при чередовании увлажнения и высушивания возможен обратный переход калия –

из удобрений, вносимых в почву, в состав минералов. Поэтому при известковании кислых почв, как правило, значительно повышается эффективность калийных удобрений.

Наиболее доступен для растений калий, содержащийся в тонкой мелкодисперсной фракции почвы, поэтому на песчаных почвах растения сильнее страдают от недостатка калия. Калийные удобрения, внесенные на песках, повсеместно увеличивают урожай сельскохозяйственных культур.

Ближайший источник пополнения запасов калийной пищи для растений после водорастворимых – обменный (поглощенный) калий, который на разных почвах в различной степени способен переходить в почвенный раствор по мере обеднения его калием.

Водорастворимый калий в почве представлен минеральными солями (нитратами, сульфатами, хлоридами, карбонатами, фосфатами) и отчасти органическими – гуматами. Все эти соли непосредственно используются растениями.

Водорастворимый калий, вносимый с удобрениями, в значительной степени переходит в почвенный поглощающий комплекс, вытесняя из него ионы водорода, а на кислых почвах – и алюминия. Вытеснение кальция сопровождается выщелачиванием этого элемента до грунтовых вод. Этот процесс может принять значительные размеры при использовании сырых калийных солей, которые из-за низкого содержания питательных элементов вносят в больших количествах. В результате общее количество вносимых катионов резко возрастает.

На кислых почвах на первых порах внесения удобрений ионы водорода, алюминия отчасти железа, вытесненные калием, несколько увеличивают кислотность, но в дальнейшем происходит взаимодействие ионов водорода и алюминия с почвой, и реакция будет приближаться к исходному состоянию.

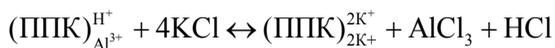
4.5.2. Характеристика калийных удобрений и их свойства

Ассортимент калийных удобрений в основном представлен хлористым и серно-кислым калием (прил. 8). В общей сумме про-

изводства калийных удобрений хлоридная форма значительно превалирует над сульфатной. Это объясняется тем, что в сульфатах слишком высокая себестоимость единицы калия по сравнению с хлоридами. Однако есть группа культур, под которые хлориды нельзя применять: или их растения не переносят, или они резко ухудшают качество продукции. Под виноград, цитрусовые, плодовые, табак и другие культуры необходимо вносить сернокислый калий или сернокислый калий-магний. Для получения картофеля с более высоким содержанием крахмала и лучшими вкусовыми качествами также лучше использовать сернокислый или углекислый калий [9].

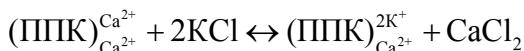
Многочисленными опытами установлена возможность значительного увеличения урожаев при внесении калийных удобрений на пойменных, песчаных, торфяно-болотных почвах и осушенных торфяниках. Эффект от калийных удобрений наблюдается и на дерново-подзолистых, серых лесных почвах и выщелоченных черноземах, особенно в сочетании с другими видами удобрений. Мощные, обыкновенные черноземы, каштановые и некоторые другие почвы содержат достаточное количество калия. В то же время увеличение площадей под посевами интенсивных культур, рост урожаев и повышение уровня азотно-фосфорного питания и на черноземах увеличивает потребность растений в калийном питании.

Известны случаи, когда на кислых дерново-подзолистых почвах, бедных доступным для растений калием, от применения калийных удобрений не повышается урожай. Происходит это потому, что под действием калийных удобрений усиливается вредная для растений кислотность:



Известкование таких почв повышает эффективность калийных удобрений.

Необходимо учитывать, что калий, вносимый с удобрениями, особенно на черноземах, может переходить в необменное состояние, при этом доступность его растениям снижается:



Эти процессы происходят при частой смене увлажнения и высушивания почвы. Следовательно, калийные удобрения в данных условиях необходимо помещать в глубокие горизонты почвы, имеющие более постоянную влажность.

В районах с большим количеством осадков, на почвах легкого гранулометрического состава не исключены значительные потери калия вносимых удобрений путем вымывания осадками. На этих почвах применение калийных удобрений с осени не очень желательно. Однако, как правило, калийные удобрения, особенно хлориды, вносят с осени, чтобы содержащийся в них хлор мог быть вымыт в нижележащие горизонты почвы.

Эффект от калийных удобрений усиливается на фоне азотных, фосфорных и других удобрений даже на почвах, обеспеченных подвижным калием. Научно-исследовательскими учреждениями и опытом передовых хозяйств установлено, что каждая тонна калийных удобрений может обеспечивать дополнительный сбор зерна 1,5–2,5 т, корней сахарной свеклы – 10–30 т, клубней картофеля – 15–20 т, льносоломки – 2,4–3,6 т, капусты и корнеплодов – 35 т.

Калийные удобрения производят из природных солей – карналлита, сильвинита, полигалита, каинита, шенита, нефелина и т.д. Они характеризуются различным содержанием калия. С этой точки зрения наиболее распространенным сырьем для получения сернокислого калия является полигалит, каинит, а хлористого калия – сильвинит, содержащий от 10 до 25% K_2O .

Калийные удобрения подразделяют на две большие группы: сырые калийные соли и концентрированные калийные удобрения. Сырые калийные соли получают в ходе дробления и размола природных калийных солей, содержащих в повышенных количествах K_2O . Их недостатком является высокий процент балласта, удорожающего расходы на транспортировку и внесение. Из сырых калийных удобрений наиболее распространены сильвинит и каинит.

Менее концентрированные пласты месторождений идут в переработку для получения концентрированных калийных удобрений, среди которых наибольший удельный вес принадлежит хлористому калию.

В зависимости от содержания калия и технологии производства калийные удобрения можно разделить на четыре группы: 1) концентрированные (калий хлористый, калий сернокислый, поташ, калийные смешанные соли, хлоркалий-электролит); 2) размолотые природные соли (каинит, сильвинит); 3) побочные продукты калийно-магниевого производства (калимагнезия, калийно-магниевый концентрат); 4) отходы промышленности (цементная пыль, печная зола).

Концентрированные удобрения

Калий хлористый – основное калийное удобрение. В общем ассортименте калийных удобрений на его долю приходится до 80%. Хлористый калий – самое концентрированное калийное удобрение, содержит 57–60% K_2O . В нем минимальное содержание хлора на единицу калия (в 1,4–1,9 раза меньше, чем в смешанной калийной соли, и в 4–5 раз, чем в сильвините). Вследствие этого хлористый калий при отсутствии сульфатов применяют и под чувствительные к хлоридам культуры, но вносят заблаговременно, чтобы по возможности удалить ион хлора из пахотного горизонта почвы.

Калий хлористый получают разделением сильвинита на хлориды калия и натрия гидроциклонным способом, а также флотационным обогащением калийных руд.

Удобрение отличается повышенной гигроскопичностью, особенно если кристаллы его мелкие. Флотационный KCl – крупнокристаллический, поэтому он менее гигроскопичен и не слеживается в складских условиях. В связи с этим около трети производимого хлористого калия выпускается в гранулированном и крупнокристаллическом виде.

С другими удобрениями хлористый калий смешивается без ограничений. Он пригоден для большинства возделываемых культур. При использовании под культуры, чувствительные к хлору (картофель, лен, гречиха, бобовые, табак, цитрусовые), хлористый калий следует глубоко запахивать с осени или применять весной совместно с органическими удобрениями. Калий из мелкокристаллической формы активно поглощается почвой и становится недо-

ступен растениям. Поэтому предпочтение следует отдавать крупнокристаллическим и гранулированным видам удобрения, которые к тому же и меньше слеживаются. Именно такое удобрение производится на Березниковском калийном комбинате (Урал) с содержанием K_2O 60%.

40%-ная калийная соль – наиболее распространенное калийное удобрение, которое применяется под основные сельскохозяйственные культуры. Это смесь хлористого калия с размолотой породой сильвинита или каинита.

30%-ная калийная соль отличается от предыдущей меньшим содержанием калия и значительным содержанием натрия и хлора. Ее следует применять под сахарную свеклу, овощные корнеплоды, капусту, луговые и злаковые травы.

Калий сернокислый (сульфат калия, K_2SO_4) – ценное удобрение, особенно для культур, страдающих от хлоридов. Химически чистый сульфат калия содержит 54% K_2O , а технический, используемый для удобрения, – 45–48%. В России почти весь выпускаемый сульфат калия применяют при выращивании растений в условиях защищенного грунта. Удобрение негигроскопично, хорошо рассеивается. Наличие серы в удобрении положительно влияет на зернобобовые и бобовые культуры, особенно на легких по гранулометрическому составу почвах.

Поташ (карбонат калия, K_2CO_3) – высококонцентрированное удобрение, содержащее 63–66% K_2O . Получают как побочный продукт при производстве алюминия из нефелинового сырья. Для уменьшения гигроскопичности продукт кальцинируют. Поташ – хороший источник калия для культур, чувствительных к хлоридам, а также на кислых почвах, так как он частично нейтрализует их.

Хлоркалий-электролит – отход производства металлургического магния из карналлита. Содержит K_2O 39–42%, MgO – 8%, $NaCl$ – 40%. Наилучший эффект дает при использовании под сахарную, кормовую, столовую свеклу и другие корнеплоды. Целесообразнее применять на песчаных почвах, где помимо калия не хватает еще и магния.

Размолотые природные соли (сырые калийные соли)

Сильвинит ($KCl+NaCl$) получают при размолу сильвинитовой породы. Это кристаллический зернистый продукт розовато-бурого цвета с отдельными красными кристаллами. Это удобрение содержит до 18% K_2O и 35–40% Na_2O . Сильвинит гигроскопичен, слеживается при хранении. Добывается на Урале (Соликамское месторождение), в Белоруссии и Казахстане. Вследствие неэкономичности транспортировки применяется в основном в районах его добычи. Применение сильвинита ограничено из-за содержания в нем большого количества хлора, поэтому вносить в почву необходимо с осени, а под такие культуры, как картофель, табак, цитрусовые применять не следует во избежание снижения качества продукции. Рекомендуется использовать для удобрения свеклы, сенокосов и пастбищ (в связи с наличием хлора).

Каинит ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$) – природная кристаллическая соль, добывается на Украине. Состоит из сернокислого магния (около 30%), хлористого калия (16%) и хлористого натрия (до 40%). Содержит 10–12% K_2O и 10% MgO . В составе также имеется натрий и кальций. По сравнению с сильвинитом имеет некоторые преимущества благодаря наличию магния и вдвое меньшего содержания хлора. Применяют в основном под сахарную свеклу на черноземах, смешивая с хлористым калием. В поставках калийных удобрений на долю каинита приходится 3%.

Побочные продукты калийно-магниевого производства

Калимагнезия, сульфат калия-магния (шенит) $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$. Двойная соль сернокислого магния и калия состоит примерно из 60% сернокислого калия и 30%-ного сернокислого магния. Содержит 27–28% K_2O . Особенная ценность этого удобрения в том, что оно бесхлорное. Наибольший эффект от шенита наблюдается на легких почвах, бедных подвижными формами магния. Вносить его необходимо в первую очередь под картофель, горох, бобы, люпин, гречиху и др.

Калийно-магнезиальный концентрат (калимаг) получают из каинито-лангбейнитовой руды при размалывании минерала и уда-

лении хлористого натрия выщелачиванием. Содержит 16–19% K_2O , 8% MgO . Химический состав этого удобрения такой: K_2SO_4 – 39%, $MgSO_4$ – 55%, $NaCl$ – 1%, остальное – нерастворимый остаток. По составу и свойствам очень близок к калимагнезии, но менее концентрированный. Отличается низким содержанием хлора, поэтому имеет преимущества перед хлорсодержащими калийными удобрениями.

Отходы промышленности

Цементная пыль – отход производства цемента. Улавливается электрофильтром из отходящих газов вращающихся печей цементных заводов. Состоит из карбоната, бикарбоната и сульфата калия. Содержит также примеси – карбонат кальция, оксид магния, полуторные окислы, кремнекислоту, некоторые микроэлементы. Характеризуется высокой гигроскопичностью. В зависимости от содержания окиси калия и кальция цементная пыль подразделяется на калийно-известковую и известково-калийную. В первой содержится не менее 15%, а во второй не менее 10% K_2O , растворимого в водной вытяжке. Количество CaO составляет 30%. Благодаря наличию этих двух элементов цементная пыль является высокоэффективным удобрением на большинстве почв, особенно кислых, и для всех культур, отрицательно реагирующих на хлор.

Печная зола – местное удобрение, ценный источник калия для растений. Наибольшее значение имеет содержащийся в золе углекислый калий (поташ K_2CO_3); кроме того зола содержит значительное количество кальция, фосфора, а также микроэлементов. Количество элементов питания в этом удобрении зависит от вида растений, из которого оно получено, их возраста. Древесная зола содержит 10–15% K_2O и до 30% CaO . Хорошо доступен для растений и фосфор золы, причем в отличие от фосфора суперфосфата, он не связывается в труднодоступные фосфаты. Гораздо меньше этих компонентов содержится в торфяной золе, а в золе каменного угля калий почти отсутствует. В отличие от промышленных удобрений зола не содержит хлора и хорошо действует на всех почвах при внесении под все культуры. Доза золы зависит от содержания

калия и потребности культурных растений. Чаще всего под вспашку или культивацию норма внесения составляет 5–6 ц/га (0,5–0,6 кг на 10 м²). Торфяную золу используют не только как удобрение, но и для нейтрализации почвенной кислотности. При этом дозу, в зависимости от кислотности, увеличивают до 1,5–3 т/га (1,5–3 кг на 10 м²).

Щелочность удобрения и отсутствие в нем хлора делают печную золу ценным удобрением для кислых дерново-подзолистых почв, особенно под культуры, чувствительные к избытку хлора.

4.5.3. Анализ калийных удобрений

Определение гигроскопической влаги в калийных удобрениях

Ход анализа:

Точную навеску 4–5 г калийного удобрения помещают в предварительно взвешенный стеклянный бюкс. Взвешивают бюкс с удобрением на аналитических весах, помещают в сушильный шкаф и выдерживают в течение 3 ч при температуре 100–105°C.

Расчет результатов анализа:

Содержание гигроскопической влаги в удобрениях рассчитывают по формуле

$$\%W = \frac{a \times 100}{m},$$

где a – количество воды, г; m – навеска удобрения, г.

Пример вычисления гигроскопической влаги. Для определения гигроскопической влаги сульфата калия использовалась навеска удобрения 3,1545 г. Высушивание проводилось в термостате при температуре 105°C. Масса испарившейся влаги составила 0,0402:

$$\%W = \frac{0,0645 \times 100}{4,2345} = 1,2743.$$

Форма записи результатов:

| № бюкса | Масса пустого бюкса, г | Масса бюкса с удобрением, г | Навеска, г | Масса бюкса после высушивания, г | Масса испарившейся влаги, г | W, % |
|---------|------------------------|-----------------------------|------------|----------------------------------|-----------------------------|--------|
| 1 | 13,4678 | 17,7023 | 4,2345 | 17,6378 | 0,0645 | 1,5232 |

Методы определения содержания калия в калийных удобрениях (ГОСТ 20851.3)

Определение содержания калия в калийных удобрениях необходимо для расчета доз удобрения и оценки его качества [10].

Общие требования

При проведении анализа применяют мерную посуду, реактивы квалификации «чистый для анализа» («ч.д.а.»), дистиллированную воду по ГОСТу 6709. Растворы индикаторов готовят по ГОСТу 4919.1.

Отбор и подготовка образцов. Для проведения анализа из калийного удобрения отбирают среднюю пробу, измельчают и просеивают через сито с диаметром отверстий не более 0,25 мм.

Приготовление анализируемого раствора. Взвешивают на аналитических весах навеску 5 г подготовленного калийного удобрения, помещают в стакан емкостью 200 мл, прибавляют 100 мл дистиллированной воды, нагревают до кипения и кипятят в течение 19 мин. Затем раствор охлаждают, переносят в мерную колбу емкостью 500 мл, доводят водой до метки, перемешивают и фильтруют через сухой складчатый фильтр в сухой стакан. Рекомендуются первые порции фильтрата (50 мл) отбросить.

Весовой тетрафенилборатный метод определения содержания калия в однокомпонентных калийных удобрениях

Принцип метода заключается в осаждении калия тетрафенилборатом натрия в уксуснокислой среде с последующим высушиванием и взвешиванием полученного осадка тетрафенилбората калия.

Ход анализа:

При анализе удобрений, содержащих более 25% K_2O , делают разведение исходного раствора. Для этого пипеткой отбирают 25 мл приготовленного раствора в мерную колбу емкостью 250 мл, доводят дистиллированной водой до метки, тщательно перемешивают. Далее из этого раствора пипеткой отбирают 50 мл раствора в химический стакан емкостью 100 мл.

При анализе удобрений с массовой долей менее 25% K_2O для разведения отбирают пипеткой 50 мл исходного отфильтрованного раствора в мерную колбу объемом 250 мл, доводят объем полученного раствора водой до метки, тщательно перемешивают и отбирают 50 мл полученного раствора в стакан вместимостью 100 мл.

К приготовленному раствору добавляют 1–2 капли индикатора метилового красного и 10%-ный раствор уксусной кислоты до перехода окраски раствора в розовый цвет. Если при прибавлении индикатора раствор сразу приобретает розовую окраску, то сначала его нейтрализуют 0,1 н раствором щелочи $NaOH$ до перехода окраски раствора в желтую, а затем добавляют уксусную кислоту до восстановления розовой окраски. Раствор нагревают на водяной бане до $40^{\circ}C$ и осаждают тетрафенилборат калия, добавляя из бюретки при помешивании 10 мл 3,5%-ный раствор тетрафенилбората натрия.

Стакан с раствором ставят на разогретую водяную баню на 5 мин, затем охлаждают в кристаллизаторе до комнатной температуры и отфильтровывают через предварительно высушенный и взвешенный фильтрующий тигель.

Осадок из стакана переносят на фильтр и промывают небольшими порциями (3–4 мл) промывного раствора, каждый раз полностью отбрасывая раствор. Затем осадок промывают три раза

порциями по 5 мл холодной дистиллированной воды. Общий расход промывных вод должен составлять 50 мл. Фильтр с осадком высушивают в сушильном шкафу при температуре 120°C до постоянной массы.

Допускается проведение анализа без двойного разведения. При анализе хлористого калия, сернокислого калия и 40%-ный калийной соли отбирают пипеткой 5 мл исходного фильтрата удобрения, а при анализе калимагнезии и калийно-магниевого концентрата – 10 мл фильтрата в химический стакан объемом 100 мл и разбавляют водой до 30 мл.

Расчет результатов анализа:

Содержание калия в однокомпонентных удобрениях рассчитывают по формуле

$$\%K_2O = \frac{a \times 0,1314 \times 100}{m} \times \frac{100}{100 - W},$$

где a – вес осадка тетрафенилбората калия, г; 0,01314 – коэффициент пересчета тетрафенилбората калия на K_2O ; m – навеска удобрения, соответствующая аликвотной части вытяжки, г; W – гигроскопическая влага удобрения, %.

Пример вычисления содержания калия в калийном удобрении.

Для приготовления раствора удобрения взято 5 г сульфата калия. Для приготовления разбавленного раствора из колбы с раствором удобрения отобрано 25 мл фильтрата, перенесено в мерную колбу объемом 250 мл. Для осаждения использовано 50 мл полученного раствора.

Расчет аликвотной навески:

$$1) \frac{5 \text{ г } K_2SO_4 \rightarrow 500 \text{ мл раствора}}{X_1 \text{ г } K_2SO_4 \rightarrow 25 \text{ мл раствора}}; X_1 \text{ г} = \frac{5 \times 25}{500} = 0,25;$$

$$2) \frac{0,25 \text{ г } K_2SO_4 \rightarrow 250 \text{ мл раствора}}{X_2 \text{ г } K_2SO_4 \rightarrow 50 \text{ мл раствора}}; X_2 \text{ г} = \frac{0,25 \times 50}{250} = 0,05.$$

Масса осадка составила 0,1750 г, гигроскопической влаги – 1,5232%. Содержание K_2O в сульфате калия составляет

$$\%K_2O = \frac{0,1750 \times 0,1314 \times 100}{0,05} \times \frac{100}{100 - 1,5232} = 46,70.$$

Форма записи результатов:

| № удобрения | Навеска, г | Общий объем раствора удобрения, мл | Объем раствора для разведения, мл | Объем колбы для разведения, мл | Объем раствора для осаждения | Аликвотная навеска, г | Масса осадка | K ₂ O, % |
|-------------|------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------|---------------------|
| 4 | 5 | 500 | 25 | 250 | 50 | 0,05 | 0,1750 | 46,70 |

Реактивы:

1. 10%-ный раствор уксусной кислоты. В мерную колбу емкостью 1 л наливают дистиллированной воды более 500 мл, добавляют 97,1 мл концентрированной уксусной кислоты и доводят водой до метки 1 л.

2. 0,1 н раствор щелочи NaOH. Раствор готовят из фиксаналя или берут 4 г х.ч. NaOH и растворяют в воде без CO₂, затем доводят объем дистиллированной водой до 1 л.

3. 3,5%-ный раствор тетрафенилбората натрия. 35 г тетрафенилбората натрия растворяют при комнатной температуре в 500 мл воды, приливают 5 мл 0,5%-ного раствора хлористого алюминия, перемешивают и после отстаивания в течение не менее 12 ч фильтруют через плотный фильтр (синяя лента) в мерную колбу емкостью 1 л. Первые порции фильтрата могут быть мутными, поэтому их приливают обратно к фильтрующемуся раствору и продолжают фильтровать через тот же фильтр. Когда будет профильтрован весь раствор, стакан и фильтр промывают несколько раз дистиллированной водой, после чего доводят объем раствора до метки 1 л, закрывают чистой пробкой и хорошо перемешивают.

4. Промывной раствор. К 100 мл 1%-ной уксусной кислоты приливают 3–4 мл 3,5%-ного раствора тетрафенилбората натрия.

5. 1%-ная уксусная кислота. В мерную колбу емкостью 1 л наливают дистиллированной воды более 300 мл, добавляют 9 мл концентрированной уксусной кислоты и доводят водой до метки 1 л.

6. Индикатор метиловый красный. 0,1 г метилового красного растворяют в 60%-ном спирте в мерной колбе емкостью 100 мл.

Пламенно-фотометрический метод определения калия в калийных удобрениях

Метод основан на измерении интенсивности излучения калия, вводимого в пламя в виде аэрозоля. Применим для удобрений с массовой долей K_2O не более 30% и сульфата калия.

Ход анализа:

50 мл раствора удобрения, приготовленного вышеописанным способом, отбирают пипеткой в мерную колбу емкостью 250 мл, доводят до метки дистиллированной водой и хорошо перемешивают. 25 мл полученного раствора отбирают пипеткой и переносят в мерную колбу емкостью 250 мл, доводят дистиллированной водой до метки, тщательно перемешивают. Полученный раствор вводят в пламенный фотометр, снимают показания прибора, по градуировочному графику находят концентрацию калия в анализируемом растворе. Измерения проводят в двукратной повторности, полученные данные усредняют.

Последовательность работы на пламенном фотометре и построение градуировочного графика изложены в §§ 2.6.7.

Расчет результатов анализа:

Содержание калия в удобрениях при определении по градуировочному графику выполняют по формуле

$$\%K_2O = \frac{(C_1 + C_2)}{2} \times \frac{500 \times 250 \times 250 \times 1,205 \times 100}{m_1 \times 50 \times 25},$$

где C_1 и C_2 – концентрации калия, полученные по градуировочному графику при первом и повторном определении, мг/мл; m_1 – масса навески анализируемой пробы, г; 1,0205 – коэффициент пересчета K^+ на K_2O .

Допускается проводить анализ следующим образом: для сложных удобрений 5 мл приготовленного ранее фильтрата (описание по ГОСТу приведено выше) помещают в мерную колбу емкостью 200 мл, добавляют 10 мл 2,0 н соляной кислоты, доводят дистиллированной водой до метки и перемешивают. Полученный раствор фотометрируют.

Расчет результатов анализа:

При определении по градуировочному графику массовую долю калия (в процентах) для сложных удобрений вычисляют по формуле

$$\%K_2O = \frac{(C_1 + C_2)}{2} \times \frac{500 \times 250 \times 250 \times 1,205 \times 100}{m_1 \times 50 \times 25},$$

где C_1 и C_2 – концентрации калия, полученные по градуировочному графику при первом и повторном определении, мг/мл; m_1 – масса навески анализируемой пробы, г; 1,0205 – коэффициент пересчета K^+ на K_2O .

Форма записи результатов:

| № удобрения | Навеска, г | Общий объем раствора удобрения, мл | Объем раствора для разведения, мл | Объем колбы для разведения, мл | Показания прибора 1 | Концентрация по градуировочному графику, мг/мл (C_1) | Показания прибора 2 | Концентрация по градуировочному графику, мг/мл (C_2) | K_2O , % |
|-------------|------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------|--|---------------------|--|------------|
| | | | | | | | | | |

Реактивы:

1. Дистиллированная вода.
2. Калий хлористый для спектрального анализа.
3. 2,0 н раствор HCl. 164 мл концентрированной HCl (удельный вес 1,19) растворяют в дистиллированной воде. Общий объем доводят до 1 л в мерной колбе.

Контрольные вопросы к параграфу

1. Какая форма калия доступна для растений?
2. На какие функции растительного организма оказывает влияние калий?
3. Как проявляются признаки калийного голодания у растений?
4. Что является источником калия в почве?

5. Дайте характеристику концентрированных калийных удобрений.
6. Охарактеризуйте природные калийные соли.
7. Какие месторождения природных калийных солей Вы знаете?
8. Какие отходы промышленности используются в качестве калийных удобрений?
9. Напишите формулы калийных удобрений.
10. Напишите реакцию взаимодействия сульфата калия с почвой.
11. Какие минералы являются сырьем для получения калийных удобрений?
12. В какое время года лучше вносить калийные удобрения?
13. Напишите реакцию получения сернокислого аммония с использованием серной кислоты.
14. Напишите реакцию взаимодействия сернокислого аммония с почвой.
15. Под какие культуры не рекомендуется вносить хлористый калий?
16. Какое из калийных удобрений предпочтительнее для картофеля?
17. Сколько K_2O содержится в удобрениях KCl , K_2SO_4 , силвините?
18. Какие существуют методы определения содержания калия в калийных удобрениях?
19. В чем заключается принцип тетрафенилборатного метода определения содержания калия в однокомпонентных калийных удобрениях?
20. На каких почвах цементная пыль является высокоэффективным удобрением?
21. Почему печная зола считается ценным удобрением?
22. Какие калийные удобрения наиболее пригодны для внесения под сахарную свеклу?

4.6. Химическая мелиорация почв

4.6.1. Известковые удобрения и химические мелиоранты для гипсования

Природный процесс почвообразования в нечерноземной зоне России, Дальневосточном регионе, частично в Сибири, на Урале, в Поволжье обусловил наличие кислых и засоленных почв, обладающих рядом отрицательных свойств и препятствующих повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Поэтому без коренного улучшения на них невозможно вести интенсивное земледелие, эффективно использовать средства химизации. Основным прием, способствующий нейтрализации кислотности почв, – известкование, а улучшению солонцовых почв – гипсование.

Особенностью почвообразовательного процесса регионов с кислыми почвами является промывной водный режим. В результате почвообразующие породы обедняются основаниями, что усиливается под воздействием кислых продуктов разложения растительных остатков и кислых дождей. Образование кислых дождей связано с газообразными выбросами в атмосферу промышленными предприятиями оксидов серы и азота, которые, растворяясь в парах воды, образуют серную и азотную кислоты. Вместе с тем с урожаем из почвы отчуждается значительное количество кальция и магния. Особенно много этих элементов идет на формирование урожая кормовых и овощных культур. Верхние обедненные горизонты почвы насыщаются главным образом ионами водорода, вследствие чего почва подкисляется.

Процесс подкисления всех почв усиливается при интенсивном использовании физиологически кислых минеральных удобрений без внесения органических. Кислотность отдельных видов удобрений обусловлена физиологическими особенностями питания растений, в результате которых растениями поглощаются одни элементы, а другие, являющиеся остатками соответствующих неорганических кислот, остаются в почве, вызывая ее подкисление. Почва подкисляется также в результате избыточного внесения, например, аммиака, превращение которого благодаря микробиологиче-

ской деятельности может привести к накоплению азотистой и азотной кислот. Сильно подкисляют почву такие удобрения, как сульфат аммония, аммиачная селитра. Так, для нейтрализации 1 т сульфата аммония необходимо внести от 1,2 до 1,7 т CaCO_3 , а 1 т аммиачной селитры – не менее 0,75 т.

При подкислении почвы происходит дальнейшее ухудшение состава почвенного поглощающего комплекса, усиливаются потери кальция из пахотного горизонта, ухудшаются структура почвы, ее физические и физико-химические свойства, резко снижается биологическая активность, почва приобретает низкую поглощательную способность, т.е. происходит снижение почвенного плодородия. По степени кислотности почвы делятся на группы, представленные в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Группы почв по степени кислотности

| Группы почв по степени кислотности | pH солевой вытяжки |
|------------------------------------|--------------------|
| Сильнокислые | <4,5 |
| Среднекислые | 4,5–5,0 |
| Слабокислые | 5,1–5,5 |
| Близкие к нейтральным | 5,6–6,0 |
| Нейтральные | >6,0 |

Главный агротехнический прием, предотвращающий подкисление почв, обеспечивающий успешное воспроизводство почвенного плодородия такими способами, как применение органических и минеральных удобрений, – внесение известковых удобрений.

Установлено, что растения реагируют на изменение кислотности в зависимости от содержания в почве гумуса: чем выше его содержание, тем устойчивее, инертнее растение к подкислению почвенной среды. Наиболее плодородные, высокогумусированные почвы, например черноземы, генетически формировались в условиях нейтральной и слабощелочной реакции среды, обусловленной полным насыщением почвообразующей материнской породы карбонатом кальция. В этой связи роль органических удобрений при создании оптимальной кислотности почвы, т.е. при известковании, приобретают еще большую значимость, так как оба этих приема, дополняя друг друга, являются незаменимыми факторами

создания качественно нового и высокого уровня плодородия кислых почв.

В известковании нуждаются подзолистые, дерново-подзолистые, болотно-подзолистые, светло-серые, серые, темно-серые лесные почвы, выщелоченные и оподзоленные черноземы, комплекс почв Дальневосточного региона.

Сельскохозяйственные культуры проявляют различную чувствительность к кислотности почвы, многие из них могут развиваться в довольно широком диапазоне рН почвенной среды. Для получения высоких урожаев основных сельскохозяйственных культур, возделываемых в России, оптимальный диапазон кислотности почв составляет pH_{KCl} 5,6–7,2.

В отношении к кислотности почв преобладающее большинство сельскохозяйственных культур (за исключением люпина и сераделлы) проявляют общую закономерность: чем выше содержание в почве органического вещества, тем устойчивее растения к кислотности почвы.

4.6.2. Характеристика известковых удобрений и их свойства

Эффективность известкования во многом определяется качеством известковых удобрений. В сельском хозяйстве применяют известковые удобрения промышленного производства (известковую муку), местные известковые материалы и содержащие известь отходы промышленности (сланцевую муку) [14].

Наиболее распространены удобрения, получаемые из природных карбонатов кальция и магния (известняков, доломитов, доломитизированных известняков, мела). В этой связи эталоном действующего вещества известковых удобрений для расчетов доз мелиорантов принят карбонат кальция – $CaCO_3$. Все виды известковых удобрений, содержащие равное по эквиваленту действующего вещества количество нейтрализующих соединений кальция, одинаково влияют на величину снижения кислотности почвы. Норма конкретного вида известкового удобрения (Н, т/га) зависит от содержания в нем действующего вещества, влаги и количества мало-

деятельных частиц (гранулометрического состава) и определяется по формуле

$$H = \frac{10^6 \times D}{P(100 - B) \times 100 - E},$$

где H – норма конкретного вида удобрения, т/га; D – расчетная доза CaCO_3 т/га; P – содержание действующего вещества в удобрении в пересчете на CaCO_3 , %; B – содержание влаги в удобрении, %; E – количество недействительных частиц, %.

К недействительным частицам относятся все частицы известкового удобрения из пород с высокой прочностью (доломиты, долмитизированные известняки), не проходящие через сито с диаметром отверстий 1 мм, и 50% частиц из пород, имеющих меньшую прочность (известняки), с диаметром от 1 до 3 мм. Эти частицы не реагируют с почвенной кислотой, длительное время сохраняются в почве, легко подвергаются химическому капсулированию (становятся практически нерастворимыми) и поэтому считаются балластом.

Для известковых удобрений из рыхлых карбонатных пород (главным образом пресноводных карбонатов типа гажы, туфа) гранулометрический состав не имеет значения, так как комочки этих пород легко «распускаются» в воде и активно нейтрализуют почвенную кислотность.

Известковые удобрения в зависимости от физико-механических свойств подразделяются на две технологические группы – пылевидные (пылевидная известковая мука, сланцевая зола) и слабопылящие (сыромолотая известковая мука, мука известняковая из отходов, местные известковые материалы).

Пылевидные известковые удобрения отличаются тонким помолом и низким содержанием влаги (1–2%). Слабопылящие имеют более грубый помол и содержат до 15% влаги. Технология внесения этих двух групп мелиорантов и система машин принципиально различны.

Качество известковых удобрений регламентируется соответствующими стандартами. Известковые удобрения, внесенные в почву в равных по действующему веществу (CaCO_3) количествах,

одинаково влияя на снижение кислотности почв, могут проявлять различное действие на урожай сельскохозяйственных культур. Это связано с отличиями в содержании микро- и макроэлементов. Так с 5 т сланцевой золы в почву вносят: бора 20–115 г, меди 43–77 г, марганца 700–1 025 г, молибдена 30–95 г, кобальта 9–19 г, цинка 140–630 г, а также калия (K_2O) 50–75 кг, магния (MgO) 100–150 кг, фосфора (P_2O_5) 25–50 кг.

Известковые материалы природного происхождения

Молотый известняк (известковая мука) – это один из основных известковых материалов, получаемых путем размола твердых известняков и применяемых для известкования почв под разные культуры. Относится к сравнительно медленно действующим, особенно у кристаллических твердых форм. Действует тем сильнее, чем тоньше размолот. По стандарту: 100% муки должно проходить через сито с диаметром отверстий в 5 мм, 95% – через сито в 1,65 мм, 50% – через сито в 0,3 мм и не менее 35% всей муки – через сито в 0,17 мм. Влажность в естественном состоянии 10%. Известь в удобрении содержится в форме $CaCO_3$, общее содержание $CaO+MgO$ в пересчете на $CaCO_3$ составляет 75–100%.

Молотый доломитизированный известняк и доломит получают путем прямого размола доломитизированных известняков и доломитов. Действует медленнее, чем молотый известняк. Известь содержится в форме $CaCO_3$ и $MgCO_3$. Рекомендуется внесение в севооборотах с бобовыми культурами, картофелем, льном, кормовыми корнеплодами и на почвах, наиболее сильно оподзоленных.

Мергель получают путем выемки из природных залежей. Месторождения различны по величине и мощности. Цвет серый, коричневатый, иногда зеленоватый. Структура плотная или землястая. Часто добытый мергель оставляют на зиму в кучах. Под влиянием мороза порода растрескивается, рассыпается в порошок. Оставшиеся комья подлежат размолу перед внесением в почву.

Удобрение действует медленно, однако действие мягких мергелей более быстрое, чем твердых. Известь содержится в форме $CaCO_3$, иногда $MgCO_3$. Применяется под все культуры для извест-

кования кислых почв, находящихся вблизи залежей. Глинистые мергели лучше применять на легких почвах.

Мел добывается из природных залежей. Чаще всего месторождения крупные. Мел может быть твердым и готов к применению после размола, однако может быть и мягким. В качестве примесей может содержать до 10% SiO_2 .

Удобрение преимущественно белого цвета. Известь содержится в форме CaCO_3 . Действие мела ощущается быстрее, чем у молотого известняка. Ценное известковое удобрение, рекомендуемое для внесения под все культуры.

Жженая известь (негашеная комовая или молотая обожженная известь) получается путем обжига твердых известняков; перед употреблением гасится, а молотая применяется непосредственно. Известь содержится в форме CaO . Удобрение оценивается как быстродействующее, подходит для известкования тяжелых глинистых почв, а также лесостепных почв и выщелоченных черноземов. Менее подходит для известкования легких почв, особенно бедных органическим веществом.

Жженая известь (гашеная пушонка). Получают путем гашения водой жженой извести. Для гашения жженую известь насыпают слоем до 20 см на специально подготовленную площадку и равномерно смачивают разбрызгиванием воды в таком количестве, которое устанавливается предварительным опробованием (на 3 т чистой обожженной извести идет около 1 т воды). На первый слой извести помещают второй слой, смачивают его аналогичным образом и поступают так до высоты кучи в 1–2 м. Кучу прикрывают слоем песка в 10–20 см и через двое суток осматривают. Если комки не распались в порошок, оставляют известь в кучах на более продолжительное время. Меньшие количества жженой извести можно гасить в поле в кучах высотой до 1,5 м, прикрывая их влажной почвой и оставляя на 3–4 нед. После того, как куски извести превратятся в тонкий порошок, каждую кучу перелопачивают с покрывающей ее почвой и равномерно рассеивают по полю.

Известь содержится в форме Ca(OH)_2 . Действие удобрения наиболее быстрое и сильное. Используется в дозах на $\frac{1}{4}$ меньших, по сравнению с дозами молотого известняка. Известкуют жженой

известью не позднее как за неделю до посева, а при сухой погоде – еще раньше.

Известковый туф (ключевая известь) добывается из залежей по берегам рек, ручьев и ключей, широко распространенных в зоне подзолистых почв. На присутствие месторождения туфа указывает наличие крупинок туфа в кротовинах или в наносах ручьев или рек. Узнают туф по «вскипанию» его от прибавления кислоты. Месторождения обычно небольшие, сверху прикрытые слоем темной почвы, имеющие линзовидные формы.

Цвет туфа разный, от светло-серого (в сухом состоянии) до темного (в случае примеси органического вещества), нередко коричневатый. Структура чаще всего мелкозернистая, порода пористая, ноздреватая, нередко с включениями более или менее плотных комьев. Перед началом добычи туфа месторождение осушают.

Известь содержится в форме CaCO_3 . При внесении в почву отмечается более быстрое действие, чем молотого известняка, но медленнее, чем жженой извести. Это ценный, дешевый, не требующий размола известковый материал. Иногда требуется отсеивание или измельчение крупных твердых частиц.

Гажга (озерная известь) добывается из залежей на месте древних усохших замкнутых водоемов. Месторождения более крупные, чем у известковых туфов. Сверху известь прикрыта слоем торфа, ила, снизу может подстилаться сапропелем.

Цвет во влажном состоянии часто темный (вследствие примеси органического вещества). Структура тонкозернистая, порошкообразная, мучнистая. Перед началом эксплуатации месторождение рекомендуется осушить.

Известь содержится в основном в форме CaCO_3 . Действие гажги еще более быстрое, чем известковых туфов, так как от 88 до 98% частиц имеют размер менее 0,25 мм. Это еще более ценный, высокоэффективный материал, почти целиком состоящий из мелких (мельче 1 мм) частиц. Перед внесением в почву озерная известь должна быть просушена. Размол необходим лишь в том случае, если в удобрении обнаруживается высокое содержание органического вещества и при высыхании возникает цементация.

Торфотуфы и торфогажа добывается из залежей в низинных торфяниках. При разработке месторождения вначале осушается болото, затем снимается слой торфа, после чего приступают к копке торфотуфа на всю глубину карбонатного слоя. Цвет темный, обусловленный присутствием торфа. Внесение в почву возможно после просушки на воздухе. Торфотуфы и торфогажи применяют на кислых, бедных гумусом почвах, расположенных недалеко от месторождений.

Доломитовая мука добывается из природных залежей. Месторождения часто крупные, толщина вскрыши 40–100 см и более, мощность пластов большая. Цвет удобрения белый или желтый, структура тонкая, порошкообразная. Влажность в естественном состоянии низкая, не более 10%, как у мергеля, мела и молотого известняка. Известь содержится в форме CaCO_3 (до 56%) и MgCO_3 (до 42%). Действие удобрения медленнее, чем у известковых туфов. В целом же это высокоэффективный, но требующий размола материал.

Отходы промышленности

Сланцевая зола получается при сжигании горючего сланца в топках на заводах и электростанциях. Это тонкий пылеватый порошок, имеющий размер частиц менее 0,25 мм, который при увлажнении цементируется. Известь находится в форме окиси, карбонатов и силикатов. Это очень ценный материал, пригодный даже для непосредственного внесения под картофель, лен, люпин. Действие быстрое и усиливающееся на второй и третий год. Сланцевая зола является источником некоторых питательных веществ и микроэлементов. В ней содержится: 30–50% CaO , 1–2% MgO , 1–2% K_2O , 0,5–1,2% P_2O_5 , 3–7% SO_3 , до 31% SiO_2 .

Генераторная зола является отходом при получении технического газа на газосланцевых заводах в генераторных печах. В золе известь находится в форме $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 и в виде силикатов. Кроме того, имеются примеси: 2–4 % углерода, 3,0–4,5% K_2O , 2,5% SO_3 , 22% SiO_2 . Действие известкового материала более медленное, чем у сланцевой золы. Перед внесением необходимо подсушивать и размалывать.

Сланцевый кокс, или «кокстик» – это отход при получении бытового газа в камерных печах. Характеристика удобрения аналогична генераторной золе.

Белитовая мука (шлам) – это отход алюминиевого производства. Известь в удобрении находится в форме $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 и в виде силикатов. Действие удобрения аналогично сланцевой золе. Преимущество шлама в том, что он находится в виде мелкозернистой сыпучей массы, которая не цементируется. Примеси, содержащиеся в отходах, обогащают удобрение элементами 1,5% MgO , 1,2% K_2O , 0,04% MnO , до 30% SiO_2 .

Цементная пыль является отходом из холодных камер на цементных заводах. Представляет собой тонкий пылящий порошок, содержащий до 95% частиц размером менее 0,5 мм, при увлажнении цементируется. Характеризуется как быстро- и сильнодействующее удобрение, в котором известь содержится в форме $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO , а также в виде силикатов.

Дефекационная грязь (дефекат) – это отход свеклосахарного производства, где известь используется для очищения свекловичного сока. Представляет собой серую мажущуюся массу. Ее складывают в кучи для высушивания (для ускорения высушивания можно прибавлять к пяти частям дефеката одну часть негашеной извести). Известь содержится в форме CaCO_3 с примесью $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Это хорошее известковое удобрение, скопляющееся в больших количествах вокруг свеклосахарных заводов. Перед внесением нуждается в подсушке. Внесение дефеката не только повышает урожайность сельскохозяйственных культур (сахарной свеклы – 20–40 ц/га, озимой пшеницы – 5–6 ц/га, многолетних трав – до 10 ц/га), но и на 0,2–0,4% повышает содержание сахара в сахарной свекле.

Торфяная зола – это остаток после сжигания торфа. Это сравнительно малоэффективный материал, применяемый в больших дозировках при близком расположении от известкуемых полей. Действие удобрения слабое ввиду малого содержания оснований. Известь содержится в виде силикатов и отчасти карбонатов.

4.6.3. Анализ известковых удобрений

Определение гигроскопической влаги

Содержание гигроскопической влаги необходимо для характеристики качества известкового удобрения и для пересчета результатов других определений на абсолютно сухое вещество [11].

Ход анализа:

На аналитических весах взвешивают точную навеску известкового удобрения (4–5 г), помещают в предварительно взвешенный стеклянный бюкс. Далее ставят в сушильный шкаф и выдерживают в течение 3 ч при температуре 100–105°C. Дают бюксу остыть в эксикаторе и вновь взвешивают. Высушивание проводят до постоянной массы.

Содержание влаги в процентах рассчитывают по формуле

$$\% W = \frac{a \times 100}{m},$$

где a – количество испарившейся влаги, г; m – навеска известкового удобрения, г.

Пример вычисления гигроскопической влаги в известковом удобрении. Для определения гигроскопической влажности известняковой муки использовалась навеска удобрения 4,1575 г. Высушивание проводилось в термостате при температуре 105°C. Масса испарившейся влаги составила 0,0902:

$$\% W = \frac{0,0902 \times 100}{4,1575} = 2,1696.$$

Форма записи результатов:

| № бюкса | Масса пустого бюкса, г | Масса бюкса с удобрением, г | Навеска, г | Масса бюкса после высушивания, г | Масса испарившейся влаги г | W , % |
|---------|------------------------|-----------------------------|------------|----------------------------------|----------------------------|---------|
| 1 | 14,4558 | 18,6133 | 4,1575 | 18,5231 | 0,0902 | 2,1696 |

*Определение гранулометрического состава
известковых удобрений*

Ход анализа:

На технических весах взвешивают 100 г известняковой муки, предварительно высушенной в термостате в течение 2 ч при температуре 200–250°C. Помещают в набор сит с размером ячеек 50, 30, 10 и 0,25 мм, просеивают в течение 15 мин. Остаток на каждом сите взвешивают на технических весах, определяют массовую долю частиц данной крупности. Определение проводят в двух повторениях. За окончательный результат берут среднее арифметическое.

Расчет результатов анализа:

Массовую долю каждой фракции рассчитывают по формуле

$$\%M = \frac{m_n \times 100}{m},$$

где M – массовая доля гранулометрической фракции, %; m_n – масса гранулометрической фракции удобрения, г; m – навеска удобрения, г.

Пример вычисления гранулометрического состава известкового удобрения. Для определения гранулометрического состава известняковой муки использован образец массой 100 г. После 15-минутного рассеивания на ситах масса каждой фракции составила 50 мм – 20,46 г; 30 мм – 23,54 г; 10 мм – 44,88 г; 0,25 мм – 11,12 г. Массовая доля каждой фракции составила:

$$\%M_{50} = \frac{20,46 \times 100}{100} = 20,46; \quad \%M_{30} = \frac{23,54 \times 100}{100} = 23,46;$$

$$\%M_{10} = \frac{44,88 \times 100}{100} = 44,88; \quad \%M_{0,25} = \frac{11,12 \times 100}{100} = 11,12.$$

Форма записи результатов:

| № удобрения | Навеска, г | Массовая доля фракции, % | | | |
|-------------|------------|--------------------------|-------|-------|-------|
| | | 50 | 30 | 10 | 0,25 |
| | | Размер, мм | | | |
| 6 | 100 | 20,46 | 23,54 | 44,88 | 11,12 |

*Определение содержания карбоната кальция
в удобрениях газоволюметрическим методом*

Содержание карбоната кальция в удобрении необходимо знать для расчета норм расхода его на единицу площади.

Наиболее распространенными приборами для определения карбонатов являются кальциметры различной системы, основанные на объемном определении углекислоты карбонатов. Кальциметры отличаются простотой в обращении и позволяют определить карбонаты с достаточной точностью. В основу работы кальциметра положено измерение добавочного давления, получаемого от CO_2 , выделившегося при воздействии 10%-ной HCl на содержащиеся в удобрении карбонаты. Реакция протекает по схеме



Перед началом работы кальциметр необходимо проверить. Во внешней трубке прибора должна находиться прозрачная вода (для выравнивания температуры), во внутренней – подкрашенная (для удобства снятия отсчета по шкале). Уровень воды во внутренней трубке установлен на нулевую отметку. Положение трехходового крана проверено и зафиксировано. Колбы, в которых будет находиться навеска извести, подобраны так, чтобы пробка от прибора плотно подходила к горловине.

Ход анализа:

Навеска удобрения 0,5 г хорошо растертой известняковой муки помещается в коническую колбу объемом 100 мл. Туда же осторожно пинцетом опускается маленький стеклянный бюкс или пузырек с 10 мл 10%-ной HCl . Пробка прибора смачивается водой, колба плотно закрывается, причем кран прибора в это время находится в положении «открыто», т.е. внутренний столб жидкости сообщается с атмосферным воздухом. Кран кальциметра переключается в положение «закрыто», т.е. изолируется от атмосферного давления. Колбу с удобрением начинают слегка встряхивать и наклонять так, чтобы пузырек упал, кислота вылилась и смочила удобрение. Вследствие выделения CO_2 в приборе создается добавочное давление, которое вытесняет из трубки подкрашенную во-

ду. Когда вода перестает опускаться, снимают отсчет по шкале прибора. Производится замер барометрического давления и температуры воздуха в помещении, при которых проводилось определение.

Анализ проводится в трехкратной повторности. Конечный результат принимается как среднее арифметическое трех измерений.

Расчет результатов анализа:

Количество выделившейся углекислоты производят по формуле

$$\%CO_2 = \frac{a \times b \times 100}{m \times 1000},$$

где a – масса 1 мл CO_2 в мг при определенной температуре и давлении. Постоянная величина из таблицы Финкенера (прил. 9); b – объем CO_2 в мл по шкале прибора; m – навеска, г; 1 000 – коэффициент для перевода миллиграммов в граммы.

Содержание CO_2 карбонатов известкового удобрения пересчитывают в CaO и $CaCO_3$.

$$\%CaO = \%CO_2 \times 1,274$$

$$\%CaCO_3 = \%CO_2 \times 2,272$$

Пример вычисления содержания углекислоты в известковых удобрениях. Для определения содержания CO_2 в известняковой муке взвешена навеска удобрения 0,5 г. Объем выделившейся углекислоты составил 12 мл. Температура воздуха – 22°C, атмосферное давление 751 мм рт. ст.

Форма записи результатов:

| № удобрения | № колбы | Навеска, г | t , °C | P, мм рт. ст. | Показания прибора, мл (b) | Масса 1 мл CO_2 , мг (a) | CO_2 | CaO | CaCO ₃ |
|-------------|---------|------------|----------|---------------|---------------------------|----------------------------|--------|------|-------------------|
| | | | | | | | % | | |
| 4 | 1 | 0,5 | 22 | 751 | 12 | 1,841 | 4,42 | 5,63 | 10,04 |

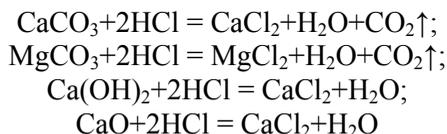
Реактивы:

10%-ный раствор HCl. 236,4 мл концентрированной HCl (удельный вес 1,19) растворяют в дистиллированной воде. Общий объем доводят до 1 л в мерной колбе.

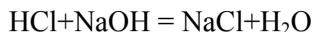
Определение общей нейтрализующей способности известковых удобрений

Известковые удобрения используют для нейтрализации почвенной кислотности. Факторами нейтрализации почвенной кислотности, кроме карбонатов, являются также свободные окиси и гидроокиси. Поэтому для агрономических целей важно знать суммарное количество окисей, гидроокисей и карбонатов [11].

Принцип метода. Определение состоит в обработке известкового удобрения титрованным раствором соляной кислоты при нагревании:



с последующим обратным титрованием избытка соляной кислоты щелочью:



Зная количество израсходованной соляной кислоты, вычисляют содержание суммы окисей, гидроокисей и карбонатов.

Ход анализа:

Навеску известкового удобрения в 5 г переносят в коническую колбу, имеющую отметку 500 мл, смачивают 10–15 мл дистиллированной воды и постепенно приливают 250 мл 1 н раствора HCl. Нагревают содержимое колбы 30 мин на водяной бане (изредка перемешивая содержимое колбы). Раствор охлаждают до комнатной температуры, доводят дистиллированной водой до отметки 500 мл, тщательно перемешивают и фильтруют через сухой фильтр средней плотности в сухую колбу.

Из фильтрата отмеряют пипеткой 100 мл раствора (что соответствует 50 мл 1,0 н или 100 мл 0,5 н соляной кислоты), переносят в

колбу емкостью 200 мл, прибавляют 2–3 капли фенолфталеина и титруют оставшуюся несвязанную соляную кислоту 0,5 н раствором NaOH до слабо-розового окрашивания (*первое титрование*). Далее поступают следующим образом:

а) если оттитрованный раствор прозрачен, то к нему приливают 2 мл 1 н раствора HCl, нагревают 30 мин на кипящей водяной бане для удаления CO₂ и титруют горячую жидкость 0,5 н раствором NaOH до слабо-розового окрашивания, не исчезающего в течение одной минуты (*второе титрование*);

б) если оттитрованный раствор имеет коричневый осадок Fe(OH)₃ и Al(OH)₃, то его отфильтровывают через рыхлый бумажный фильтр (красная лента) и промывают прокипяченной дистиллированной водой.

Фильтрат и промывные воды собирают в мерную колбу емкостью 200 мл, приливают 2 мл 1 н раствора HCl, доводят объем дистиллированной водой до метки и тщательно перемешивают.

100 мл полученного раствора переносят пипеткой в коническую колбу (или в стакан) емкостью 500 мл, нагревают 30 мин на кипящей водяной бане и титруют горячую жидкость 0,5 н раствором NaOH до слабо-розового окрашивания, не исчезающего в течение одной минуты (*второе титрование*).

Расчет результатов анализа:

Известно, что 1 мл 0,5 н раствора HCl связывает 0,014 г CaO. Суммарное содержание окисей, гидроокисей и карбонатов (в пересчете на CaO) в процентах вычисляют по формуле

$$\%CaO = \frac{[104 \times n_1 - (a_1 + a_2) \times n_2] \times 0,014 \times 100}{m},$$

где 104 – количество 0,5 н раствора HCl; для анализа взято 100 мл вытяжки и по ходу анализа после первого титрования прибавляют еще 2 мл 1,0 н раствора HCl, что соответствует 4 мл 0,5 н HCl; n_1 – нормальность HCl; a_1 – расход щелочи на первое титрование, мл; a_2 – расход щелочи на второе титрование, мл; n_2 – нормальность NaOH; 0,014 – количество CaO, соответствующее 1 мл 1,0 н раствора HCl; m – аликвотная навеска, г.

В связи с тем, что норму извести принято выражать в тоннах CaCO_3 на гектар, нередко возникает необходимость в пересчете CaO в CaCO_3 , что достигается путем умножения полученного результата на коэффициент 1,785.

Пример вычисления нейтральной способности известковых удобрений. Для определения нейтрализующей способности известняковой муки взвешено 5 г сухого удобрения. Навеска, соответствующая аликвотной части вытяжки, составляет

$$\frac{5 \text{ г} \rightarrow 500 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 100 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{5 \times 100}{500} = 1.$$

На первое титрование израсходовано 48,4 мл 0,5 н NaOH, на второе – 3,6 мл.

$$\% \text{CaO} = \frac{[104 \times 0,5 - (48,4 + 3,6) \times 0,5] \times 0,014 \times 100}{1} = 36,4.$$

Форма записи результатов:

| № удобрения | Нормальность | | Аликвотная навеска, г | Количество щелочи, пошедшее на титрование, мл | | CaO, % |
|-------------|--------------|------|-----------------------|---|--------|--------|
| | HCl | NaOH | | первое | второе | |
| 4 | 0,5 | 0,5 | 1 | 48,4 | 3,6 | 36,4 |

Реактивы:

1. 1,0 н раствор HCl. 82 мл концентрированной HCl (удельный вес 1,19) растворить в химическом стакане с дистиллированной водой, перелить в мерную колбу емкостью 1 л и довести до метки.

2. 0,5 н раствор NaOH. Взвешивают 20 г х.ч. NaOH и растворяют в воде без CO_2 , затем переносят в мерную колбу емкостью 1 л, доводят объем дистиллированной водой до метки, хорошо перемешивают.

3. Фенолфталеин. 0,1 г фенолфталеина растворяют в 95%-ном этиловом спирте в мерной колбе емкостью 100 мл. Хранят в емкости с притертой пробкой.

4.6.4. Гипсование солонцеватых почв и солонцов

Солонцы и солонцеватые почвы разнообразны по мощности генетических горизонтов, водно-солевому режиму, обеспеченности гумусом, гранулометрическому составу, глубине залегания карбонатов кальция и гипса, физико-химическим свойствам и другим важным параметрам. Это определяет их мелиоративную неравноценность и требует дифференцированного подхода к приемам повышения плодородия.

К наиболее важным агрометрическим показателям солонцеватых почв относятся: комплексность почвенного покрова, тип гидрологического режима, тип и степень засоления, содержание гипса, карбонатов, особенности морфологического строения почвы, в частности мощность надсолонцового горизонта, глубина залегания солонцового, карбонатного и гипсоносного горизонтов.

Комплексность почвенного покрова характеризуют по количественному содержанию пятен солонцов в процентах от площади комплекса (мелиорируемого участка). Этот показатель позволяет определить возможность сплошного или выборочного гипсования солонцов.

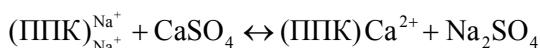
По типу гидрологического режима (уровень грунтовых вод в сочетании с литологией почвообразующих пород) определяют целесообразность и способы мелиорации солонцов.

Важный показатель солонцовых почв – химизм (тип) засоления. Он может быть простым (хлоридным, сульфатным) или комбинированным (сульфатно-хлоридным, содово-хлоридным, содово-сульфатным, сульфатно-содовым и т.д.) в зависимости от количественного соотношения сульфатных, хлоридных и гидрокарбонатных анионов и катионов (натрия, кальция, магния). По степени засоления почвы подразделяются на слабо-, средне-, сильно- и очень сильнозасоленные.

Содержание в засоленных почвах обменного натрия является одним из основных показателей доз химических мелиорантов. По количеству обменного натрия (в горизонте В₁) солонцы разделяются на четыре группы: остаточно-натриевые (до 10%), малонатриевые (10–25%), средненатриевые (25–40%), многонатриевые (больше 40%).

При содержании в водной вытяжке почвы более 1 мг·экв CaSO_4 на 100 г почвы на глубине до 40–50 см (в зависимости от зоны) солонцы относят к высокогипсовым. Если в почве содержится белоглазка (скопление карбонатов) или наблюдается бурное вскипание почвы с 10%-ной соляной кислотой в слое от 0 до 40 или 60 см (в зависимости от зоны) почву считают высококарбонатной.

Гипсование солонцов обеспечивает улучшение их физических и физико-химических свойств благодаря замене обменного натрия почв кальцием при внесении в пахотный слой калийсодержащих химических мелиорантов:



Это самое эффективное средство повышения плодородия солонцов с глубоким залеганием карбонатов и гипса (более 40–50 см).

*Материалы, используемые для гипсования почв,
и их характеристика*

Наиболее распространенными и доступными мелиорантами для гипсования почв являются фосфогипс и сыромолотый гипс.

Фосфогипс – отход производства фосфорной кислоты. Различают две формы фосфогипса: дигидрат ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и полугидрат ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Для гипсования применяют дигидрат, так как полугидрат через сутки после внесения присоединяет воду (1,5 молекулы на 1 молекулу CaSO_4) и превращается в твердый монолит или глыбы, требующие размола. Фосфогипс содержит вредные водорастворимые соединения фтора. При использовании для гипсования их количество в пересчете на фтор не должно превышать 0,3%.

Гипс сыромолотый – измельченный в порошок гипсовый камень, состоящий главным образом из двухводного сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в сыромолом гипсе 70–85%, влаги – до 5%.

Кроме гипсосодержащих химических мелиорантов, для химической мелиорации солонцов применяют и другие кальцийсодер-

жащие соединения: известняк, хлористый кальций, сульфат железа, серную кислоту и др.

4.6.5. Анализ гипса

Определение гигроскопической влаги

Ход анализа:

На аналитических весах взвешивают точную навеску гипса (4–5 г), помещают в предварительно взвешенный стеклянный бюкс с притертой крышкой, ставят в термостат и выдерживают в течение 3 ч при температуре 100–105°C. Дают бюксу остыть в эксикаторе и вновь взвешивают. Высушивание проводят до постоянной массы [10].

Содержание влаги в процентах рассчитывают по формуле

$$\% W = \frac{a \times 100}{m},$$

где a – количество испарившейся влаги, г; m – навеска гипса, г.

Пример вычисления гигроскопической влаги. Для определения гигроскопической влаги гипса использовалась навеска 3,1875 г. Высушивание до постоянной массы проводилось в термостате при температуре 105°C. Масса испарившейся влаги составила 0,0822 г:

$$\% W = \frac{0,0822 \times 100}{3,1875} = 2,5788.$$

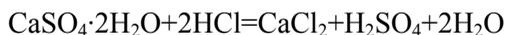
Форма записи результатов:

| № бюкса | Масса пустого бюкса, г | Масса бюкса с удобрением, г | Навеска, г | Масса бюкса после высушивания, г | Масса испарившейся влаги, г | W , % |
|---------|------------------------|-----------------------------|------------|----------------------------------|-----------------------------|---------|
| 1 | 15,4477 | 18,6352 | 3,1875 | 17,8132 | 0,0822 | 2,5788 |

Определение серной кислоты в гипсе

Гипс применяют для химической мелиорации солонцов, дозы его устанавливают в зависимости от содержания в почве поглощенного натрия, а также $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в том материале, который применяют для гипсования.

Принцип метода. Навеску гипса растворяют при нагревании в разбавленной соляной кислоте:



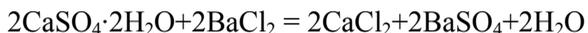
В растворе после отделения примесей определяют серную кислоту (путем осаждения ее хлористым барием, озоления, прокаливания и взвешивания сульфата бария). Зная содержание SO_4 в исследуемом материале, можно рассчитать наличие в нем гипса.

Ход анализа:

На аналитических весах взвешивают 1 г гипса, переносят в фарфоровую чашку и прибавляют при помешивании стеклянной палочкой 50 мл разведенной соляной кислоты (реактив 1). Затем чашку покрывают часовым стеклом и постепенно нагревают на плитке до кипения. После этого снимают стекло, обмывают его в чашке дистиллированной водой, а содержимое чашки выпаривают на водяной бане досуха. Сухой остаток смачивают 5–10 мл разведенной соляной кислоты, приливают туда же 50 мл горячей дистиллированной воды и хорошо размешивают стеклянной палочкой. Для отделения выпавшего осадка кремневой кислоты, песка, глины и других примесей полученный раствор фильтруют через беззольный фильтр средней плотности в мерную колбу емкостью 100 мл. Осадок на фильтре промывают горячей дистиллированной водой, подкисленной соляной кислотой. По охлаждении раствор в колбочке доводят до метки дистиллированной водой, закрывают пробкой и взбалтывают.

25 мл приготовленного раствора помещают в химический стакан емкостью 200 мл и подкисляют его 0,3–0,5 мл 10%-ным раствором соляной кислоты. Раствор в стакане нагревают до кипения. Одновременно в стеклянной пробирке доводят до кипения 5 мл 10%-ного раствора хлористого бария и приливают его в стакан с

кипящим раствором, продолжая кипячение еще 2–3 мин. Выпадает осадок сульфата бария:



Подкисление вытяжки соляной кислотой способствует образованию более крупных кристаллов сульфата бария, что облегчает дальнейшее его отделение при фильтровании. Для полноты осаждения сульфат-ионов и укрупнения кристаллов сульфата бария, стакан после прибавления BaCl_2 накрывают стеклом и ставят на 4 ч на теплую водяную баню.

По истечении этого времени проводят пробу на полноту осаждения. Для этого к прозрачной жидкости над осадком в стакане прибавляют каплю раствора хлористого бария. Если появляется муть, то добавляют несколько миллилитров раствора хлористого бария и вновь оставляют на несколько часов в теплом месте.

Для образования крупнозернистого осадка сульфата бария рекомендуют также добавлять в стакан перед осаждением сульфат-иона 3–5 капель 1%-ного раствора пикриновой кислоты.

Содержимое стакана фильтруют через плотный беззольный фильтр, предварительно промытый кипящей дистиллированной водой, подкисленной соляной кислотой (для удаления из фильтровальной бумаги следов сульфат-ионов).

Мелкокристаллический осадок сульфата бария способен проходить даже через плотный фильтр, поэтому колбочку, в которую принимается фильтрат, рекомендуется ставить на черную бумагу. Это позволяет легко обнаружить «проскочивший» сквозь фильтр осадок. Если это произошло, фильтрат подкисляют 10%-ной соляной кислотой, нагревают до кипения, охлаждают и вновь фильтруют.

Когда весь осадок перенесен на фильтр, стакан многократно обрабатывают горячей дистиллированной водой, подкисленной соляной кислотой, сливая промывные воды на фильтр. Промывание осадка ведут до отрицательной реакции на ион бария (с серной кислотой). После чего фильтр с осадком помещают в фарфоровый тигель, подсушивают на воздухе, затем переносят в муфельную печь для озоления фильтра и прокаливания осадка. Температура в муфельной печи не должна подниматься выше 750°C , поскольку

при 800°C сульфат бария уже разлагается. По этой же причине прокаливание нельзя затягивать: когда озоление закончено, достаточно 20-минутного прокаливания.

Тигель с осадком охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах.

Расчет результатов анализа:

Вычисление содержания SO_4^{2-} производят по формуле

$$\% \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{a \times 0,4114 \times 1,7922 \times 100}{n},$$

где a – масса осадка, г; 0,4114 – граммы SO_4^{2-} , отвечающие 1 г BaSO_4 ; 1,7922 – граммы $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, отвечающие 1 г SO_4 ; n – аликвотная навеска, г.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{1 \text{ г гипса} \rightarrow 100 \text{ мл}}{X \text{ г гипса} \rightarrow 25 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{1 \times 25}{100} = 0,25.$$

Пример вычисления содержания серной кислоты в гипсовом материале. Для определения содержания SO_4^{2-} в гипсовом материале взвешено 1 г сухого вещества. Навеска, соответствующая аликвотной части вытяжки, составляет 0,25 г. Масса прокаленного осадка 0,1823 г:

$$\% \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{0,1823 \times 0,4114 \times 1,7922 \times 100}{0,25} = 53,76.$$

Форма записи результатов:

| № удобрения | Навеска, г | Общий объем раствора, мл | Аликвотная навеска, г | № тигля | Масса пустого тигля, г | Масса тигля с осадком после прокаливания, г | Масса осадка, г | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, % |
|-------------|------------|--------------------------|-----------------------|---------|------------------------|---|-----------------|---|
| 5 | 1 | 100 | 0,25 | 10 | 12,6543 | 12,8366 | 0,1823 | 53,76 |

Реактивы:

1. Разбавленная HCl (1 объем концентрированной HCl (удельный вес 1,19) приливают к трем объемам дистиллированной воды и перемешивают.

2. 10%-ный раствор HCl. 236,4 мл концентрированной HCl (удельный вес 1,19) растворяют в дистиллированной воде. Общий объем доводят до 1 л в мерной колбе.

3. 10%-ный раствор BaCl₂. 100 г сухого реактива BaCl₂ помещают в химический стакан, приливают 300–400 мл дистиллированной воды и растворяют, перемешивая раствор стеклянной палочкой. Раствор переливают в мерную колбу емкостью 1 л, доводят водой до метки, хорошо перемешивают.

4. H₂O подкисленная HCl. В химический стакан наливают 500 мл дистиллированной воды, добавляют из капельницы 2–3 мл концентрированной HCl, хорошо перемешивают.

Контрольные вопросы к параграфу

1. С какой целью проводится известкование почв?
2. Какие почвы нуждаются в известковании?
3. Какие природные материалы используются для известкования почв?
4. Какие отходы промышленности используются для известкования?
5. Выразите уравнением процесс нейтрализации почвенной кислотности при внесении известковых удобрений.
6. Как рассчитывается доза извести?
7. Какие характеристики определяют в извести?
8. В какое время года следует проводить известкование почв?
9. Какие удобрения, кроме извести, могут снизить кислотность почв?
10. Как влияет гранулометрический состав почвы, емкость катионного обмена и количество органического вещества на действие извести?
11. В чем заключается принцип газовольнометрического определения карбоната кальция?

12. Какие почвы требуют внесения гипса?
13. Какие материалы используют для гипсования?
14. Какие процессы протекают в почве при гипсовании?
15. В чем заключается принцип метода анализа гипса?

4.7. Анализ торфа

4.7.1. Общая характеристика торфа

В состав растений входит более 60 химических элементов. Основная роль среди них принадлежит азоту, фосфору, калию, сере, железу, кальцию и магнию. Вынос питательных веществ из почвы зависит от культуры, сорта, величины урожая, метеорологических и почвенных условий.

Торф является важным источником элементов питания и увеличивает ресурсы органических удобрений. Наличие больших запасов торфа позволяет использовать его на удобрение, для приготовления различных компостов с органическими и минеральными удобрениями. Торф образуется в условиях избыточного увлажнения и недостатка воздуха в результате отмирания и неполного разложения болотной растительности. Торф состоит из негумифицированных растительных остатков, перегноя и минеральных включений. Виды и типы торфа многообразны и неравноценны по составу, поэтому способы его использования на удобрения не одинаковы. Торф различных болот отличается по агрохимическим свойствам и качеству. Качество торфа характеризуется ботаническим составом болотной растительности, степенью разложения, влагоемкостью, кислотностью, зольностью, содержанием азота зольных элементов [14].

Степень разложения торфа указывает на содержание в нем гумифицированных органических веществ, образующихся в результате разложения болотной растительности. Чем выше степень разложения торфа, тем лучше его качество как удобрения. Различают слаборазложившийся торф, содержащий до 20% гумифицированных органических остатков, среднеразложившийся, содержащий

20–40% этих веществ, и хорошо разложившийся – более 40% (табл. 10).

Т а б л и ц а 10

Определение степени разложения торфа

| Состояние растительных остатков | Пластичность торфа при сжатии в руке | Признаки отжимаемой жидкости | Степень разложения торфа, % |
|--|--|--|-----------------------------|
| Хорошо сохранились и виды их легко различаются | Через пальцы не выдавливается и не мажет. Бесцветный или светло-желтый мазок | Отжимается легко, бесцветная или слабоокрашенная, иногда мутна | До 20 |
| Ясно различимы при внимательном рассмотрении | Почти не выдавливается между пальцами. Коричневый или серовато-коричневый мазок | Светло-коричневая, мутная | 20–30 |
| Трудноразличимы, заметно присутствие перегноя | Часть выдавливается между пальцами, мажет. Коричневый, темно-коричневый мазок | Темно-серая или темно-коричневая, отжимается с некоторым усилием, но каплями | 30–50 |
| Малозаметны. Могут встречаться кусочки коры | Легко выдавливается между пальцами, сильно мажет. Цвет мазка темно- или черно-коричневый | Чаще не отжимается | 50–75 |
| Почти не заметны | Торф почти полностью продавливается между пальцами. Цвет мазка темно- или черно-коричневый | Не отжимается | Более 75 |

Степень разложения торфа определяют под микроскопом и выражают в процентах разложившейся части торфа от всей его массы. Степень разложения приблизительно устанавливают по внешнему виду торфа. Хорошо разложившийся торф имеет темно-коричневый, почти черный цвет, слабо разложившийся – светло-коричневый.

Для оценки качества торфа как удобрения важно знать его кислотность (рН), зольность и содержание питательных веществ.

Кислотность торфа является важным показателем при определении способов использования торфа. Торф с величиной рН солевой вытяжки ниже 5,5 не пригоден для удобрения в чистом виде, его необходимо предварительно компостировать с навозом, золой, известью или фосфоритной мукой.

Зольность торфа бывает различной. Торф нормальной зольности содержит до 12% золы, высокозольный – более 12%. Высокое содержание золы характерно для низинного торфа (иногда более 30%). В верховом торфе количество золы составляет до 5%, в переходном – 5–10%, в нормальнозольном низинном – 8–12% (табл. 11).

Т а б л и ц а 11

**Среднее содержание зольных элементов в различных типах
нормального торфа, % абсолютно сухого вещества**

| Тип торфа | Зольность | CaO | MgO | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | S ₂ O |
|------------|-----------|------|------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|
| Верховой | 2,00 | 0,30 | 0,12 | 0,15 | 0,30 | 0,80 |
| Переходный | 4,00 | 0,80 | 0,20 | 0,70 | 0,70 | 1,20 |
| Низинный | 6,50 | 2,50 | 0,30 | 1,30 | 0,70 | 1,20 |

Наибольшее агрономическое значение среди зольных элементов торфа имеют кальций и фосфор. Степень насыщенности кальцием не превышает 20% от емкости поглощения в верховом торфе, в переходном составляет 20–40% и в низинном – 45–70%. Очень ценным является низинный торф, содержащий известь или вивианит (P₂O₅ более 3%).

Содержание питательных веществ в разных видах и типах торфа неодинаково. Больше всего в торфе находится азота, в абсолютно сухой массе верхового торфа его от 0,8 до 1,5%, в низинно-осоковом – от 2,5 до 3,5%. Количество аммиачного азота (единственно усвояемая форма азота в торфе) в сухой массе хорошо разложившегося низинно-осокового торфа не превышает 0,09%, а в сухой массе верхового – 0,035%.

В абсолютно сухой массе торфа содержание фосфора колеблется от 0,05% (в верховом) до 0,50% (в низинном). Основное количество данного элемента находится в сравнительно доступной форме (лимоннокислая вытяжка) для растений. Более богат фосфором древесный и древесно-осоковый низинный торф. При повышенной

зольности он содержит больше фосфора, железа и меньше азота. В торфе мало содержится калия – от 0,05 до 0,2% в абсолютно сухой массе (табл. 12).

Т а б л и ц а 12

**Химический состав различных типов нормального торфа,
% абсолютно сухого вещества**

| Тип торфа | Азот (N) | Фосфор P ₂ O ₅ | Калий (K ₂ O) | pH солевой вытяжки |
|------------|----------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------|
| Верховой | 0,8–1,2 | 0,05–0,12 | 0,10 | 2,8–3,5 |
| Переходный | 1,0–3,5 | 0,10–0,20 | 0,10 | 3,5–4,7 |
| Низинный | 2,3–3,3 | 0,12–0,50 | 0,15 | 4,7–5,5 |

Торф нормальной зольности богат азотом, беден фосфором и очень беден калием и микроэлементами, особенно медью.

В торфе содержится относительно много азота, который находится в плохо усвояемой растениями органической форме и становится доступным только после их минерализации. Для перевода органических форм азота в минеральные, доступные для растений, торф используют в качестве подстилки скоту или компостируют с навозом или навозной жижей. Для приготовления компостов допускается использование торфа зольностью до 35%, а при наличии в нем вивианитов и карбонатов – до 40%. Применять торф в чистом виде из-за низкого содержания в нем подвижных форм питательных веществ экономически невыгодно: затраты в этом случае не окупаются прибавкой урожая.

4.7.2. Определение гигроскопической влажности торфа

Подготовка проб торфа для анализа

Торф подсушивают до воздушно-сухого состояния в помещении, лишенном запаха аммиака и летучих кислот. Методом квартования отбирают среднюю пробу, затем измельчают и просеивают через сито с отверстием диаметром 1 мм. Образцы хранят в банках с притертой пробкой и используют для всех видов анализа [11].

Определение содержания азота, фосфора и калия в торфе проводят после мокрого или сухого озоления. Используют те же методики, что и при анализе растений (гл. 3).

Для определения влажности из лабораторной пробы торфа в предварительно взвешенный бюкс помещают навеску 5–10 г, в зависимости от степени его разложения. Бюксы ставят в сушильный шкаф и высушивают в течение 2,5–4 ч при температуре 105°C, затем охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах. Бюксы с торфом ставят на повторное высушивание в течение 30 мин, после чего вновь взвешивают. Если потеря в массе составляет больше 0,01 г, высушивание повторяют.

Расчет результатов анализа:

Гигроскопическую влажность вычисляют по формуле

$$\% W = \frac{a \times 100}{m},$$

где a – масса испарившейся влаги, г; m – навеска сухого торфа, г.

Пример вычисления гигроскопической влаги. Для определения гигроскопической влаги использовалась навеска торфа 3,5673 г, масса воды – 0,1254 г. Гигроскопическая влажность торфа составляет

$$\% W = \frac{0,1241 \times 100}{3,4432} = 3,60.$$

Форма записи результатов:

| № образца | № бюкса | Масса, г | | | | | | Гигроскопическая влага, % (W) |
|-----------|---------|---------------|-------------------|-------------------|----------|--------------|-------------------|----------------------------------|
| | | пустого бюкса | бюкса с торфом | | | сухого торфа | испарившейся воды | |
| | | | до высушивания, г | после высушивания | | | | |
| | | | | 1-е взв. | 2-е взв. | | | |
| 1 | 4 | 12,4584 | 16,0257 | 15,9095 | 15,9016 | 3,4432 | 0,1241 | 3,60 |

4.7.3. Определение актуальной и обменной кислотности торфа

Под актуальной кислотностью понимают свободную кислотность торфа, выраженную величиной рН водной вытяжки. По величине актуальной кислотности торфа судят о пригодности его в качестве удобрения.

При определении обменной кислотности торфа учитывается не только свободная кислотность, но и скрытая. Обменную кислотность характеризуют величиной рН солевой вытяжки из торфа. По величине обменной кислотности судят о необходимости компостирования с известью.

Ход анализа:

Для определения актуальной кислотности торфа навеску воздушно-сухого торфа 1 г помещают в стакан емкостью 50 мл и приливают 25 мл дистиллированной воды (рН 5,5–6,0). Содержимое стакана перемешивают стеклянной палочкой в течение 1 мин, определяют рН потенциометрическим методом.

Для определения обменной кислотности торфа навеску воздушно-сухого торфа 1 г помещают в стакан емкостью 50 мл и приливают 25 мл 1,0 н раствора хлористого калия (рН 6,6–6,8). Содержимое стакана перемешивают стеклянной палочкой в течение 1 мин и оставляют стоять на 24 ч. По истечении указанного времени определяют рН потенциометрическим методом.

4.7.4. Определение гидролитической кислотности торфа

Ионы водорода, обуславливающие гидролитическую кислотность, вытесняют 1,0 н раствором уксусно-кислого натрия (рН 8,2). Соотношение торф – раствор составляет 1:300.

Ход анализа:

Из средней пробы воздушно-сухого торфа, тщательно перемешанного, измельченного, просеянного через сито с диаметром отверстий 1 мм взвешивают навеску 1,5 г и помещают в плоскодонную колбу емкостью 500 мл. К навеске приливают 450 мл 1 н раствора уксуснокислого натрия (рН 8,2). Колбы плотно закрывают пробками, хорошо взбалтывают в течение 3 мин и оставляют на

18–20 ч (отстаивание можно заменить взбалтыванием в течение 1 ч). На следующий день содержимое колбы вновь перемешивают, суспензию фильтруют в колбу через сухой плотный складчатый фильтр, первые (мутные) порции фильтрата отбрасывают.

Из полученного фильтрата отмеряют пипеткой 100 мл прозрачного раствора, переносят в коническую колбу, добавляют 2–3 капли индикатора фенолфталеина и титруют 0,1 н раствором NaOH до появления розовой окраски, не исчезающей в течение 1 мин.

Если вытяжка сильно окрашена, то розовый фильтрат разбавляют дистиллированной водой до получения слабоокрашенного раствора. В этом случае титрование следует проводить в присутствии «свидетеля».

Одновременно титруют 100 мл исходного раствора ацетата натрия. Объем щелочи, пошедший на титрование, вычитают из результатов титрования фильтрата.

Гидролитическую кислотность торфа рассчитывают по формуле (в мг·экв/100 г):

$$H_{\Gamma} = \frac{(a - b) \times n \times 100}{m \times 10},$$

где a – количество 0,1 н раствора NaOH, пошедшего на титрование испытуемого образца; b – количество 0,1 н раствора NaOH, пошедшего на титрование контроля; n – нормальность NaOH; 10 – коэффициент для перевода мг в мг·экв (10 мл 0,1 н раствора NaOH соответствует 1 мг·экв).

Реактивы:

1. 1,0 н раствор уксуснокислого натрия. 82 г безводного или 136 г трехводного уксуснокислого натрия ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) растворяют в 500–600 мл дистиллированной воды, переносят в мерную колбу емкостью 1 л и доводят водой до метки. Для проверки pH берут 20 мл приготовленного раствора, прибавляют 1–2 капли фенолфталеина. Окраска должна быть слабо-розовая. Если окраски нет, следует добавить по каплям 10%-ный раствор NaOH. Если окраска интенсивная (pH больше 8,2), в раствор по каплям добавляют 10%-ный раствор уксусной кислоты.

2. Фенолфталеин. 0,1 г фенолфталеина растворяют в 95%-ном этиловом спирте в мерной колбе емкостью 100 мл. Хранят в емкости с притертой пробкой.

3. 0,1 н раствор NaOH. Раствор готовят из фиксаля, растворяя содержимое ампулы водой в мерной колбе емкостью 1 л.

4.7.5. Определение зольности торфа

Содержание золы в торфе позволяет судить о его удобрительных свойствах. При определении количества золы навеску торфа сжигают в фарфоровом тигле и прокаливают в муфельной печи при температуре темно-красного каления до постоянного веса [10].

Ход анализа:

Навеску воздушно-сухого торфа 1–2 г помещают в фарфоровый тигель и помещают в холодную муфельную печь, после чего постепенно нагревают. Тигли с торфом выдерживают в при температуре до 650–750°C в течение 2 ч.

После прокаливания тигель помещают в эксикатор и после полного охлаждения взвешивают на аналитических весах. Затем тигель с золой вновь помещают в муфельную печь на 40 минут, после этого охлаждают и делают контрольное взвешивание.

Расчет результатов анализа:

Содержание золы (в %) вычисляют по формуле

$$\%A = \frac{a \times 100}{m},$$

где a – масса золы, г; m – навеска растительного материала, г.

Пример вычисления зольности торфа. Для определения зольности торфа использовалась навеска торфа 2,5342 г, масса золы – 0,9254 г. Зольность торфа составляет

$$\%A = \frac{0,9254 \times 100}{2,5342} = 36,52.$$

Форма записи результатов:

| № образца | № бюкса | Масса, г | | | | | | Зольность, % |
|-----------|---------|---------------|--------------------|--------------------|----------|------------------|---------------|--------------|
| | | пустого тигля | тигля с торфом | | | Навеска торфа, г | Масса золы, г | |
| | | | до прокаливания, г | после прокаливания | | | | |
| | | | | 1-е взв. | 2-е взв. | | | |
| 1 | 4 | 13,1654 | 15,6996 | 13,8198 | 13,7908 | 2,5342 | 0,6254 | 24,68 |

4.7.6. Определение содержания железа в золе торфа

Содержание железа в золе торфа характеризует его удобри-тельные свойства. Если количество железа в торфе превышает 10%, то использовать такой торф в качестве удобрения нельзя.

Приготовление вытяжки

Для приготовления вытяжки используют золу, полученную после озоления 10–20 г торфа. Зола растирают в ступке до тончайше-го порошка без крупинок.

Навеску тонко растертой золы массой 1 г, взвешенной на ана-литических весах, переносят в коническую колбу емкостью 250 мл и смачивают 10 мл дистиллированной воды. После этого в колбу прибавляют по каплям 10%-ную соляную кислоту до прекращения выделения углекислого газа. Затем из мерного цилиндра прилива-ют 20 мл концентрированной HCl, перемешивают круговыми дви-жениями, затем добавляют 1–2 мл концентрированной HNO₃, нагревают до кипения и кипятят в течение 30 мин. Кипение не должно быть бурным. Далее содержимое колбы охлаждают, пере-носят в фарфоровую чашку и выпаривают на водяной бане досуха. Сухой осадок дважды обрабатывают концентрированной соляной кислотой, каждый раз выпаривая на водяной бане досуха, и про-сушивают в течение 1 ч в термостате при 120°C (в случае даль-нейшего повышения температуры хлорное железо переходит в окись, что в значительной степени затрудняет анализ). При обра-

ботке соляной кислотой сухой остаток в чашке тщательно растирают стеклянной палочкой.

Фарфоровой чашке дают охладиться, остаток после выпаривания смачивают 5–6 мл концентрированной HCl и, накрыв чашку стеклом, оставляют на 10 мин. Затем приливают 50 мл горячей воды, содержимое фарфоровой чашки нагревают на водяной бане и дают осесть кремневой кислоте. Горячую жидкость фильтруют в мерную колбу емкостью 250 мл через рыхлый беззольный фильтр, поддерживая все время жидкость в чашке в горячем состоянии. Осадок на фильтре промывают горячим 1%-ным раствором соляной кислоты до отрицательной реакции промывных вод на ион Fe^{3+} (проба с роданистым калием). Фильтрат в колбе после охлаждения доводят дистиллированной водой до метки и тщательно перемешивают.

Ход анализа:

Отбирают пипеткой 25 мл исходной вытяжки в мерную колбу емкостью 250 мл и доводят объем водой до метки. Из разбавленного раствора пипеткой отбирают 10–20 мл и переносят в мерную колбу вместимостью 100 мл для колориметрирования. В колбу приливают 10–20 мл дистиллированной воды и нейтрализуют находящуюся в растворе кислоту рассчитанным объемом щелочи (10%-ная NaOH, пример расчета приведен ниже). После этого объем раствора в колбе доводят водой примерно до 80 мл, прибавляют 5 мл разбавленной (1:3) азотной кислоты и 5 мл 10%-ного раствора KSCN, взбалтывают круговыми движениями, доводят до метки водой и вновь хорошо перемешивают.

По истечении 15 мин проводят колориметрирование. Длина волны 490 нм, кювета 30 мм.

Для определения объема щелочи, необходимого для нейтрализации кислотности в растворе, отмеряют пипеткой 10 мл вытяжки, помещают в фарфоровую чашечку, добавляют 1–2 капли индикатора метилового оранжевого и титруют из бюретки 10%-ным раствором щелочи до появления желтой окраски. Например, на нейтрализацию кислоты в 10 мл анализируемой вытяжки затрачено 2 мл 10%-ного раствора NaOH. Следовательно, в колбу для колориметрирования следует добавлять из бюретки по 2 мл щелочи на каждые 10 мл анализируемого раствора.

Расчет результатов анализа:

Содержание железа в золе торфа (в процентах) вычисляют по формуле

$$\%Fe = \frac{c \times 100}{m \times 1000},$$

где c – концентрация железа в растворе по калибровочному графику, мг/100 мл; 1 000 – коэффициент пересчета миллиграммов в граммы; m – навеска золы, соответствующая аликвотной части вытяжки, г.

Содержание железа в золе можно пересчитать на содержание его в торфе по формуле

$$\%Fe = \frac{m \times a}{100},$$

где m – содержание железа в золе торфа, %; a – зольность торфа, %.

Пример вычисления содержания железа в золе торфа. Для приготовления вытяжки использована навеска золы 1,009 г, получена вытяжка объемом 250 мл. Для разведения взято 25 мл исходной вытяжки, перенесено в мерную колбу емкостью 250 мл и объем доведен до метки дистиллированной водой. Для определения содержания железа в золе торфа взято 10 мл разведенного раствора, помещено в мерную колбу емкостью 100 мл, добавлены реактивы в строго в определенной последовательности, предусмотренной методикой. Концентрация по графику составила 0,16 мг/100 мл.

Расчет аликвотной навески:

$$1) \frac{1,009 \text{ г} \rightarrow 250 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 25 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{1,009 \times 25}{250} = 0,1009;$$

$$2) \frac{0,1009 \text{ г} \rightarrow 250 \text{ мл}}{X_1 \text{ г} \rightarrow 10 \text{ мл}}; X_1 \text{ г} = \frac{0,1009 \times 10}{250} = 0,004.$$

Содержание железа в золе торфа составляет

$$\%Fe = \frac{0,16 \times 100}{0,004 \times 1000} = 4,0.$$

Форма записи результатов:

| Масса золы, г | Общий объем исходной вытяжки, мл | Разведение | | Объем вытяжки для колориметрирования, мл | Аликвотная навеска, г | Концентрация по графику, мг/100 мл | Fe, % |
|---------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|--|-----------------------|------------------------------------|-------|
| | | Объем исходной вытяжки, мл | Общий объем вытяжки, мл | | | | |
| 1,009 | 250 | 25 | 250 | 10 | 0,004 | 0,16 | 4,0 |

Содержание железа в торфе, при зольности 12,0%, составляет

$$\%Fe = \frac{4,0 \times 12,0}{100} = 0,48.$$

Реактивы:

1. 10%-ный раствор NaOH. 100 г NaOH растворяют в дистиллированной воде в термостойком стакане, непрерывно помешивая стеклянной палочкой. Переливают раствор в мерную колбу и доводят водой до метки 1 л.

2. 10%-ный раствор HCl. В мерную колбу емкостью 1 л наливают дистиллированной воды более 500 мл, добавляют 236,4 мл концентрированной соляной кислоты и доводят водой до метки 1 л.

3. 1%-ный раствор HCl. В мерную колбу емкостью 1 л наливают дистиллированной воды более 500 мл, добавляют 22,6 мл концентрированной соляной кислоты и доводят водой до метки 1 л.

4. HCl концентрированная (удельный вес 1,19).

5. HNO₃ концентрированная (удельный вес 1,40).

6. HNO₃, разбавленная 1:3. 30 мл HNO₃ (удельный вес 1,40) разбавляют дистиллированной водой до объема 100 мл.

7. 10%-ный раствор роданистого калия (KSCN). На технических весах взвешивают 10 г KSCN, растворяют в дистиллированной воде и доводят до объема 100 мл.

4.7.7. Определение содержания кальция в золе торфа

Содержание кальция, наряду с другими показателями, характеризует возможность использования торфа как удобрения. Если торф содержит кальция менее 2%, то он не пригоден для применения в чистом виде.

Определяют кальций объемным оксалатным методом. Метод основан на получении осадка оксалата $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ по уравнению



Для анализа используют исходную вытяжку из золы, приготовление которой описано в §§ 4.7.6.

Ход анализа:

Отмеряют пипеткой 50 мл исходной вытяжки из золы торфа, переносят в стакан емкостью 200 мл, разбавляют водой до объема 100 мл, прибавляют 2–3 капли метилового оранжевого и по каплям прибавляют 25%-ный раствор аммиака до перехода розового окрашивания в желтое. Происходит осаждение полуторных окислов.

Жидкость с осадком кипятят до исчезновения запаха аммиака (удаление избытка аммиака), затем раствор фильтруют горячим через беззольный рыхлый фильтр (красная лента). Осадок на фильтре промывают горячей водой, содержащей следы аммиака (2–3 капли на 1 л) до отрицательной реакции промывных вод на ион хлора (реакция с AgNO_3 в присутствии HNO_3). Фильтр с осадком выбрасывают. Фильтрат и промывные воды выпаривают до объема 50 мл, приливают 10 мл 1%-ного раствора NH_4Cl (чтобы не выпал в осадок марганец), прибавляют 1–2 капли метилового красного и нейтрализуют 25%-ным аммиаком до появления желтого окрашивания. Подкисляют жидкость уксусной кислотой до появления розовой окраски метилового красного (чтобы ион магния не выпал в осадок), нагревают раствор до кипения и приливают к нему 20 мл насыщенного раствора щавелево-кислого аммония для осаждения ионов кальция. Раствор с осадком кипятят еще несколько минут и оставляют стоять в теплом месте не менее чем на 4 ч. Делают пробу на полноту осаждения ионов кальция. С этой целью 2–3 мл отстоявшегося раствора собирают в пробирку, при-

бавляют щавелевокислый аммоний и подогревают. Если осадок CaC_2O_4 не выпадает, то полнота осаждения достигнута. После отстаивания раствор должен быть розовым, что служит признаком достаточного количества уксусной кислоты.

Раствор фильтруют через плотный фильтр и промывают горячей водой до отрицательной реакции на ион $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ (реакция с азотно-кислым серебром). Фильтр предварительно 2–3 раза обрабатывают на воронке кипящей дистиллированной водой. Поскольку осадок после фильтрования растворяют, нет смысла переносить его на фильтр полностью. Фильтр прокалывают стеклянной палочкой и осадок тщательно смывают горячей водой, собирая раствор в тот же стакан, в котором проводили осаждение. Затем фильтр обмывают 25 мл 15%-ного раствора серной кислоты и еще раз горячей водой.

Для растворения осадка CaC_2O_4 в стакан с осадком прибавляют 10 мл 10%-ного раствора серной кислоты и нагревают жидкость до кипения.

Раствор титруют 0,1 н раствором KMnO_4 до появления малинового окрашивания, не исчезающего в течение нескольких секунд. В оттитрованный раствор бросают фильтр, чтобы проверить полноту растворения осадка. Если окраска исчезнет, снова титруют раствором KMnO_4 .

Расчет результатов анализа:

Содержание CaO в золе торфа вычисляют по формуле

$$\% \text{CaO} = \frac{a \times 0,0028 \times 100}{m},$$

где a – расход 0,1 н раствора KMnO_4 на титрование, мл; m – навеска золы, отвечающая объему вытяжки, взятому для анализа, г; 0,0028 – количество CaO , отвечающее 1 мл 0,1 н раствора KMnO_4 , г.

Пример вычисления содержания CaO в золе торфа. Для определения содержания CaO в золе торфа взято 50 мл исходного раствора, приготовленного из золы торфа. На титрование затрачено 4,5 мл 0,1 н раствора KMnO_4 .

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{1,009 \text{ г} \rightarrow 250 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 50 \text{ мл}}; \quad X \text{ г} = \frac{1,009 \times 50}{250} = 0,2018.$$

Содержание СаО в золе торфа составляет:

$$\% \text{СаО} = \frac{4,5 \times 0,0028 \times 100}{0,2018} = 6,24.$$

Содержание СаО в торфе, при зольности 12,0%, составляет

$$\% \text{СаО} = \frac{6,24 \times 12,0}{100} = 0,74.$$

Форма записи результатов:

| Масса золы, г | Зольность, % | Общий объем исходной вытяжки, мл | Объем вытяжки для определения СаО, мл | Аликвотная навеска, г | Объем 0,1 н КМnO ₄ израсходованный на титрование, мл | СаО в золе торфа, % | СаО в торфе, % |
|---------------|--------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|---|---------------------|----------------|
| 1,009 | 12 | 250 | 50 | 0,2018 | 4,5 | 6,24 | 0,74 |

Реактивы:

- 0,1 н раствор КМnO₄. Готовят из фиксанала.
- Аммиак 25%-ный раствор (концентрированный).
- Уксусная кислота (концентрированная).
- 10%-ный раствор H₂SO₄. 60,6 мл концентрированной H₂SO₄ (удельный вес 1,84) растворяют в дистиллированной воде. Общий объем доводят в мерной колбе до 1 л.
- 5%-ный раствор AgNO₃. Навеску 5 г AgNO₃ помещают в стакан, растворяют в 50 мл дистиллированной воды. Раствор переливают в мерную колбу емкостью 100 мл, доводят водой до метки и хорошо перемешивают.
- 1%-ный раствор NH₄Cl. Навеску 1 г хлористого аммония помещают в стакан, растворяют в 50 мл дистиллированной воды. Раствор переливают в мерную колбу емкостью 100 мл, доводят водой до метки и хорошо перемешивают.
- 4%-ный раствор (NH₄)₂C₂O₄. Навеску 40 г аммония щавелевокислого растворяют в 200 мл теплой дистиллированной воды.

Раствор переливают в мерную колбу емкостью 1 л, доводят водой до метки и хорошо перемешивают.

8. Метилоранж индикатор. 0,1 г метилового оранжевого растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе емкостью 100 мл.

9. Метиловый красный (метилрот). 0,1 г метилового красного растворяют в 60%-ном спирте в мерной колбе емкостью 100 мл.

4.7.8. Определение общего азота в торфе (при отсутствии нитратных форм азота)

Ход анализа:

На аналитических весах взвешивают навеску торфа 0,5–1 г, переносят в колбу Кьельдаля, приливают 10–15 мл концентрированной серной кислоты и оставляют на 18–20 ч для обугливания. На следующий день колбу закрывают воронкой и производят сжигание. Смесь кипятят в течение 30 мин, после чего колбу снимают и охлаждают. Затем добавляют 5–6 капель концентрированной хлорной кислоты (HClO_4) и продолжают кипятить 20 мин. Если раствор не обесцветится, колбу снимают, снова добавляют 1–2 капли HClO_4 и вновь кипятят. Добавление хлорной кислоты и кипячение повторяют до полного обесцвечивания жидкости, однако избытка хлорной кислоты следует избегать. Для полного сжигания требуется 2–2,5 ч [10].

По окончании сжигания горлышко и стенки колбы обмывают небольшим количеством безаммиачной воды и снова кипятят в течение 15–20 мин до полного осветления раствора. После охлаждения содержимое колбы, в которой проводилось сжигание торфа, переносят в мерную колбу емкостью 250–500 мл, несколько раз ополаскивают безаммиачной водой и доводят объем до метки.

Подготавливают колбу-приемник: в коническую колбу емкостью 250 мл отмеряют из бюретки 25 мл 0,1 н раствора H_2SO_4 (с точно установленным титром), добавляют 2–3 капли индикатора реактива Гроака (лиловая окраска). Кончик трубки холодильника должен быть погружен в раствор. Включают холодную воду, которая поступает в холодильник (необходимо убедиться, что напор воды достаточный).

Из мерной колбы пипеткой берут 50–100 мл раствора, помещают его в отгонную колбу, добавляют немного безаммиачной воды, наполняя до $\frac{2}{3}$ ее объема (малое количество воды затрудняет парообразование при отгонке аммиака, большое может вызвать переброс кипящей жидкости в холодильник), бросают 2–3 гранулы цинка. Отгонную колбу держат в левой руке, наклоняют, и по стенке из цилиндра аккуратно приливают заранее отмеренное количество 40%-ной щелочи, так, чтобы она вся опустилось на дно колбы. Пробку холодильника смачивают дистиллированной водой, быстро закрывают отгонную колбу, проверяют герметичность соединения, осторожно перемешивают круговыми движениями и устанавливают колбу на нагреватель или плитку с закрытой спиралью. В колбу-приемник поступают сначала пузырьки воздуха.

Горлышко колбы нельзя заливать щелочью по всей поверхности, так как пробка холодильника может выскочить при кипячении раствора. 40%-ная щелочь используется для разложения сернокислого аммония и отгона аммиака. Ее количество в четыре раза превосходит объем кислоты, взятый на сжигание пробы (при использовании 10 мл кислоты приливают 40 мл щелочи).

Приступают к процессу отгонки аммиака. Раствор в отгонной колбе сначала становится красного цвета, а затем темнеет и при нагревании появляется объемный осадок. Кипение в колбе должно быть достаточно интенсивным, иначе кислота из колбы-приемника будет засасываться в холодильник за счет перепада внутреннего и наружного давления газов. Если засасывание началось, следует увеличить нагрев отгонной колбы и вынуть кончик трубки холодильника из раствора кислоты, опустив приемник.

Через 15–20 мин после начала отгонки приемник опускают так, чтобы раствор аммиака из холодильника свободно стекал по стенке колбы.

Процесс отгонки аммиака считается законченным, когда содержимое отгонной колбы испарится до $\frac{1}{3}$ первоначального объема. Полноту отгона аммиака проверяют универсальным лакмусовым индикатором или реактивом Несслера. Для этого берут несколько стекающих из холодильника капель на универсальную

индикаторную бумагу или в пробирку, куда добавлен реактив Несслера, который с аммиаком дает желтое окрашивание.

Если в процессе отгонки аммиака жидкость в колбе-приемнике изменит окраску, следует добавить еще точно фиксированное количество 0,1 н H_2SO_4 (20 мл), так как первоначального объема не хватило для связывания аммиака.

По окончании отгонки носик холодильника обмывают дистиллированной водой из промывалки в колбу-приемник.

Содержимое колбы приемника титруют 0,1 н раствором щелочи (NaOH или KOH), тщательно перемешивая, до перехода окраски от лиловой до зеленой по индикатору Гроака. Интенсивность окраски зависит от количества индикатора.

Расчет результатов анализа:

Количество азота находят по разности между количеством кислоты в приемнике, первоначально прилитой, и количеством кислоты, которая связалась с аммиаком и оттитрована щелочью. Содержание общего азота равно

$$\%N = \frac{(a \times n_k - b \times n_{щ}) \times 14 \times 100}{m \times 1000},$$

где a – объем 0,1 н H_2SO_4 в колбе-приемнике, мл; n_k – нормальность H_2SO_4 , мг·экв; b – объем щелочи, израсходованный для титрования, мл; $n_{щ}$ – нормальность щелочи, мг·экв; 14 – атомная масса азота; m – навеска торфа, г; 1 000 – коэффициент пересчета миллиграммов в граммы.

Пример вычисления общего азота в растениях. Озоление произведено в навеске торфа весом 1,000 г, общий объем вытяжки – 250 мл. Для отгонки аммиака использовано 100 мл исходной вытяжки. В колбу приемник отмерено из бюретки 25 мл 0,1 н H_2SO_4 , на титрование остатка кислоты после полной отгонки аммиака затрачено 18,2 мл 0,1 н щелочи. Содержание общего азота в торфе составляет

$$\%N = \frac{(25 \times 0,1 \times 18,2 \times 0,1) \times 14 \times 100}{0,4 \times 1000} = 2,275.$$

Форма записи результатов:

| № образца | Навеска, г | Общий объем исходной выгяжки, мл | Объем выгяжки для отгонки азота, мл | Аликвотная навеска, г | Объем H ₂ SO ₄ в приемнике, мл | Нормальность H ₂ SO ₄ | Объем щелочи, пошедший на титрование, мл | Нормальность щелочи | N, % |
|-----------|------------|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--|---|--|---------------------|-------|
| 1 | 1,000 | 250 | 100 | 0,40 | 25 | 0,1 | 18,2 | 0,1 | 2,275 |

Реактивы:

1. H₂SO₄ концентрированная (удельный вес 1,84).
2. Концентрированная хлорная кислота (HClO₄).
3. 40%-ный раствор NaOH. Взвешивают 40 г NaOH, помещают в стакан и приливают примерно 50–60 мл дистиллированной воды, непрерывно помешивая стеклянной палочкой до полного растворения. Переливают раствор в мерную колбу на 100 мл, доводят водой до метки, хорошо перемешивают.
4. Реактив Несслера. Используют готовый реактив. Перед работой проводят тест на пригодность реактива к анализу: к 10 мл безаммиачной дистиллированной воды прибавить 0,5 мл рабочего раствора с концентрацией 0,01 мг/мл NH₄⁺ и 0,5 мл реактива Несслера. Если через минуту появится буроватая окраска, то реактив годен к анализу. Реактив хранится в емкостях из темного стекла. Цвет реактива светло-желтый.
5. 0,1 н раствор H₂SO₄. Нормальность кислоты должна быть не меньше 0,0900 и не больше 0,1100. Готовят из фиксаля (1 ампула на 10 л H₂O).
6. 0,1 н раствор NaOH. Готовят из фиксаля (1 ампула на 1 л H₂O).
7. Индикатор Гроака, комбинированный индикатор. При pH 5,5 дает четкое изменение фиолетового цвета на зеленый. 0,15 г метиленового красного растворяют в 102 мл этилового спирта-ректификата. 0,05 г метиленового голубого растворяют в 5 мл дистиллированной воды. Смешивают приготовленные компоненты, индикатор хранят в склянке из темного стекла.

4.7.9. Определение поглощенного аммиака в торфе

Количество поглощенного аммиака в торфе зависит от степени его разложения и степени многослойности.

Ход анализа:

На технических весах взвешивают 5 г тонко измельченного торфа, помещают в плоскодонную колбу емкостью 250 мл, приливают из цилиндра 200 мл 2%-ного раствора KCl, приготовленного на безаммиачной воде, 1–2 капли толуола для подавления микробиологической деятельности. Колбу взбалтывают в течение 5 мин и оставляют на 18–24 ч или взбалтывают в течение 1 ч. После этого вытяжку фильтруют через плотный фильтр, предварительно обработанный горячей безаммиачной водой для устранения примесей. При фильтровании весь торф переносят на фильтр и многократно промывают его небольшими порциями 0,1 н раствора KCl до отрицательной реакции на ион аммония с реактивом Несслера. Промывание должно быть проведено в одни сутки. Затем измеряют объем фильтрата, из него и берут пипеткой 5–10 мл вытяжки.

Одновременно проводят холостое определение на чистоту реактивов. Для этого фильтруют 100 мл 2%-ного раствора KCl через обработанный фильтр, а в дальнейшем поступают также, как и с вытяжками из торфа.

Отмеряют пипеткой 5–10 мл вытяжки, помещают в мерную колбу емкостью 50 мл, прибавляют из мерной пипетки 2 мл сегнетовой соли и хорошо перемешивают круговыми движениями. Затем приливают из мерной пипетки 2 мл реактива Несслера и вновь хорошо перемешивают. Если в растворе появляется опалесценция, то прибавляют еще 2 мл сегнетовой соли, чтобы получить прозрачный раствор. Если содержимое аммиака будет очень высоким, вытяжку рекомендуется разбавить в 5–10 раз, только после этого из полученного объема взять определенное количество миллилитров в мерную колбу и провести окрашивание.

Безаммиачной водой доводят раствор в мерной колбе до метки, закрывают чистой пробкой, хорошо перемешивают, переворачивая колбу 5–6 раз. Через 2–3 мин можно проводить колориметрирование. Светофильтр № 3, длина волны 400–440 нм, кювета 30 мм, раствор сравнения – холостой.

Для приготовления холостого образца в мерную колбу на 50 мл помещают около 40 мл безаммиачной воды, прибавляют по 2 мл сегнетовой соли, перемешивают круговыми движениями, приливают по 2 мл реактива Несслера, доводят до метки этой же водой, вновь хорошо перемешивают.

Окраска полученных растворов сохраняется не более 1 ч, при длительном стоянии появляется муть.

Расчет результатов анализа:

Содержание аммиачного азота рассчитывают по формуле

$$c / 100 \text{ г N} - \text{NH}_4^+ = \frac{c \times 100}{m} \times K,$$

где c – концентрация по графику, мг/100 мл; m – аликвотная навеска, г; K – коэффициент для пересчета на сухую навеску.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{5 \text{ г} \rightarrow 300 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 10 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{5 \times 10}{300} = 0,17.$$

Пример вычисления содержания аммиачного азота. Для определения аммиачного азота взята навеска из 5 г торфа. Содержание гигроскопической влаги в анализируемом образце равно 5,45%. Коэффициент пересчета на навеску, высушенную при 105°C, равен 1,05. Концентрация аммиачного азота по графику 0,01 мг/100 мл:

$$\text{мг} / 100 \text{ г N} - \text{NH}_4^+ = \frac{0,01 \times 100}{0,17} \times 1,0545 = 6,20.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска торфа, г | Объем 2%-ной KCl, мл | Объем аликвотной выжимки, мл | Аликвотная навеска, г | Оптическая плотность (D) | Концентрация по графику (C), мг/100 мл | Коэффициент для пересчета на сухую почву | Аммиачный азот (N) мг /100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|--|--|------------------------------------|
| T ₁ (0–10) | 1 | 5 | 300 | 10 | 0,17 | 0,08 | 0,01 | 1,0545 | 6,20 |

Реактивы:

1. Дистиллированная вода без аммиака. К дистиллированной воде добавляют химически чистую соду до слабощелочной реакции (по лакмусовой бумажке) и упаривают на плитке на $\frac{1}{4}$ часть от первоначального объема, охлаждают. Не рекомендуется использовать теплую воду.

2. 2%-ный раствор KCl. Готовят на безаммиачной воде. 20 г KCl растворяют в 200 мл безаммиачной воды, переливают в мерную колбу на 1 л и доводят до метки этой же водой.

3. Раствор сегнетовой соли ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_5 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – калий-натрий винно-кислый). 50 г сухой соли растворяют в безаммиачной дистиллированной воде, переносят раствор в мерную колбочку на 100 мл и доводят до метки. Сегнетова соль часто бывает загрязнена аммиаком, поэтому следует проверять приготовленный раствор на содержание иона NH_4^+ . В случае его присутствия раствор из колбочки переливают в стакан емкостью 200 мл, прибавляют немного (по каплям) KOH или NaOH (до щелочной реакции) и после этого реактив кипятят до начала образования корки солей на стенках стакана. Раствор охлаждают, вновь переливают в мерную колбочку на 100 мл и разбавляют дистиллированной безаммиачной водой до прежнего объема.

4. Реактив Несслера. Используют готовый реактив. Перед работой проводят тест на пригодность реактива к анализу: к 10 мл безаммиачной дистиллированной воды прибавить 0,5 мл рабочего раствора с концентрацией 0,01 мг/мл NH_4^+ и 0,5 мл реактива Несслера. Если через минуту появится буроватая окраска, то реактив годен к анализу. Реактив хранится в емкостях из темного стекла. Цвет реактива светло-желтый.

5. Толуол C_7H_8 в капельнице.

***4.7.10. Определение нитратного азота
в торфе дисульфифеноловым методом***

Ход анализа:

На технических весах взвешивают 5 г торфа измельченного и просеянного через сито с отверстиями диаметром 1 мм и помеща-

ют в колбу объемом 500 мл. Приливают цилиндром 250 мл безаммиачной дистиллированной воды и взбалтывают на ротаторе в течение 3 мин по песочным часам. Если торф сухой, то смесь можно оставить для смачивания на ночь, добавив несколько капель толуола. Вытяжку фильтруют через плотный складчатый фильтр, предварительно промытый горячей безаммиачной водой, стараясь перенести максимальное количество торфа на фильтр. Первые порции отбрасывают. Фильтрат должен быть прозрачным.

Берут пипеткой 10–50 мл прозрачного фильтрата, помещают в фарфоровые чашки объемом 100 мл и выпаривают досуха на водяной бане. Рекомендуется следить, чтобы не происходило пересушивания сухого остатка, чтобы избежать потери нитратов. Чашки снимают с водяной бани и осадок досушивают на воздухе.

После охлаждения в чашки приливают пипеткой 1 мл дисульфогеноловой кислоты и тщательно растирают сухой остаток небольшой стеклянной палочкой. Оставляют стоять 10 мин. Затем в каждую чашку приливают по 10–15 мл дистиллированной воды, небольшими порциями из пипетки 20%-ный раствор NaOH до появления устойчивой желтой окраски. Если раствор помутнеет, добавляют 2–3 капли щелочи, постоянно перемешивая стеклянной палочкой.

Содержимое чашек переносят в мерные колбы на 50 или 100 мл через маленькую воронку без фильтра. Хорошо обмывают чашки и стеклянные палочки безаммиачной дистиллированной водой, переливая жидкость в колбы, доводят раствор до метки, закрывают пробками и перемешивают. Раствор колориметрируют с синим светофильтром. Длина волны 400–440 нм. Содержание нитратного азота в мг/100 мл находят по калибровочному графику.

Если интенсивность окраски велика, допускается разведение. Для этого берут часть окрашенного раствора и разбавляют до нужного объема. Результаты рассчитывают с учетом разбавления.

Расчет результатов анализа:

Содержание нитратного азота рассчитывают по формуле

$$\text{мг} / 100 \text{ г N} - \text{NO}_3 = \frac{c \times 100}{m} \times K,$$

где c – концентрация по графику, мг/100 мл; m – аликвотная навеска, г; K – коэффициент для пересчета на сухую навеску.

Расчет аликвотной навески:

$$\frac{5 \text{ г} \rightarrow 250 \text{ мл}}{X \text{ г} \rightarrow 50 \text{ мл}}; X \text{ г} = \frac{5 \times 50}{250} = 1.$$

Пример вычисления содержания нитратного азота. Для определения нитратного азота взята навеска из 5 г торфа. Содержание воды в анализируемой почве равно 5,45%. Коэффициент пересчета на навеску, высушенную при 105°C, равен 1,0545. Содержание нитратного азота по калибровочному графику составляет 0,04 мг/100 мл:

$$\text{мг} / 100 \text{ г N} - \text{NO}_3^- = \frac{0,04 \times 100}{1} \times 1,0545 = 4,22.$$

Форма записи результатов:

| Горизонт, глубина, см | № колбы | Навеска торфа, г | Объем H ₂ O, мл | Объем аликвотной выжимки, мл | Аликвотная навеска, г | Оптическая плотность (D) | Концентрация по графику (C), мг/100 мл | Коэффициент для пересчета на сухую почву | Нитратный азот (N) мг/100 г почвы |
|-----------------------|---------|------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|--|--|-----------------------------------|
| T ₁ (0–10) | 1 | 5 | 250 | 50 | 1 | 0,45 | 0,04 | 1,0545 | 4,22 |

Реактивы:

1. Дисульфифеноловая кислота. Взвешивают 3 г чистого фенола, помещают в колбу емкостью 100 мл, приливают 20 мл концентрированной H₂SO₄ (удельный вес 1,84), закрывают корковой пробкой со стеклянной трубкой длиной 50–55 см, которая служит обратным холодильником.

Конец трубки в пробке должен находиться на уровне ее нижней поверхности, чтобы сгущающиеся пары воды стекали по стенкам колбы, а не падали каплями в реактивную смесь. Содержимое хорошо перемешивают, после чего ставят на горячую водяную баню и выдерживают на ней 6 ч. Приготовленную дисульфифеноловую кислоту переливают в склянку из темного стекла с притертой пипеткой.

2. 20%-ный раствор NaOH. Взвешивают 20 г NaOH, помещают в стакан и приливают примерно 50–60 мл дистиллированной воды, непрерывно помешивая стеклянной палочкой до полного растворения. Переливают раствор в мерную колбу на 100 мл, доводят водой до метки, хорошо перемешивают.

4.7.11. Использование торфа в зависимости от результатов анализа

Торф широко применяется в сельском хозяйстве как удобрение, как составная часть различных компостов, для совместного применения с минеральными удобрениями, для приготовления торфоперегнойных горшков, мульчирования почвы, а также используется на подстилку для скота. Внесение торфа в почву способствует повышению содержания органического вещества и других веществ, необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов и растений. Использование большинства видов торфа в чистом виде на удобрение неэффективно и экономически нецелесообразно.

Верховой и переходный типы торфа (осоковые, сфагновые, осоково-сфагновые) со степенью разложения ниже 25%, зольностью 10–15%, влажностью 50% используются для подстилки животным, птицам с последующим использованием на удобрение в виде торфяного навоза. Эти же типы торфа, но со степенью разложения свыше 25% и рН меньше 5, целесообразно использовать для торфофосфоритных и торфоизвестковых компостов. Обычно они содержат Fe_2O_3 меньше 1%, P_2O_5 – меньше 0,2% и золы – меньше 7%.

Переходные и низинные типы торфа (осоковые, тростниковые, древесные и др.) со степенью разложения свыше 25% и рН ниже 5 используют для приготовления торфозольных компостов. На приготовление торфосуперфосфатных гранулированных удобрений, торфонавозных и других компостов, а также смесей с органическими компонентами и фосфоритной мукой идут все виды торфа со слабой степенью разложения и кислотностью, содержащие F_2O_3 и CaO не более 6%. Все типы торфа с содержанием CaO свыше 6% целесообразнее использовать в качестве известковых удобрений.

Торф с примесью вивиатина (P_2O_5) используется в качестве фосфорного удобрения.

Для приготовления рассадных горшков лучше использовать низинный или переходной торф с нейтральной или слабокислой реакцией, степенью разложения 30–40% и зольностью 3–15%.

Для использования торфа на удобрение без предварительного компостирования подходит лишь сильно разложившийся низинный высокозольный торф, богатый известью или фосфором.

Непосредственно на удобрение используют торф, имеющий рН солевой вытяжки более 5,5, зольностью выше 10%, содержание СаО более 4%, степенью разложения не менее 40–50%. Торф, предназначенный для непосредственного удобрения, после добычи тщательно проветривают с целью устранения избыточной влажности и окисления содержащихся в нем закисных соединений.

Подсушенный торф в чистом виде является очень хорошим материалом для мульчирования, особенно при выращивании плодовых, ягодных и овощных культур. Цель мульчирования заключается в поддержании в верхнем слое почвы лучших условий водного, воздушного, пищевого и температурного режимов, а также предотвращения образования почвенной корки и развития сорной растительности.

Контрольные вопросы к параграфу

1. В каких условиях происходит формирование торфа?
2. Какие условия увлажнения необходимы для образования торфа?
3. На какие типы делятся болота по условиям их образования?
4. Что лежит в основе выделения типа торфа?
5. Какие условия формирования характерны для образования переходного торфа?
6. В каких условиях образуется низинный торф?
7. Какие свойства характерны для торфа, содержащего остатки травянистой растительности?
8. Какие вещества торфа легче разлагаются микроорганизмами?
9. Какой торф используют для приготовления компостов?

10. Какого элемента питания содержится в торфе больше всего?
11. Какие минеральные удобрения следует добавлять к торфу для улучшения его свойств?
12. Какие зольные элементы торфа имеют наибольшее агрономическое значение?
13. Какой торф лучше поглощает жидкую фракцию навоза и адсорбирует аммиак?
14. Какой торф является низкозольным?
15. Какой торф имеет высокую зольность?
16. В форме каких соединений содержатся элементы питания в торфе?
17. Какой торф больше содержит фосфора. В какой форме он содержится?
18. Сколько азота содержится в верховом и низинном торфе?
19. Какой торф имеет наибольшую зольность?
20. Для какой цели определяют содержание кальция в торфе?
21. Для каких целей используется торф?
22. Что следует сделать перед внесением торфа в почву?
23. От чего зависят удобрительные свойства торфа?
24. Какой торф можно вносить непосредственно в почву?
25. Какой торф можно использовать в качестве подстилки для животных?
26. Для какой цели определяют содержание кальция в торфе?
27. Какой торф содержит большое количество кальция?
28. Какой торф имеет кислую реакцию среды?
29. Какие признаки положены в основу определения степени разложения торфа?
30. Для каких целей определяют количество железа в торфе?

ГЛАВА 5. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АГРОХИМИИ

5.1. Диагностика потребности растений в удобрениях

Диагностику потребности растений в удобрениях проводят разными методами: наблюдением за морфологическим состоянием растений, анализом листьев или всего растения, химическим анализом почвы и полевым опытом. Недостаток элементов питания проявляется визуально: изменяется окраска листьев, затормаживается рост растения (рис. 1–12, на вклейке) [9]. Характерные признаки недостатка элементов питания растений приведены в табл. 13.

Т а б л и ц а 13
Характерные внешние признаки сельскохозяйственных культур при недостатке основных элементов питания [15]

| Недостающий элемент | Характер роста и развития | Окраска листьев |
|---------------------|--|--|
| Азот | Угнетенный рост, короткие и тонкие стебли и побеги. Мало боковых побегов. Небольшие размеры листьев. Слабое цветение у плодовых и ягодных культур; плоды мелкие. Преждевременное созревание | Бледно-зеленая, хлоротичная, в дальнейшем листья желтеют. Появление оранжевых и красных оттенков на листьях. У кукурузы при азотном голодании средние жилки листьев и прилегающие к ним ткани желтеют и отмирают |
| Фосфор | Образование новых клеток ослабляется. Побеги и корни сильно уменьшенные. Листья мелкие. Слабое образование боковых побегов. Слабое кущение у злаковых культур. Растения имеют веретенообразный вытянутый вверх вид. Боковые почки могут отмирать или оставаться спящими. Фазы развития растений, особенно цветение и созревание, запаздывают на 5–10 сут | Голубоватая, темно-зеленая, тусклая. Появляются красные, пурпурные (фиолетовые), бронзовые оттенки. Засыхающие листья имеют темный, иногда почти черный цвет. Граница отмершей ткани на листьях резко выражена |

| Недостающий элемент | Характер роста и развития | Окраска листьев |
|---------------------|---|---|
| Калий | Угнетенный рост, укороченные междоузлия. Усиленное кущение при малом числе плодоносящих стеблей у злаковых культур. Преждевременное отмирание ботвы у картофеля. Неровное созревание плодов | Голубовато-темно-зеленая, тусклая, появление в окраске листьев бронзовых оттенков. Пожелтение, побурение и отмирание тканей по краям листьев (краевой ожог, «запал» листьев), а затем и между жилками |
| Магний | Запаздывание в фазах развития растений. Недозревание плодов. Ботва картофеля преждевременно засыхает, листья опадают | Хлороз, поражающий в основном края и центральную часть листа, часто с сохранением между ними зеленой полосы |
| Кальций | Замедленный рост растений. Повреждение и отмирание верхушечных почек и корешков. Сильная разветвленность корней. Образование розеток мелких листьев | Хлоротичность. Появление белых полос по краям листа (репа, капуста). У гороха появляются красные пятна |
| Сера | Замедленный рост стебля и корней в толщину. У томатов стебли несколько удлиняются | Бледно-зеленая окраска листовой пластинки и жилок без отмирания ткани |
| Марганец | При длительном недостатке растения отстают в росте | Хлороз между жилками листа, часто пятнистость листьев. Жилки листьев остаются зелеными, что придает листу пестрый вид |
| Цинк | Укороченные междоузлия | Пожелтение или пятнистость листьев. Появление в окраске листьев бронзовых оттенков. Очень бледная окраска молодых листьев кукурузы (белые ростки) |
| Железо | При остром недостатке отмечают замедление роста, отмирание верхушечных побегов | Равномерный хлороз между жилками листа. Бледно-зеленая или желтая окраска листьев без отмирания ткани |
| Бор | Отмирание верхушечных почек и корешков. Усиленное развитие боковых побегов, растение приобретает кустовую форму | Приобретают бледно-зеленую окраску |

| Недостающий элемент | Характер роста и развития | Окраска листьев |
|---------------------|---|--|
| Молибден | Острый недостаток молибдена вызывает отмирание точки роста у томатов, цветной капусты и других растений | У бобовых культур меняется окраска всего листа |
| Медь | Слабый рост | Хлороз, появление белой окраски кончиков листьев. Потеря тургора |

Недостаточное количество макро- и микроэлементов в почве можно восполнить путем внесения необходимого количества минеральных удобрений.

При разработке системы применения удобрений составляют проект, в котором находят отражение все необходимые материалы, расчеты, обоснования:

- характеристика земельных угодий хозяйства;
- особенности метеорологических условий;
- агрохимическая характеристика почв;
- баланс питательных веществ в почве;
- мероприятия по химической мелиорации почв;
- планируемая продуктивность посевов с учетом применения удобрений и потребности сельскохозяйственных культур в питательных веществах;
- планируемый урожай и средний фактический урожай каждой культуры севооборота за последние 3–5 лет;
- потребность культур в удобрениях;
- технология применения удобрений и т.д.

5.2. Расчет запасов гумуса и питательных элементов в почве

Для определения уровня плодородия почвы и правильного расчета дозы удобрений, необходимо знать содержание гумуса, валовых и подвижных форм питательных элементов в пахотном горизонте или корнеобитаемом слое [16].

5.2.1. Расчет запасов гумуса в почве

Количество гумуса, валовых форм питательных элементов выражают в процентах на абсолютно сухую или воздушно-сухую навеску почвы и рассчитывают в слое 0–20, 0–50 или 0–100 см почвы, используя формулу

$$\text{т / га } C = m \times d \times h,$$

где C – количество гумуса или валовых форм питательных элементов в слое, т/га; m – содержание гумуса или валовых форм питательных элементов, выраженное в % на сухую почву; d – плотность сложения почвы, г/см³; h – слой почвы, см.

Если нет данных о плотности сложения почвы, можно использовать в расчетах усредненную объемную массу слоя 3 000 т/га. Тогда для расчета запасов гумуса и валовых форм питательных элементов будет использоваться формула

$$\text{т / га } C = 30 \times m,$$

где m – содержание гумуса или валовых форм питательных элементов, выраженное в % на сухую почву.

5.2.2. Расчет запасов доступных растениям питательных элементов почвы

При агрохимической характеристике почв по содержанию доступных элементов почвы для питания растений используют результаты анализов, выраженные в мг/100 г почвы или в мг/1 000 г почвы. Запасы их в почве для расчета доз удобрений принято измерять в кг/га.

Если количество питательных элементов выражено в мг/100 г почвы, то запасы вычисляют по формуле

$$\text{кг / га } C = \frac{m \times d \times h}{10},$$

где C – запас питательного вещества в слое, кг/га; m – содержание питательного вещества, выраженное в мг/100 г почвы; d – плотность сложения почвы, г/см³; h – пахотный слой почвы, см.

Если количество питательных элементов выражено в мг/1 000 г почвы, то запасы вычисляют по формуле

$$т / га C = m \times d \times h.$$

5.3. Расчет доз удобрений

Система удобрения взаимосвязана с широким комплексом агротехнических мероприятий, направленных на борьбу с сорной растительностью, вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур, создание оптимального воздушного режима почвы, защиту от проявления эрозионных процессов и др. При недостаточном количестве или полном отсутствии органических удобрений, необходимо предусматривать выращивание сидеральных культур, а также размещение в севообороте многолетних бобовых трав и применение соломы [17].

В настоящее время для планирования урожая применяются следующие подходы: балансовый и статистический. Статистический метод основывается на анализе многолетних экспериментальных данных полевых опытов с удобрениями.

Для расчета доз удобрений необходимо знать:

- вынос питательных веществ (кг) в расчете на 1 т основной продукции удобряемой культуры при соответствующем количестве побочной (ботвы, соломы, половы и др.);
- коэффициенты использования удобряемой культурой элементов питания из удобрений;
- содержание элементов питания в почве;
- планируемый урожай и средний фактический урожай каждой культуры севооборота за последние 3–5 лет.

5.3.1. Балансовый метод расчета доз удобрений

Метод предложен И.С. Шатиловым и М.К. Каюмовым. Согласно методу доза минерального элемента определяется по формуле

$$\text{кг / га д.в. } D_{\text{д.в.}} = \frac{100 \times B - C \times \text{КИП}}{\text{КИУ}},$$

где $D_{\text{д.в.}}$ – доза минерального удобрения, кг/га д.в.; B – вынос элемента минерального питания планируемым урожаем, кг/га д.в.; КИП – коэффициент использования питательного элемента из почвы, %; КИУ – коэффициент использования питательного элемента из удобрений, %; C – содержание в почве доступного питательного элемента, кг/га.

Далее следует рассчитать каждый показатель, который входит в формулу расчета дозы удобрения.

1. *Вынос питательного вещества вычисляют следующими способами:*

А) Расчет выноса минеральных питательных веществ урожаем (хозяйственный вынос). Хозяйственный вынос определяют по количеству абсолютно сухого вещества в урожае ($Y_{\text{с.в.}}$, ц/га) и содержанию минерального питательного вещества в абсолютно сухой массе урожая (C , %):

$$V_x = Y_{\text{с.в.}} \times C.$$

Пример расчета хозяйственного выноса азота урожаем ячменя. Урожай сухого вещества зерна ($Y_{\text{с.в1}}$) – 28 ц/га; соломы ($Y_{\text{с.в2}}$) – 34 ц/га; мякины ($Y_{\text{с.в3}}$) – 2,8 ц/га. Содержание сухого вещества в зерне (C_1) – 3,6 %, соломе (C_2) – 0,6%, мякине (C_3) – 0,7%:

$$V_z = 28 \times 3,6 = 100,8 \text{ кг};$$

$$V_c = 34 \times 0,6 = 20,4 \text{ кг};$$

$$V_m = 2,8 \times 0,7 = 1,96 \text{ кг};$$

$$V_x = 100,8 + 20,4 + 1,96 = 123,16 \text{ кг}.$$

Абсолютно сухое вещество урожая ($Y_{\text{с.в.}}$, ц/га) вычисляют по формуле

$$\text{ц / га } Y_{\text{с.в.}} = \frac{Y \times (100 - W)}{100},$$

где Y – величина урожая при естественной влажности, ц/га; W – влажность урожая, %.

Б) Для расчета биологического выноса элемента питания нужно еще рассчитать вынос элемента стерневыми остатками и корневой системой растения. Произвести аналогичные действия и рассчитать сумму.

2. Расчет содержания питательного вещества в почве.

Если количество питательных элементов выражено в мг/100 г почвы, то его запасы в пахотном слое вычисляют по формуле

$$\text{кг / га } C = \frac{m \times d \times h}{10},$$

где C – запас питательного вещества в слое, кг/га; m – содержание питательного вещества, выраженное в мг/100 г почвы; d – плотность сложения почвы, г/см³; h – пахотный слой почвы, см.

3. Коэффициент использования питательного элемента из почвы (K_n), %.

А) Коэффициент использования питательных элементов из естественных запасов почвы (КИП) рассчитывают по формуле

$$\text{КИП} = \frac{B_6}{C},$$

где B_6 – вынос питательного вещества биомассой, кг/га; C – содержание питательного вещества в почве, кг/га.

Б) Коэффициент использования питательных элементов из почвы в варианте с удобрениями рассчитывают, условно принимая, что прибавка урожая растений создается только за счет дополнительного питания из удобрений. КИП рассчитывают по формуле

$$\text{КИП} = \frac{B_y \times (Y - П)}{Y \times C},$$

где B_y – общий вынос элементов питания биомассой растений в исследуемом варианте, кг/га; Y – урожай основной продукции, ц/га; C – содержание питательного вещества в почве, кг/га; $П$ – прибавка урожая основной продукции, ц/га.

Пример вычисления. Рассчитать коэффициент использования картофелем фосфора из почвы, если вынос P_2O_5 биомассой карто-

феля (B_y) составил 24 кг/га, урожай картофеля (Y) 260 ц/га, что на 40 ц/га больше, чем в контрольном варианте без применения удобрений (Π). В почве содержалось (C) 320 кг/га доступного растениям фосфора. КИП составляет

$$\text{КИП} = \frac{24 \times (260 - 40)}{260 \times 320} = 0,06.$$

4. Коэффициент использования питательного элемента из удобрений (КИУ), %.

Коэффициент использования питательных веществ из удобрений (КИУ) – условная величина. Она зависит от содержания элементов питания в почве, физико-химических свойств почвы, ее увлажнения в период вегетации растений, температурных условий, биологических свойств высеваемых видов и сортов сельскохозяйственных культур:

$$\text{КИУ} = \frac{B_y - B_k}{D},$$

где B_y – общий вынос элементов питания биомассой растений в исследуемом варианте, кг/га; B_k – общий вынос элементов питания биомассой растений в контрольном варианте, кг/га; D – доза питательного вещества, внесенного с удобрением, кг/га.

Процент использования питательного элемента растениями (ПЭУ) рассчитывают по формуле

$$\text{ПЭУ} = \frac{B_y \times \Pi \times 100}{Y \times D},$$

где ПЭУ – показатель эффективности использования растениями питательного элемента из удобрений, % (по Прокошеву); B_y – общий вынос элементов питания биомассой растений в исследуемом варианте, кг/га; Y – урожай основной продукции, ц/га; Π – прибавка урожая основной продукции, ц/га; D – доза питательного вещества в удобрении, кг/га.

Пример вычисления показателя эффективности фосфорного удобрения (%). Внесли удобрение, содержащее P_{60} , при урожае кар-

тофеля (У) 260 ц/га, вынос фосфора биомассой составил (V_y) 24 кг/га, прибавка урожая по отношению к контролю равна (П) 40 ц/га:

$$\text{ПЭУ} = \frac{24 \times 40 \times 100}{260 \times 60} = 6,15\%.$$

5.3.2. Расчет количества удобрения в физической массе

Рассчитанную дозу удобрения в действующем веществе переводят в общее количество удобрения, т.е. уточненную:

$$D_{\text{ф.м}} = \frac{D_{\text{д.в.}}}{D},$$

где $D_{\text{ф.м}}$ – количество удобрения в физической массе, ц/га; $D_{\text{д.в.}}$ – рассчитанное количество удобрения, д.в., кг/га; D – содержание действующего вещества в удобрении, %.

Пример вычисления. Рассчитать, сколько требуется внести двойного суперфосфата, если расчетная доза составляет 90 кг д.в.:

$$D_{\text{ф.м}} = \frac{90}{45} = 2,0 \text{ ц/га.}$$

5.3.3. Расчет доз удобрений в севообороте

Удобрения вносят под сельскохозяйственные культуры в определенной системе с учетом видов удобрений, сроков внесения и местных агрометеорологических условий. Важно обеспечить наивысшую эффективность использования питательных веществ растениями для создания планируемого урожая. При определении норм удобрений используют результаты научных и опытных учреждений, агрохимической службы, средние, многолетние и прогнозные сведения о климатических условиях. Данные этих материалов (с учетом коэффициентов использования питательных веществ из

внесенных удобрений и из почвенных запасов) позволяют правильно рассчитать дозы удобрений под конкретные культуры и по севообороту в целом с учетом выноса питательных веществ запланированным урожаем. Расчет можно произвести разными способами.

1. *Пример вычисления.* Необходимо рассчитать, сколько требуется удобрения для получения урожая сахарной свеклы 300 ц с 1 га. В таком урожае содержится 177 кг N, 54 кг P₂O₅ и 225 кг K₂O. Эти питательные элементы свекла должна получить из почвы, минеральных и органических удобрений.

На основании агрохимических исследований выявлено, что в почве содержится 300 кг K₂O и 120 кг P₂O₅. Если ориентировочно принять, что пропашные культуры из почвенных запасов используют подвижного калия 30% и фосфора 10%, то для получения запланированного урожая сахарная свекла должна получить из почвы $\frac{300 \times 30}{100} = 90$ кг K₂O и $\frac{120 \times 10}{100} = 12$ кг P₂O₅. Следовательно, в дополнение к имеющимся в почве надо внести с удобрениями еще 135 кг (225–90) K₂O и 42 кг (54–12) P₂O₅.

Так как хозяйство планирует внести на 1 га посева по 20 т навоза, то это даст 40 кг K₂O и 20 кг P₂O₅. Остальное нужно пополнить минеральными удобрениями. Если принять во внимание, что в первый год из удобрения будет использовано калия 70%, а фосфора 20%, то в почву надо внести 137 кг K₂O и 110 кг P₂O₅. Согласно полевым опытам из азотных удобрений под свеклу лучше вносить аммиачную селитру. На таком фоне рекомендуется доза 3,5–4,0 ц/га.

Рассчитаем, какое количество удобрений в физической массе необходимо внести, если учесть, что в хозяйстве из калийных удобрений есть хлористый калий (60% д.в.), из фосфорных – двойной суперфосфат (45% д.в.).

Таким образом, для получения запланированного урожая сахарной свеклы необходимо внести $\frac{137}{60} = 2,28$ ц / га хлористого калия и

$\frac{110}{45} = 2,44$ ц / га двойного суперфосфата.

2. Рассчитать содержание конкретного элемента в планируемом урожае можно путем использования данных химического состава растений или материалов научных учреждений о выносе питательных веществ растениями в расчете на единицу их урожая. В табл. 14 приведены сведения разных авторов о содержании основных элементов питания в сельскохозяйственных культурах.

Таблица 14

Содержание основных элементов питания в различных сельскохозяйственных растениях (в % на воздушно-сухое вещество; для корне- и клубнеплодов, овощных культур и зеленой кормовой массы – на сырое вещество) [15]

| Культура | Вид продукции | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|-----------------|---------------|-----------|-------------------------------|------------------|
| Пшеница яровая | Зерно | 2,00–3,00 | 0,85 | 0,60–0,90 |
| | Солома | 0,60 | 0,20 | 0,75–1,00 |
| Рожь озимая | Зерно | 1,60 | 0,85 | 0,60 |
| | Солома | 0,45 | 0,26 | 1,00 |
| Пшеница озимая | Зерно | 2,00–2,50 | 0,85–1,00 | 0,50–0,80 |
| | Солома | 0,50 | 0,20 | 0,90–1,00 |
| Ячмень яровой | Зерно | 1,90 | 0,85 | 0,55 |
| | Солома | 0,50 | 0,20 | 1,00 |
| Овес | Зерно | 2,10 | 0,85 | 0,50 |
| | Солома | 0,65 | 0,35 | 1,60 |
| Просо | Зерно | 1,85 | 0,65 | 0,50 |
| | Солома | 0,60 | 0,18 | 1,59 |
| Гречиха | Зерно | 1,80 | 0,57 | 0,27 |
| | Солома | 0,80 | 0,61 | 2,42 |
| Горох | Зерно | 4,50 | 1,00 | 1,25 |
| | Солома | 1,4 | 0,35 | 0,50 |
| Соя | Зерно | 5,80 | 1,04 | 1,26 |
| | Солома | 1,20 | 0,31 | 0,50 |
| Вика яровая | Зерно | 4,55 | 0,99 | 0,80 |
| | Солома | 1,40 | 0,27 | 0,65 |
| Бобы кормовые | Зерно | 4,08 | 1,21 | 1,29 |
| | Солома | 1,25 | 0,29 | 1,94 |
| Лен | Семена | 4,00 | 1,35 | 1,00 |
| | Солома | 0,62 | 0,42 | 0,97 |
| Горчица | Семена | 4,5 | 1,46 | 0,59 |
| Сахарная свекла | Корнеплоды | 0,24 | 0,08 | 0,25 |
| | Ботва | 0,35 | 0,10 | 0,50 |
| Свекла кормовая | Корнеплоды | 0,19 | 0,07 | 0,42 |
| | Ботва | 0,30 | 0,08 | 0,25 |

| Культура | Вид продукции | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|----------------------|---------------|------|-------------------------------|------------------|
| Картофель | Клубни | 0,32 | 0,14 | 0,60 |
| | Ботва | 0,30 | 0,16 | 0,85 |
| Турнепс | Корнеплоды | 0,18 | 0,08 | 0,29 |
| | Ботва | 0,30 | 0,09 | 0,28 |
| Брюква | Корнеплоды | 0,21 | 0,11 | 0,35 |
| | Ботва | 0,34 | 0,20 | 0,42 |
| Морковь кормовая | Корнеплоды | 0,18 | 0,11 | 0,40 |
| | Ботва | 0,34 | 0,08 | 0,60 |
| Морковь | Корнеплоды | 0,23 | 0,13 | 0,38 |
| Капуста белокочанная | Кочаны | 0,93 | 0,90–1,20 | 0,27–0,44 |
| Лук репчатый | Луковицы | 0,30 | 0,11–0,40 | – |
| Томат | Плоды | 0,26 | 0,07 | 0,29–0,36 |
| Огурец | Плоды | – | – | 0,22 |
| Люцерна | Сено | 2,60 | 0,65 | 1,50 |
| Клевер красный | Сено | 1,97 | 0,56 | 1,50 |
| Клевер белый | Сено | 2,32 | 0,78 | 1,31 |
| Вика яровая | Сено | 2,27 | 0,62 | 1,00 |
| Тимофеевка | Сено | 1,55 | 0,70 | 2,04 |
| Эспарцет | Сено | 2,50 | 0,46 | 1,30 |

В табл. 15 представлены обобщенные сведения научных учреждений о примерных показателях выноса питательных элементов сельскохозяйственными растениями в расчете на единицу урожая.

Таблица 15

Примерный вынос N, P₂O₅ и K₂O с урожаем различных культур [15]

| Культура | Основная продукция | Отношение основной продукции к побочной | Вынос 1 т основной продукции, кг | | |
|----------------|--------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|------------------|
| | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Озимая пшеница | Зерно | 1,0:2,0 | 37,0 | 13,0 | 23,0 |
| Яровая пшеница | Зерно | 1,0:1,6 | 47,0 | 12,0 | 18,0 |
| Озимая рожь | Зерно | 1,0:2,0 | 31,0 | 14,0 | 26,0 |
| Овес | Зерно | 1,0:1,5 | 33,0 | 14,0 | 29,0 |
| Ячмень | Зерно | 1,0:1,4 | 29,0 | 11,0 | 20,0 |
| Просо | Зерно | 1,0:1,8 | 33,0 | 10,0 | 34,0 |
| Кукуруза | Зерно | 1,0:2,0 | 34,0 | 12,0 | 37,0 |
| Гречиха | Зерно | 1,0:1,5 | 30,0 | 15,0 | 40,0 |
| Горох | Зерно | 1,0:1,5 | 66,0 | 16,0 | 20,0 |
| Люпин | Зерно | 1,0:2,0 | 68,0 | 19,0 | 47,0 |

| Культура | Основная продукция | Отношение основной продукции к побочной | Вынос 1 т основной продукции, кг | | |
|----------------------|--------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|------------------|
| | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Вика | Зерно | 1,0:1,2 | 65,0 | 14,0 | 16,0 |
| Лен-долгунец | Семена | 1,0:8,0 | 106,0 | 53,0 | 93,0 |
| | Волокно | 1,0:6,0 | 80,0 | 40,0 | 70,0 |
| Сахарная свекла | Корнеплоды | 1,0:1,0 | 5,9 | 1,8 | 7,5 |
| Картофель | Клубнеплоды | 1,0:1,0 | 6,2 | 2,0 | 14,5 |
| Клевер красный | Сено | – | 19,7 | 5,6 | 15,0 |
| Люцерна | Сено | – | 26,0 | 6,5 | 15,0 |
| Тимофеевка | Сено | – | 15,5 | 7,0 | 24,0 |
| Капуста белокочанная | Кочан | – | 3,3 | 1,3 | 4,4 |
| Морковь столовая | Корнеплоды | – | 3,2 | 1,3 | 5,0 |
| Томат | Плоды | – | 2,6 | 0,4 | 3,6 |
| Огурец | Плоды | – | 1,7 | 1,4 | 2,6 |
| Лук | Луковицы | – | 3,0 | 1,2 | 4,0 |

При расчете количества удобрений под сельскохозяйственные культуры с использованием усредненных данных, представленных в табл. 14 и 15, должны быть уточнены местные почвенно-климатические условия, агротехника, биологические особенности культур.

Этот же расчет можно произвести другим способом. Сначала устанавливают потребность в элементах питания для получения планируемого урожая каждой культуры, затем полученный урожай умножают на поправку, учитывающую содержание этого элемента в почве. В табл. 16 приведены сведения для дерново-подзолистых и серых лесных почв. Размер поправки для различных типов почв значительно различаются.

При разработке системы удобрения сельскохозяйственных культур необходимо учитывать внесение органических удобрений, оказывающих большое влияние не только на пополнение почвы питательными элементами, но и улучшение физических и физико-химических свойств почвы.

На основе многолетних полевых опытов научно-исследовательскими учреждениями рассчитаны средние нормы удобрений

под основные сельскохозяйственные культуры. Приведем пример для районов Западной Сибири (табл. 17).

Таблица 16

Примерные поправки к средним дозам удобрений, рекомендуемых научно-исследовательскими учреждениями под различные культуры в зависимости от содержания подвижных форм калия и фосфора в почвах (в долях от рекомендуемой средней дозы [15])

| Содержание в почве питательных веществ | Зерновые колосовые | Зернобобовые и травы | Лен | Пропашные | Овощные |
|--|--------------------|----------------------|-----------|---|----------------|
| <i>Фосфора</i> | | Фосфорные удобрения | | | |
| Очень низкое | 1,33–1,50 | 1,33–1,50 | 1,33 | Необходимо предварительное окультуривание | |
| Низкое | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,25–1,33 | Окультуривание |
| Среднее | 0,67–0,75 | 0,67–0,75 | 0,67–0,75 | 1,00 | 1,25–1,50 |
| Высокое | Не вносят | Не вносят | 0,20–0,25 | Рядковое | 0,66–0,75 |
| <i>Калия</i> | | Калийные удобрения | | | |
| Очень низкое | 1,33–1,50 | 1,33–1,50 | 1,50–2,00 | 1,50–2,00 | 1,50–2,00 |
| Низкое | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,33–1,50 | 1,33–1,50 |
| Среднее | 0,66–0,75 | 0,75–1,00 | 0,75–1,00 | 1,00 | 1,00–1,33 |
| Высокое | Не вносят | 0,50–0,66 | 0,66 | 0,50 | 0,66–0,75 |

Таблица 17

Средние нормы удобрений под основные сельскохозяйственные культуры почвенно-климатическим районам Западной Сибири [15]

| Зона | Почва | Культура | Органические удобрения | Минеральные удобрения | | |
|--------------------|-----------------------|-------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|
| | | | т/га | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Тайга и подтайга | Дерново-подзолистая | Зерновые | – | 60 | 60 | 60 |
| | | Озимая рожь | 20 | 60 | 60 | 60 |
| | | Пропашные | 20 | 70 | 70 | 60 |
| | | Овощные | 30–40 | 80 | 90 | 80 |
| | Серые лесные | Зерновые | – | 40 | 40 | 40 |
| | | Озимая рожь | 20 | 40 | 40 | 40 |
| | | Пропашные | 20 | 50 | 60 | 40 |
| Северная лесостепь | Чернозем выщелоченный | Зерновые | – | 40 | 60 | 30 |
| | | Озимая рожь | 15–20 | 40 | 60 | 30 |
| | | Пропашные | 20 | 60 | 60 | 40 |
| | | Овощные | 30 | 70 | 80 | 60 |

| Зона | Почва | Культура | Органические удобрения | Минеральные удобрения | | |
|-----------------|--|-----------|------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|
| | | | т/га | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| | | | | кг/га | | |
| Южная лесостепь | Черноземы обыкновенные и солонцеватые | Зерновые | – | 30 | 60 | |
| | | Пропашные | 15–20 | 40 | 60 | 30 |
| | | Овощные | 20–30 | 60 | 60 | 40 |
| Степь | Черноземы южные, обыкновенные, карбонатные | Зерновые | – | 30 | 60 | 20 |
| | | Пропашные | 15–20 | 40 | 40 | 20 |
| | | Овощные | 20–30 | 50 | 60 | 20 |

При определении конкретных доз удобрений под различные культуры необходимо учитывать результаты агрохимических исследований и картограмм, градации обеспеченности растений питательными элементами. С этой целью вносятся поправочные коэффициенты к рекомендуемым средним дозам (табл. 18).

Т а б л и ц а 18

Поправочные коэффициенты к средним дозам удобрений в зависимости от обеспеченности растений фосфором и калием [15]

| Обеспеченность растений фосфором и калием | Зерновые | | Кукуруза | | Овощные культуры, картофель | |
|---|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| | P ₂ O ₅ | K ₂ O | P ₂ O ₅ | K ₂ O | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Очень низкая | 1,4–1,5 | 1,4–1,5 | 1,5–1,6 | 1,5–1,6 | Не возделывают | |
| Низкая | 1,0 | 1,0 | 1,3–1,4 | 1,3–1,4 | 1,4–1,6 | 1,4–1,7 |
| Средняя | 0,7 | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Высокая | В рядки | 0,6–0,7 | 0,6–0,7 | 0,6–0,7 | 0,7–0,8 | 0,7–0,8 |

5.3.4. Расчет дозы азотных удобрений под планируемый урожай

Оптимальная доза азотного удобрения устанавливается для каждой культуры по данным полевых опытов и зависит от почвенно-климатической зоны. В последнее время в практике мирового земледелия для оптимизации доз азотного удобрения используются результаты агрохимического анализа, характеризующие содержание аммиачного и нитратного азота (метод N_{мин}). Существуют раз-

ные подходы для определения доз азотных удобрений по содержанию минерального азота в почве [9].

1. В первом методе $N_{\text{мин}}$ не учитывается последствие органических и минеральных удобрений, накопление азота предшествующей культурой (бобовыми), нитрификационная способность почвы и другие показатели. Считается, все растения одинаково усваивают азот из почвы и удобрений. Этот метод не считается совершенным.

2. Во втором варианте метода $N_{\text{мин}}$ определяется индекс обеспеченности почвы минеральными формами азота и по нему устанавливается степень нуждаемости культуры в азоте и азотных удобрениях. Исследованиями А.Е. Кочергина, Г.П. Гамзикова [18] установлено, что обеспеченность азотом черноземов Западной Сибири отражает только один показатель – содержание нитратного азота. Для районов Западной Сибири авторами разработана шкала потребности полевых культур в азотных удобрениях (табл. 19).

Т а б л и ц а 19

**Шкала потребности полевых культур в азотных удобрениях
в зависимости от содержания азота в почве (слой 0–40 см) [18]**

| Содержание N–NO ₃ , мг/кг | Содержание N–NO ₃ , кг/га | Обеспеченность растений азотом почвы | Потребность в удобрениях |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| 0–5 | 0–25 | Очень низкая | Очень сильная |
| 5–10 | 25–50 | Низкая | Сильная |
| 10–15 | 50–75 | Средняя | Средняя |
| >15 | >75 | Высокая | Отсутствует |

По содержанию нитратного азота (N–NO₃) ранней весной, когда не начались процессы минерализации, или поздней осенью, когда они уже прекратились, можно объективно судить о необходимости внесения азотных удобрений. Выявлено, что существует обратная связь действия азотных удобрений на урожай зерновых культур в зависимости от обеспеченности нитратным азотом. Чем меньше содержания нитратов в слое почвы 0–40 см (отбор поздней осенью или ранней весной), тем эффективнее действие азотных удобрений и выше прибавка урожая зерна.

Для расчета дозы азотных удобрений на планируемый урожай рекомендуется формула

$$\text{кг / га } D_N = \frac{B - (N_{\text{исх}} + N_{\text{тн}}) \times n}{C},$$

где D_N – доза азотного удобрения, кг/га; B – вынос азота с запланированным урожаем основной и побочной продукции, кг/га; $N_{\text{исх}}$ – содержание $N\text{-NO}_3$ в слое 0–50 см до посева, кг/га; $N_{\text{тн}}$ – азот текущей нитрификации за период вегетации сельскохозяйственных культур; n – коэффициент использования $N\text{-NO}_3$ почвы; C – коэффициент использования растениями азота минеральных удобрений (n, C – коэффициенты различны для каждой зоны).

Расчет доз азотных удобрений можно проводить балансовым методом, используя формулу

$$\text{кг / га } D_N = B - \frac{(N_{\text{мин}} \times d \times h)}{10},$$

где D_N – доза азотного удобрения, кг/га; B – вынос азота с запланированным урожаем основной и побочной продукции, кг/га; $N_{\text{мин}}$ – содержание минерального азота ($N\text{-NO}_3 + N\text{-NH}_4$), мг/кг; $\frac{d \times h}{10}$ – масса слоя почвы для перевода минерального азота почвы из мг/кг в кг/га.

Балансовый метод имеет недостатки, так как требует знания оптимальных значений показателей, которые входят в формулу. Однако используя расчет одним из методов, можно с достаточной точностью установить дозу азотного удобрения. Методом растительной диагностики возможно подкорректировать его недостаток в определенные фазы развития.

5.3.5. Расчет дозы фосфорных удобрений под планируемый урожай

Сельскохозяйственные растения нуждаются в фосфоре с начального периода роста. Фосфорные удобрения не только увеличивают урожай, но и улучшают его качество (сахаристость свеклы, крахмалистость картофеля). Эффективность фосфорных удобрений зависит от свойств почвы.

Обеспеченность почв легкорастворимыми фосфатами доступными для сельскохозяйственных культур, оценивают по показателям, приведенным в табл. 20.

Т а б л и ц а 20

**Содержание доступного фосфора в почве (мг $P_2O_5/100$ г почвы)
и обеспеченность им растений [6]**

| Обеспеченность | Содержание доступного фосфора в почве по методу | | |
|----------------|---|-----------|----------|
| | Кирсанова | Чирикова | Мачигина |
| Очень низкая | 2,5 | 2,0 | 1,0 |
| Низкая | 2,6–5,0 | 2,5–5,0 | 1,1–1,5 |
| Средняя | 5,1–10,0 | 5,1–10,0 | 1,6–3,0 |
| Повышенная | 10,1–15,0 | 10,1–15,0 | 3,1–4,5 |
| Высокая | 15,1–25,0 | 15,1–20,0 | 4,6–6,0 |
| Очень высокая | 25,0 | 20,0 | 6,0 |

При оптимизации фосфорного удобрения пользуются показателями, определяющими фосфатный режим почвы.

1. Коэффициент баланса, показывающий какую часть составляет вынос питательных веществ от внесенных с удобрениями, рассчитывают по формуле

$$K_6 = \frac{B}{D} \times 100,$$

где K_6 – коэффициент баланса; B – вынос фосфора с урожаем; D – доза внесенного фосфора.

2. Коэффициент компенсации возмещения, или интенсивность баланса. Величина обратная коэффициенту баланса:

$$K_b = \frac{D}{B} \times 100.$$

3. Дозы фосфорных и калийных удобрений рассчитываются по формуле

$$D_{P(K)} = B_{P(K)} - S_0 + C_{P(K)},$$

где $D_{P(K)}$ – доза фосфорных или калийных удобрений, кг/га; $B_{P(K)}$ – вынос фосфора или калия планируемым урожаем, кг/га; S_0 – содер-

жание фосфора или калия в органических удобрениях, кг/га; $C_{P(K)}$ – количество фосфора или калия, увеличивающее содержание этих элементов на 10 мг/кг в почвах с очень низким содержанием и на 5 мг/кг в почвах со средним содержанием питательных веществ, кг/га.

За оптимальный уровень принимается содержание подвижного фосфора в почве, при котором может достигнуто не менее 90–95% от максимального урожая, а недостающие 5–10% восполняются фосфором удобрений для компенсации выноса планируемому урожаем.

На почвах с низким естественным плодородием, а также на осушенных торфяниках обязательным приемом служит фосфоритование. При фосфоритовании в почву вносится не менее 200 кг P_2O_5 , или 1 т в физической массе. Для расчета дозы фосфоритной муки с целью повышения фосфатного уровня почвы разрешено использовать нормативы расхода питательного вещества для повышения подвижного фосфора на 1 мг/100 г почвы, разработанные во Всероссийском научно-исследовательском и проектно-технологическом институте химизации (табл. 21).

Т а б л и ц а 21

Расход питательного вещества для повышения содержания подвижного фосфора в почве на 1 мг/100 г [10]

| Почвы | Гранулометрический состав | Расход P_2O_5 |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Дерново-подзолистые | Песчаные и супесчаные | 50–60 |
| | Легко- и среднесуглинистые | 70–90 |
| | Глинистые и тяжелосуглинистые | 100–120 |
| Дерново-подзолистые глеевые | – | 150–160 |
| Серые лесные | Песчаные и супесчаные | 70–80 |
| | Легко- и среднесуглинистые | 90–100 |
| | Глинистые и тяжелосуглинистые | 120–140 |
| Черноземы оподзоленные и выщелоченные | Песчаные и супесчаные | 80–90 |
| | Легко- и среднесуглинистые | 90–100 |
| | Глинистые и тяжелосуглинистые | 100–120 |

Дозу фосфоритной муки определяют по формуле

$$D = (П - Ф) \times C,$$

где D – доза P_2O_5 , кг/га; P – планируемый уровень содержания P_2O_5 , мг/100 г почвы; F – фактическое содержание P_2O_5 , мг/100 г почвы; C – расход P_2O_5 для повышения его содержания на 1 мг/100 г почвы.

Пример расчета. Почва дерново-подзолистая супесчаная; pH 4,5; фактическое содержание подвижного фосфора 3,8, планируемое – 8,5 мг/100 г почвы. Доза фосфоритной муки составляет:

$$D = (8,5 - 3,8) \times 60 = 282 \text{ кг } P_2O_5/\text{га}.$$

5.3.6. Расчет количества удобрений под древесные культуры

На упаковках с минеральными удобрениями имеется маркировка с указанием названия удобрения, его химического состава и содержания действующего вещества. В азотных удобрениях действующим веществом является азот (N), в фосфорных – фосфор (P_2O_5), в калийных – калий (K_2O), в извести – кальций (CaO) и магний (MgO), в медных – медь (Cu), в борных – бор (B) и т.д. В азотном удобрении в каждом 100 кг мочевины (карбамид) содержится 46 кг азота, в каждом 100 кг нитроаммофоса – по 23 кг азота и фосфора и в каждом 100 кг нитроаммофоски – по 16 кг азота и фосфора и 18 кг калия.

Рекомендуемые дозы минеральных удобрений выражаются в расчете на действующее вещество, но иногда в литературе (рекомендациях) обозначают дозы в г/м². Например, в рекомендации указано, что под растения необходимо внести 10 г азота на 1 м². Для определения требуемого количества удобрения, например, мочевины используют формулу

$$D_{CO(NH_2)_2} = \frac{10 \times 100}{46} = 21,74 \text{ (г)},$$

где 46 – содержание азота в мочеvine, %.

Следовательно, для внесения 10 г азота на 1 м² требуется 21,74 г мочевины. Аналогично рассчитывают дозы для всех видов и форм минеральных удобрений.

Расчет дозы комплексных минеральных удобрений проводят, как правило, по азоту или по тому элементу, который содержится в максимальном количестве (например, аммофос – по фосфору), а затем определяют количество элементов питания, входящих в состав данного удобрения, которое будет вноситься с рассчитанной по азоту дозой, и в случае необходимости – количество тех элементов, которое потребуется внести дополнительно в виде простых удобрений.

Пример вычисления. Под растения необходимо внести 10 г азота, 15 г фосфора и 15 г калия на 1 м² на площади 10 м². Из удобрений имеется нитроаммофоска марки «А» с содержанием по 17% азота, фосфора и калия. Чтобы внести 10 г азота на 1 м², потребу-

ется $D_{\text{уд}} = \frac{10 \times 100}{17} \times 10 = 588,23$ г удобрения. С этим удобрением

на 1 м² почвы будет внесено, кроме 10 г азота, по 10 г фосфора и калия. Недостающие 5 г фосфора и калия можно внести в виде простых форм удобрений, добавив двойного суперфосфата

$D_{\text{суп}} = \frac{5 \times 100}{42} \times 10 = 119,05$ г и $D_{\text{КСИ}} = \frac{5 \times 100}{60} \times 10 = 83,33$ г хлористого калия.

Полученную смесь следует тщательно перемешать и равномерно распределить на площади 10 м².

Под плодовые культуры минеральные удобрения вносят перед обработкой, причем у штамба мельче, а к периферии глубже, чтобы не повредить корни.

При подкормке необходимое количество минеральных удобрений (в основном азотных) растворяют в большом количестве воды и этим раствором поливают участок. Важно отметить, что чем в большем количестве воды будет растворено минеральное удобрение, тем равномернее оно будет распределено по участку. Если между рядами в саду заняты, удобрения вносят под деревья на площади, равной проекции кроны, которую определяют по формуле

$$S_{\text{кроны}} = \pi r^2,$$

где $S_{\text{кроны}}$ – площадь проекции кроны; π – постоянная величина, 3,14; r – радиус проекции кроны.

Так, под смородину, крыжовник, малину и другие кустарники удобрения вносят под крону по кругу диаметром 1,5–2 м или полосой шириной 0,7–1,0 м вдоль ряда.

При определении дозы вносимых удобрений необходимо учитывать уровень обеспеченности почвы питательными элементами, в первую очередь фосфором и калием. Определить уровень обеспеченности (высокий, повышенный, средний или низкий) почвы питательными элементами можно только ее анализом в агрохимической лаборатории. На основании такого анализа в соответствии с имеющимися градациями определяется доза удобрений. Рекомендуемые в специальной литературе дозы удобрений даются в расчете на средний или высокий уровень обеспеченности почвы фосфором и калием. При высоком уровне обеспеченности почвы питательными элементами рекомендуют дозу удобрений уменьшать, а при низком – увеличивать.

Так, для плодовых деревьев, выращиваемых на дерново-подзолистых и серых почвах, средним уровнем обеспеченности считается содержание на 100 г почвы в слое до 20 см 8–10 мг фосфора и 7–10 мг калия, повышенным – 12–16 мг фосфора и 11–14 мг калия и высоким – 16–20 мг фосфора и 15–18 мг калия. В слое почвы 20–40 см содержание фосфора должно быть в 2 раза, а калия в 1,5 раза меньше, чем в верхнем. Исходя из этого, при уровне обеспеченности почвы фосфором и калием ниже среднего рекомендованные дозы удобрений для основного внесения и подкормки увеличивают в 2 раза, при среднем и повышенном – в 1,2–1,5, а при очень высоком (более 40 мг на 100 г почвы) уменьшают в 2 раза. Это обусловлено сложным взаимодействием питательных элементов между собой в почве. Наличие азота, фосфора и калия в питательной среде в значительной степени определяет интенсивность роста растений и поглощения ими других элементов минерального питания.

Повышение уровня азотного питания увеличивает поступление в растения калия, кальция, магния, меди, железа, марганца и цинка, а при избыточных дозах азота уменьшает его. Избыточные дозы фосфора и зафосфачивание почвы снижают поступление в растения микроэлементов, избыточные дозы калия, кальция, магния и

некоторых других элементов, а большие дозы извести – калия и микроэлементов (при этом продолжительность и степень воздействия извести зависят от ее дозы и сдвига рН почвы: чем больше доза, тем сильнее отмечаемый эффект).

5.3.7. Расчет потребности в органических удобрениях

Органические удобрения оказывают многосторонне влияние на свойства почвы: пополняют запасы органического вещества, обеспечивают растения минеральными формами питательных элементов, улучшают почвенную структуру. Для определения потребности в органических удобрениях на планируемый урожай используют разные методы.

При расчете потребности в органических удобрениях важно соблюдать нормы и сроки, а также равномерность внесения удобрений и глубину обработки почвы для конкретной почвенно-климатической области. Ю.И. Ермохин и И.А. Бобренко [19] рекомендуют использовать для расчета потребности в органических удобрениях по нормативам прибавок урожая следующую формулу:

$$M = \frac{Y}{H} \times S,$$

где M – объем применения органических удобрений, т; Y – планируемый урожай, ц/га; H – норматив прибавки урожая н/га (табл. 22); S – площадь поля под удобрениями, га.

Т а б л и ц а 22

Прибавка урожая от внесения 1 т органических удобрений [19]

| Вид удобрения | Содержание в 1 т N, P, K, кг | Прибавка урожая, ц |
|---|---------------------------------|--------------------|
| Навоз подстилочный КРС | 13,5 | 0,60 |
| Навоз подстилочный свиной | 12,8 | 0,57 |
| Навоз подстилочный овечий | 17,3 | 0,77 |
| Навоз подстилочный конский | 14,5 | 0,64 |
| Птичий помет сухой | 100 | 4,44 |
| Твердая фракция бесподстилочного навоза КРС | 12,8 | 0,57 |

| Вид удобрения | Содержание в 1 т N, P, K, кг | Прибавка урожая, ц |
|--|---------------------------------|--------------------|
| Твердая фракция бесподстилочного навоза свиней | 10,7 | 0,47 |
| Компост торфонавозный (1:1) | 12,5 | 0,57 |
| Компост торфопометный (1:1) | 19,8 | 0,79 |
| Навоз жидкий КРС | 2,7 | 0,12 |
| Навозные стоки КРС | 1,8 | 0,08 |
| Солома злаковых культур | 16,0 | 0,70 |
| Солома бобовых культур | 20,5 | 0,90 |
| Сидераты крестоцветных культур | 11,9 | 0,52 |
| Сидераты бобовых культур | 12,2 | 0,54 |

Пример вычисления. Необходимо рассчитать, сколько потребуется подстилочного конского навоза на 45 га поля, если планируется урожай картофеля 250 ц/га и норматив прибавки урожая 0,64 ц:

$$M = \frac{250}{0,64} \times 45 = 17578 \text{ ц.}$$

Таким образом, необходимо на 45 га поля внести 17 578 ц подстилочного навоза, или 39 т на 1 га.

Расчет среднегодовой потребности почв в органических удобрениях по величине емкости поглощения. Расчетный метод предложен Уральской аграрной академией для суглинистых и средне-суглинистых почв (табл. 23). Потребность хозяйства в органических удобрениях для бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах рассчитывают по каждому севообороту в отдельности, а затем результаты суммируют по всем севооборотам.

Расчет по количеству навоза производится по формуле

$$D_{\text{н}} = \frac{A \times b \times 100}{(100 - W)},$$

где $D_{\text{н}}$ – доза навоза, т/га; A – среднегодовая потребность почвы в сухом органическом веществе, т/га (табл. 23); b – количество полей севооборота; W – влажность навоза, %.

**Среднегодовая потребность почв в органических удобрениях
для обеспечения бездефицитного баланса гумуса, сухого вещества/га [19]**

| Величина емкости поглощения почв мг·экв/100 г | Насыщенность севооборотов пропашными культурами и чистыми парами | |
|---|--|------|
| | Не более 20% | >20% |
| <15 | 2,25 | 4,00 |
| 15–20 | 2,00 | 3,25 |
| 21–25 | 1,75 | 2,75 |
| 26–30 | 1,50 | 2,25 |
| 30–35 | 1,25 | 1,75 |
| 36–40 | 1,00 | 1,50 |
| 41–45 | 0,75 | 1,25 |
| >45 | 0,50 | 1,00 |

Пример вычисления. Рассчитать среднегодовую потребность 7-польного паропропашного севооборота в органических удобрениях, если известно, что емкость поглощения почв на 1-, 5- и 7-м полях 37 мг·экв/100 г почвы, на 2-м – 34, на 3-м – 30, на 4-м и 6-м – 25 мг·экв/100 г почвы. Влажность навоза 75%.

Рассчитаем среднюю емкость поглощения почв полей севооборота:

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 = 37 + 34 + 30 + 25 + 37 + 25 + 37 = 225 : 7 = 32,1.$$

По табл. 23 находим, что среднегодовая потребность почв в органических удобрениях для обеспечения бездефицитного баланса гумуса составляет 1,75 сухого вещества на 1 га. Далее вычисляем по формуле среднегодовую потребность 7-польного паропропашного севооборота в органических удобрениях:

$$D_H = \frac{1,75 \times 7 \times 100}{(100 - 75)} = 49 \text{ т/га.}$$

5.3.8. Экономическая эффективность действия удобрений

Чтобы установить экономическую эффективность действия минеральных удобрений и других химических средств в конкретном

хозяйстве, необходимо учесть следующие показатели: увеличение валового сбора культур и выход продукции с единицы земельной площади; получение дополнительной продукции в натуральном и стоимостном выражении на рубль затрат, связанных с применением гербицидов и других химикатов; чистый доход (стоимость продукции за вычетом дополнительных затрат) на 1 га удобренной площади; уровень рентабельности применения удобрений, т.е. отношение чистого дохода к затратам.

Затраты на удобрения складываются в хозяйствах по-разному. Сначала проводят анализ и на его основе выявляют пути максимального снижения затрат на единицу химических средств. Важное значение имеет уровень хозяйственной рентабельности (P) удобрений (и других средств химизации), который вычисляют по формуле

$$P = \frac{a - (v + c)}{v + c} \times 100,$$

где P – уровень хозяйственной рентабельности, %; a – стоимость дополнительно полученной продукции, руб.; v – затраты средств на уборку, перевозку и реализацию дополнительно полученной продукции, руб.; c – сумма затрат, связанных с применением удобрений или других средств химизации, руб.

Следует учесть, что некоторые внесенные удобрения, особенно органические и известковые, в первый год используются растениями не полностью и оказывают длительное влияние на повышение урожайности последующих культур. В этом случае формула хозяйственной рентабельности будет иметь вид

$$P = \frac{(a + a_1) - (v + v_1 + c)}{(v + v_1 + c)} \times 100,$$

где a_1 – стоимость дополнительной продукции на второй год за счет последствия удобрений, руб.; v_1 – затраты средств на уборку, перевозку и реализацию дополнительно полученной на второй год продукции, руб.

5.3.9. Расчет дозы извести при известковании почв

Известкование – прием коренной мелиорации почвы. Оно оказывает многостороннее действие: нейтрализует избыточную кислотность, усиливает биологическую активность почвы, мобилизует малоподвижные формы фосфора и молибдена в почве, связывает подвижные формы алюминия и марганца, токсичные для высших растений.

Доза известкового удобрения зависит:

– от исходного уровня кислотности почвы, устанавливаемого по показателям, которые положены в основу определения дозы ($pH_{КС}$, гидролитической кислотности, степени насыщенности почв основаниями);

– типа почвы, гранулометрического состава ее пахотного горизонта (табл. 24);

– биологических особенностей культур, составляющих севооборот или его звено на время до очередного известкования (цикл известкования), или отдельной культуры, если она возделывается в монокультуре;

– мощности известкуемого слоя и ее удельной массы;

– содержания гумуса в пахотном горизонте почвы (в случае, если оно больше 5%);

– уровня применения минеральных удобрений и удобрений, подкисляющих почву;

– качества и интенсивности ожидаемых потерь кальция из почвы и вносимых известковых удобрений.

Таблица 24

Примерные дозы извести, т/га в зависимости от pH и гранулометрического состава почвы

| Гранулометрический состав почвы | pH солевой вытяжки | | | |
|---------------------------------|--------------------|-----|-----|-----|
| | 4,5 | 4,8 | 5,0 | 5,5 |
| Песчаные | 2,5 | 1,6 | 1,3 | 0,6 |
| Легкосуглинистые | 4,5 | 3,5 | 3,0 | 2,0 |
| Тяжелосуглинистые | 7,0 | 6,0 | 5,5 | 4,5 |
| Глинистые | 8,0 | 7,0 | 6,5 | 5,5 |

Экономические затраты окупаются прибавкой урожая. Положительный эффект от известкования сохраняется в течение 10–12 лет. После известкования заданная величина pH устанавливается не сразу после внесения извести, а через 2–3 года.

Природные известковые материалы содержат примеси в виде песка, глины, кремниевых осколков и т.п., поэтому вводят поправку на содержание чистого продукта.

В зависимости от степени насыщенности почв основаниями определяются нуждаемость в извести и обоснование доз известковых удобрений. По нуждаемости в известковании почвы делят на 3 группы [6]:

1-я – почвы сильно нуждаются в известковании; степень насыщенности основаниями менее 50%;

2-я – почвы менее нуждаются в известковании; степень насыщенности основаниями в пределах 50–70%;

3-я – почвы, не нуждающиеся в известковании; степень насыщенности основаниями более 70%.

Точные дозы известковых удобрений определяют по величине гидролитической кислотности, потому что она дает более полное представление о величине кислотности почвы.

Точные дозы извести необходимы для полной нейтрализации почвенной кислотности, что особенно важно при постановке опытов с удобрениями.

Для расчета точных доз известковых удобрений определяют гидролитическую кислотность и плотность сложения пахотного горизонта. Далее необходимо вычислить содержание водородных ионов гидролитической кислотности в пахотном горизонте почвы. Для расчета мощность пахотного горизонта принимают равной 20 см, а плотность сложения $1,5 \text{ г/см}^3$, что соответствует плотности сложения подзолистой тяжелосуглинистой почвы.

По этим данным масса пахотного горизонта на площади 1 га равна $1,5 \times 20 \times 100\,000\,000 = 3\,000\,000\,000 \text{ г}$, где 100 000 000 – число квадратных сантиметров на площади в 1 га.

Предположим, что полная гидролитическая кислотность составляет $5,4 \text{ мг·экв/100 г}$ почвы. В 1 кг этой почвы содержание H-ионов будет составлять 54 мг, или $0,054 \text{ г H}^+$. Следовательно, в

пахотном горизонте на площади 1 га количество поглощенного водорода будет равно $0,054 \times 3\,000\,000 = 162\,000$ г, или 162 кг. На нейтрализацию 1 мг Н-ионов затрачивается 50 мг CaCO_3 , а на 1 кг Н-ионов требуется 50 кг CaCO_3 .

Таким образом, на нейтрализацию 162 кг Н-ионов, содержащихся в пахотном горизонте, требуется $162 \times 50 = 8\,100$ кг, или 81 ц/га, или 8,1 т/га CaCO_3 . Вычисление можно упростить, умножив величину гидролитической кислотности на коэффициент 1,5. Коэффициент рассчитан следующим образом. Как показано выше, 50 мг CaCO_3 эквивалентны 1 мг H^+ , т.е. 1 мг-экв гидролитической кислотности. Поскольку гидролитическая кислотность вычислена на 100 г почвы, а требуется знать количество CaCO_3 для нейтрализации всего пахотного горизонта на площади 1 га, 50 умножают на $\frac{3\,000\,000\,000}{100}$, т.е. на 30 000 000. Чтобы перевести миллиграммы CaCO_3 в тонны, полученную величину делят на 1 000 000 000, в результате чего получают коэффициент, равный $\frac{50 \times 30\,000\,000}{1\,000\,000\,000} = 1,5$.

Наиболее достоверный метод определения доз известковых удобрений для конкретного региона – использование результатов многолетних полевых опытов, которые наиболее точно отвечают особенностям почвенно-климатических условий возделывания сельскохозяйственных культур.

Как правило, дозы известковых удобрений (D , т/га CaCO_3) рассчитывают по формуле

$$D_{\text{CaCO}_3} = Hg \times d \times h \times 0,05 \text{ (т/га)},$$

где Hg – величина гидролитической кислотности по Каппену, мг-экв/100 г почвы; d – плотность сложения известкуемого слоя, г/см³; h – мощность известкуемого слоя, см; 0,05 – коэффициент перевода миллиграммов в граммы.

Доза извести, полученная по этой формуле, является теоретической, так как основана на нейтрализации водородного иона карбонатом кальция в идеальных растворах, а не в почве. Подразумевается, что при внесении такой дозы извести гидролитическая кис-

лотность почвы полностью нейтрализуется, поэтому ее называют «полной». Наиболее точно отвечает цели мелиоративного известкования этот расчет для подзолистых, дерново-подзолистых, светло-серых лесных почв с содержанием гумуса менее 5%. Метод не учитывает подкисляющее действие применяемых физиологически кислых минеральных удобрений и торфа.

Более точно можно определить дозы CaCO_3 для создания заданного (планируемого) уровня кислотности поля (участка) методом расчета по нормативам расхода известковых удобрений на смещение pH от исходного уровня до заданного. Однако использование этого метода возможно лишь после определения в условиях полевого опыта количественной зависимости между дозой CaCO_3 и сдвигом pH для данного района, зоны на конкретной почве.

5.3.10. Расчет дозы извести в физической массе

Для расчета дозы известковых удобрений в физической массе необходимо определить содержание карбонатов (в пересчете на CaCO_3 , %). Нейтрализующая способность известкового удобрения определяется суммарным содержанием в удобрении CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 , расчет производится на окислы. Для пересчета CaO в CaCO_3 применяют коэффициенты $\% \text{CaCO}_3 = \% \text{CaO} \times 1,785$; $\% \text{CaCO}_3 = \% \text{MgO} \times 2,482$; $\% \text{CaCO}_3 = \% \text{MgCO}_3 \times 1,187$.

Известковые удобрения содержат влагу, а также частицы крупнее 1 мм, которые медленно взаимодействуют с почвой. Дозу конкретного удобрения (в т/га) рассчитывают по формуле

$$D_{\text{ф.м}} = \frac{D_{\text{CaCO}_3} \times 100 \times 100 \times 100}{H \times (100 - W) \times (100 - K)},$$

где $D_{\text{ф.м}}$ – доза известкового удобрения в физической массе, т/га; D_{CaCO_3} – расчетная доза CaCO_3 , т/га; H – нейтрализующая способность удобрения по CaCO_3 , %; W – влажность удобрения, %; K – количество частиц крупнее 1 мм, %.

5.3.11. Расчет доз химических мелиорантов

При расчетах норм гипса исходят из количества поглощенного натрия в почве. Почвы, содержащие меньше 5% натрия от емкости поглощения, не гипсуют, так как такое содержание натрия в поглощающем комплексе существенного отрицательного влияния на рост растений не оказывает. Нормы гипса в связи с этим чаще всего рассчитывают по активному натрию, т.е. по его количеству, превышающему 5% от емкости поглощения.

Норму гипса рассчитывают по количеству натрия, содержащегося в той части солонцового горизонта, который подвергается обработке (вспашке). Массу ее определяют по уравнению

$$B = (h_{\text{пах}} - h_A) \times 10^8 \times d,$$

где B – масса подлежащего гипсованию солонцового горизонта на площади 1 га, г; $h_{\text{пах}}$ – глубина вспашки, см; h_A – мощность гумусового горизонта, см; d – плотность сложения почвы, г/см³.

Дозы химических мелиорантов рассчитывают в действующем веществе (гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Дозы гипса зависят от содержания обменного натрия в почве при условии его полного вытеснения из почвенного поглощающего комплекса или частичного сохранения.

Для определения доз гипса (D , т/га) при химической мелиорации солонцов пользуются следующими формулами.

Для малонатриевых солонцов с содержанием натрия менее 20% от емкости поглощения

$$D_{\text{CaSO}_4} = 0,086 \times h \times d \times Na,$$

где D_{CaSO_4} – доза гипса, т/га; h – мощность гипсуемого слоя, см; d – плотность сложения почвы, г/см³; Na – содержание обменного натрия в почве, мг·экв/100 г почвы.

Для средне- и многонатриевых солонцы с содержанием натрия более 20% от емкости поглощения

$$D = 0,086 \cdot h \cdot d \cdot (Na - 0,1 \cdot a),$$

где 0,1 – коэффициент, определяющий сохранение в поглощенном комплексе солонцов 10%-ного обменного натрия; a – емкость поглощения почвы, мг·экв/100 г почвы.

Солонцы содового засоления:

$$D_{\text{CaSO}_4} = 0,086 \times h \times d \times (\text{Na} - 0,1 \times a) + (S - 1),$$

где S – содержание $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ в водной вытяжке почвы, мг·экв/100 г почвы; 1 – допустимое содержание $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ в водной вытяжке почвы, не вредное для растений, мг·экв/100 г почвы.

Для малонатриевых солонцов с содержанием обменного магния более 50% от емкости поглощения

$$D_{\text{CaSO}_4} = 0,086 \times h \times d \times (\text{Mg} - 0,3 \times a),$$

где Mg – содержание обменного магния, мг·экв/100 г почвы; 0,3 – коэффициент, определяющий сохранение в поглощающем комплексе 30%-ного обменного магния.

Для средне- и многонатриевых солонцов нейтрального и содового засоления дозы гипса рассчитывают методом донасыщения почв кальцием по формуле

$$D_{\text{CaSO}_4} = 0,086 \times h \times d \times (\text{Ca}_c - \text{Ca}_a),$$

где Ca_c – количество ионов кальция, поглощаемое солонцовой почвой из насыщенного раствора гипса, мг·экв/100 г почвы; Ca_a – количество ионов кальция, поглощаемое зональной почвой, мг·экв/100 г почвы.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- Агрохимическая характеристика почвы** – совокупность агрохимических показателей, характеризующих плодородие почвы [20].
- Азот аммонийный** – азот, находящийся в аммонийной форме.
- Азот биологический** – азот, поступивший в почву и растение в результате фиксации атмосферного азота микроорганизмами.
- Азот валовой (общий)** – сумма органического и минерального азота в почве или растении.
- Азот гидролизуемый** – органические соединения азота, переходящие в раствор при обработке почвы слабыми растворами кислот или щелочей.
- Азот гуминов** – азот, входящий в состав негидролизуемых остатков гумусовых соединений.
- Азот минеральный** – сумма нитритного, нитратного и аммонийного азота почвы.
- Азот негидролизуемый** – органические соединения азота почвы, которые не гидролизуются при обработке почвы концентрированными растворами минеральных кислот или щелочей.
- Азот нитратный** – азот, находящийся в форме нитратов.
- Азот нитритный** – азот, находящийся в форме нитритов.
- Азот органический** – органические соединения азота, входящие в состав гумуса и других органических компонентов почвы.
- Азотонакопители** – бобовые растения, которые благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями способны поглощать атмосферный азот и обогащать им почву.
- Азотфиксация** – усвоение молекулярного атмосферного азота микроорганизмами. Осуществляется азотфиксирующими микроорганизмами, в том числе клубеньковыми бактериями, и другими микроорганизмами (бактерии, актиномицеты, дрожжи, грибы и синезеленые водоросли).
- Азотфиксация несимбиотическая** – азотфиксация свободноживущими микроорганизмами почвы.

- Азотфиксация симбиотическая** – азотфиксация микроорганизмами, живущими в симбиозе с бобовыми и некоторыми небобовыми растениями.
- Азотфиксирующая способность почвы** – способность почвы связывать молекулярный азот, обусловленная жизнедеятельностью азотфиксирующих микроорганизмов.
- Активность почвы биологическая** – интенсивность биологических процессов, протекающих в почве.
- Активность почвы ферментативная** – интенсивность превращения питательных элементов почвы под влиянием ферментов.
- Аликвотная навеска почвы** – навеска почвы, соответствующая определенному количеству жидкости, взятому для анализа определения.
- Алюминий почвы подвижный** – алюминий, переходящий из почвы в раствор нейтральной соли.
- Аммиак (NH₃)** – бесцветный газ с резким характерным запахом; основное сырье для производства большей части промышленных азотных удобрений.
- Аммиак безводный (жидкий) (NH₃)** – жидкое аммиачное азотное удобрение (82,3% азота); бесцветная жидкость с характерным запахом, быстро испаряющаяся на воздухе.
- Аммиак водный (аммиачная вода) (NH₄OH)** – жидкое аммиачное азотное удобрение, раствор аммиака в воде, первый сорт содержит 20,5% азота (25%-ный аммиак), второй – 16,4% (20%-ный аммиак); легко испаряющаяся бесцветная жидкость со специфическим запахом аммиака.
- Аммиакаты** – концентрированные растворы твердых азотных удобрений (NH₄NO₃, Ca(NO₃)₂, CO(NH₂)₂ и др.) в водном аммиаке, содержат от 30 до 50% азота. Жидкость светло-желтого или желтого цвета.
- Аммоний необменный** – аммоний, входящий в состав кристаллической решетки глинистых минералов почвы, который освобождается только после полного разрушения решетки.
- Аммоний обменный** – аммоний, адсорбированный почвенным поглощающим комплексом, способный к эквивалентному замещению любым другим катионом.

Аммоний фиксированный – аммоний, поглощенный кристаллической решеткой глинистых минералов почвы.

Аммонификация – разложение азотсодержащих органических веществ микроорганизмами с образованием аммиака.

Аммофос ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) – высококонцентрированное физиологически кислое фосфорно-азотное удобрение, содержащее 9–12% азота и 42–50% P_2O_5 . Гранулы серого цвета, обладают хорошими физико-химическими и механическими свойствами.

Анализ агрохимический – определение лабораторными методами химического состава растений, кормов растительного происхождения, почвы, удобрений, пестицидов. Агрохимический анализ проводят агрохимические лаборатории. В результате анализа растений определяют содержание макро- и микроэлементов; органических соединений (белки, жиры, углеводы и др.); в минеральных и местных удобрениях – содержание и формы питательных веществ; в известковых удобрениях – содержание кальция и магния; в торфе – влажность, зольность, кислотность, степень разложения и т.д.

Анализ почвы – совокупность методов исследования состава, свойств и функций почвы. Выделяют гранулометрический, химический, минералогический и микробиологический анализы.

Анализ почвы химический – исследование состава и свойств почвы химическими методами. Состоит из основных разделов: валовой анализ – определение общего содержания в почве элементов; анализ водной вытяжки – определение содержания в почве водорастворимых веществ (нитратов, сульфатов, хлоридов и карбонатов кальция, магния, натрия и др.); определение поглотительной способности почвы; определение содержания легкорастворимых (подвижных), усваиваемых растениями соединений азота, фосфора, калия и др., изучение фракционного состава органических веществ почвы, форм соединений основных почвенных компонентов.

Апатит (от греч. *apate* – обман) – минерал из группы фосфорнокислых солей кальция, содержащий переменное количество фтора и хлора. Один из основных первичных источников фосфора.

- Бактерии клубеньковые** – бактерии рода *Rhizobium*, образующие на корнях некоторых бобовых растений клубеньки и фиксирующие атмосферный азот.
- Биологическая поглотительная способность почвы** – поглощение растениями и почвенной биотой элементов питания из почвы, удобрений и воздуха.
- Буферность почвы** – способность почвы противостоять изменению ее свойств при воздействии различных факторов.
- Буферность почвы кислотно-основная** – способность почвы противостоять изменению рН почвенного раствора при взаимодействии с кислотами и основаниями.
- Влажность (весовая)** – количество воды, приходящееся на единицу массы абсолютно сухой почвы.
- Влажность (объемная)** – количество воды, приходящееся на единицу объема абсолютно сухой почвы.
- Возврат питательных элементов в почву** – количество питательных элементов, возмещаемых внесением удобрений, пожнивными и корневыми остатками.
- Воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения** – сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения посредством систематического проведения агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных, противоэрозионных и иных мероприятий.
- Вымывание питательного элемента из почвы** – передвижение подвижных форм питательного элемента из верхних слоев почвы в нижележащие.
- Вынос питательных элементов из почвы** – количество питательных элементов, отчуждаемых из почвы урожаем основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур, на единицу площади.
- Вынос элементов питания биологический** – вынос элементов питания из почвы всеми частями растения: основной и побочной продукцией, убираемой с поля, пожнивными остатками, корнями, опавшими листьями, оставшимися на поле.

- Вынос элементов питания остаточный** – вынос элементов питания из почвы пожнивными остатками, корнями, опавшими листьями, оставшимися на поле.
- Вынос элементов питания хозяйственный** – вынос элементов питания из почвы с урожаем, убираемой с поля основной и побочной продукции.
- Вытяжка из почвы водная** – вытяжка, полученная в результате взаимодействия воды с почвой.
- Вытяжка из почвы кислотная** – вытяжка, полученная в результате взаимодействия раствора минеральной или органической кислоты с почвой.
- Вытяжка из почвы солевая** – вытяжка, полученная в результате взаимодействия раствора соли с почвой.
- Вытяжка почвенная** – экстракт, полученный после обработки почвы раствором определенного состава, при заданном соотношении почва – экстрагирующий раствор и времени взаимодействия.
- Гажа (озерная известь)** – известковое удобрение. При влажности не более 30% может содержать 60–95% CaCO_3 и примеси разных элементов, органических веществ, имеет мелкозернистое сложение, легко рассыпается.
- Географическая сеть опытов с удобрениями** – сеть полевых опытов с удобрениями, проводимых в различных географических зонах страны по согласованной программе.
- Гигроскопичность минерального удобрения** – свойство минерального удобрения поглощать влагу с определенной интенсивностью из окружающей среды при определенной температуре и влажности.
- Гидролиз мочевины в почве** – разложение мочевины на аммиак и двуокись углерода под влиянием фермента уреазы.
- Гипс сыромолотый ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)** – химический мелиорант, применяемый для гипсования почв. Получают путем размолла природных залежей гипса. Белый или серый порошок, содержит 71–73% CaSO_4 .
- Гипсование почвы** – внесение гипса в почву для улучшения ее химических, физических и биологических свойств.

Глиногипс – химический мелиорант, применяемый для гипсования почв. Представляет собой природные залежи рыхлой, не требующей размола породы, содержащей 60–90% CaSO_4 и 1–11% глины.

Государственное нормирование плодородия земель сельскохозяйственного назначения – установление стандартов, норм, нормативов, правил, регламентов в области обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

Гуматы – соли гуминовых кислот с катионами аммония, щелочных и щелочно-земельных металлов.

Гумин (остаток органического вещества почвы, негидролизуемый) – органическое вещество, входящее в состав почвы, нерастворимое в кислотах, щелочах, органических растворителях.

Гумус – часть органического вещества почвы, образующаяся при гумификации органических остатков.

Деградация почвы – ухудшение свойств и снижение плодородия почвы в результате воздействия природных или антропогенных факторов.

Действие удобрения прямое – влияние удобрения на урожайность и качество продукции сельскохозяйственной культуры, под которую оно непосредственно внесено, и плодородие почвы.

Действующее вещество – содержание питательного элемента в удобрении, выраженное в процентах. В азотных удобрениях действующим веществом является азот (N), в фосфорных – фосфор (P_2O_5), в калийных – калий (K_2O), в извести – кальций (CaO) и магний (MgO), в медных – медь (Cu), в борных – бор (B) и т.д.

Денитрификационная способность почвы – способность почвы переводить окисленные формы азота в газообразные соединения.

Денитрификация – восстановление нитратов биологическим или химическим путем до молекулярного азота или его окислов.

Дефекат – отход свеклосахарного производства, образующийся при осветлении свекловичного сока. Может использоваться в качестве известкового удобрения. Содержит CaCO_3 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$,

- а также в небольшом количестве органическое вещество, азот, фосфор, калий и микроэлементы.
- Диагностика питания растений** – определение степени обеспеченности растений питательными элементами.
- Диагностика питания растений визуальная** – диагностика питания растений с помощью определения нарушения питания по изменению морфологических признаков растений, вызванному недостаточным или избыточным содержанием питательных элементов в почве или других субстратах.
- Диагностика питания растений комплексная** – диагностика питания растений на основе совместного использования методов растительной и почвенной диагностики.
- Диагностика питания растений листовая** – растительная химическая диагностика питания растений с помощью валового анализа листьев (целого растения или отдельных органов).
- Диагностика питания растений почвенная** – диагностика питания растений с помощью определения содержания питательных элементов в почве посредством химических анализов.
- Диагностика питания растений химическая** – диагностика питания растений с помощью химического анализа растений или их органов. Подразделяется на листовую и тканевую (включая соковую) диагностику.
- Диаммофос $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$** – сложное высококонцентрированное, физиологически кислое азотнофосфорное удобрение. Содержит 18–19% азота, 49–53% фосфора. Гранулы розового цвета, которые обладают хорошими физико-химическими и механическими свойствами.
- Доза удобрений (суммарная)** – количество питательных элементов, вносимое под сельскохозяйственную культуру в течение года различными способами и в разные сроки.
- Доза удобрения** – количество удобрения, вносимого под сельскохозяйственную культуру за один прием.
- Доза химического мелиоранта малая** – доза химического мелиоранта, снижающая избыточную, вредную для растений кислотность в части пахотного слоя почвы.

Доза химического мелиоранта полная – доза химического мелиоранта, обеспечивающая оптимальную реакцию среды в пахотном слое почвы.

Доломит – осадочная горная порода, на 90% и более состоящая из минерала доломита – карбонат кальция и магния $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Содержит карбонат кальция (54,4%) и карбонат магния (45,6%). Сырье для производства известковых удобрений.

Емкость катионного обмена почвы – максимальное количество катионов, которое может быть удержано почвой в обменном состоянии при заданных условиях.

Емкость поглощения катионов почвой – максимальное количество обменных катионов, которые могут быть поглощены почвой из солевого раствора.

Загрязнение почв – содержание в почвах химических соединений, радиоактивных элементов, патогенных организмов в количестве, оказывающем вредное воздействие на здоровье человека, окружающую природную среду, плодородие земель сельскохозяйственного назначения.

Залежи – земли, которые ранее использовались, но более одного года не используются для возделывания сельскохозяйственных культур.

Засоление почвы – накопление в почве легкорастворимых солей.

Зафосфачивание почв – накопление в почвах значительного количества фосфора удобрений в легкорастворимой форме.

Землевание – внесение плодородного слоя почвы и потенциально плодородных пород земли на малоплодородные сельскохозяйственные угодья с целью их улучшения.

Земли эродированные – земли, потерявшие в результате процесса эрозии поверхностный слой почвы.

Зола – местное удобрение, полученное в результате сжигания растительных остатков, торфа, кизяка и других органических веществ.

Зола «сырая» – остаток золы после озоления растительного образца, в которой помимо зольных элементов растений, содержатся некоторые примеси, такие как углистые частицы, песчинки, плохо смытая почва.

- Зола печная** – местное калийно-фосфорно-известковое удобрение. Содержит в зависимости от источника топлива: K_2O – 3–10%, P_2O_5 – 2–7%, CaO – 25–35%.
- Зола сланцевая** – отход сжигания горючих сланцев на предприятиях и электростанциях, содержит 30–40% CaO , 1,5–3,8% MgO , а также небольшое количество калия, натрия, фосфора, серы и некоторые микроэлементы. Может использоваться в качестве известкового удобрения.
- Зольность сапропеля** – характеристика сапропеля по количеству образующейся золы. Подразделяют на малозольные (до 30% золы), средnezольные (30–50%), повышеннозольные (50–70%), высокозольные (70–85%), ил (более 85%).
- Зольность торфа** – характеристика торфа по количеству образующейся при сжигании золы. Различают торф нормальнозольный (до 12% золы) и высокозольный (более 12%).
- Зольные элементы** – химические элементы, входящие в состав золы растений. Это преимущественно кремний, алюминий, железо, марганец, кальций, магний, фосфор, сера, калий, натрий и ряд микроэлементов.
- Известкование почвы** – химическая мелиорация кислых почв путем применения известковых удобрений.
- Известкование почвы основное** – известкование с целью достижения оптимальной реакции среды в почве за один или несколько приемов.
- Известкование почвы повторное** – применение известковых удобрений с целью поддержания оптимальных физико-химических свойств ранее произвесткованной почвы.
- Известняк** – осадочная порода, состоит в основном из карбоната кальция ($CaCO_3$) и часто обогащена (до 10–15% MgO) карбонатом магния. Сырье для производства известковых удобрений.
- Известь гашеная** – известковое удобрение. Получается при длительном открытом хранении жженой извести. Оксиды, взаимодействуя с водой, образуют гидроксиды.
- Известь жженная** – известковое удобрение. Получается при обжиге карбонатных пород.

- Ил активный** – избыточная биомасса микроорганизмов, осуществляющих биологическую очистку сточных вод.
- Иммобилизация азота** – поглощение азота аммонийных и нитратных соединений микробными клетками, перевод в органические полимеры недоступные для питания растений.
- Иммобилизация питательных элементов в почве** – переход питательных элементов почвы и удобрений из доступной в недоступную для питания растений форму.
- Ингибиторы нитрификации** – вещества, подавляющие нитрификацию аммонийного и амидного азота почвы и удобрений.
- Использование растениями питательного элемента из почвы** – потребление растениями питательного элемента из почвы в процессе вегетации.
- Использование растениями питательного элемента из удобрения** – потребление растениями питательного элемента из удобрения в процессе вегетации.
- Истощение почвы** – обеднение почвы питательными веществами в результате длительного выращивания сельскохозяйственных культур без внесения удобрений.
- Каинит ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$)** – калийное удобрение, содержит 10–12% K_2O ; крупнокристаллическая соль розовато-бурого цвета, не гигроскопична, не слеживается.
- Калий почвы валовой** – общее содержание калия в почве.
- Калий почвы водорастворимый** – калий, способный переходить из твердой фазы почвы в водную вытяжку.
- Калий почвы необменный** – калий, включающий природный необменный калий, который прочно связан с кристаллической решеткой минералов и переходит в доступные для питания растений формы только в процессе выветривания и антропогенного воздействия на почву.
- Калий почвы обменный** – калий почвы, способный к обмену на другие катионы.
- Калий хлористый (KCl)** – самое распространенное и самое концентрированное калийное, физиологически кислое удобрение, содержит 57–60% K_2O . Мелкие темно-розовые с бурым оттенком или белые, розовые с серым оттенком кристаллы. Удобрение

- ние хорошо растворимо в воде, малогигроскопичное, но при хранении слеживается.
- Калийные соли ($KCl + (mKCl + nNaCl)$)** – смешанные калийные удобрения. Содержание K_2O – 40% (смесь KCl с сильвинитом) и 30% (смесь KCl и каинита). Мелкие пестро окрашенные кристаллы, слеживающиеся при хранении.
- Калий-электролит** – смешанное калийное удобрение; KCl с примесями $NaCl$ и $MgCl_2$, содержит 34–42% K_2O .
- Калимаг ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$)** – калийное бесхлорное магнийсодержащее удобрение, содержит 18–20% K_2O и 8–9% MgO . Гранулы серого цвета, не слеживаются.
- Карбоаммофос** – комплексное азотнофосфорное удобрение, содержит азот в амидной и аммиачной формах, фосфор – в водорастворимой форме. Содержание азота – 24–48%, фосфора – 18–48%.
- Карбонат аммония ($(NH_4)_2CO_3$)** – азотное аммонийное удобрение, содержит 21–24% азота, белое кристаллическое вещество.
- Карта (картограмма) агрохимическая** – картографическое изображение содержания подвижных форм питательных элементов в почве и ее pH. Карты подразделяются на крупно-, средне- и мелкомасштабные.
- Картирование почвы агрохимическое** – составление агрохимических карт на основе полевых лабораторных и камеральных работ.
- Катионы почвы обменные** – катионы, поглощенные высокодисперсной частью почвы, способные к обмену.
- Качество почвы** – оценка показателей плодородия почвы, характеризующих условия для роста и развития растений.
- Кислота борная техническая** – борное удобрение, мелкокристаллический порошок белого цвета. Содержит 17% бора, легко растворяется в воде.
- Кислотность почвы** – свойство почвы, обусловленное наличием водородных ионов в почвенном растворе и обменных ионов водорода и алюминия в почвенном поглощающем комплексе.
- Кислотность почвы актуальная** – кислотность почвенного раствора.

- Кислотность почвы гидролитическая** – кислотность почвы, проявляющаяся при обработке ее раствором гидролитически щелочной соли.
- Кислотность почвы обменная** – кислотность почвы, проявляющаяся при обработке ее раствором нейтральной соли.
- Кислотность почвы потенциальная** – сумма обменной и гидролитической кислотности твердой фазы почвы.
- Кислотность торфа** – характеристика торфа по величине его обменной кислотности. Верховой торф имеет в среднем pH_{KCl} от 2,6 до 3,2; переходный 3,6–4,4 и низинный 4,8–5,8.
- Кислотование почвы** – прием химической мелиорации, основанный на подкислении нейтральных или щелочных почв с целью мобилизации питательных элементов.
- Кислоты гуминовые** – группа темноокрашенных гумусовых кислот, растворимых в щелочах и не растворимых в кислотах.
- Кислоты гумусовые** – высокомолекулярные органические азотсодержащие кислоты с бензоидным ядром, входящих в состав гумуса и образующихся в процессе процессов гумификации.
- Компост** – органическое удобрение, полученное в результате разложения органических отходов растительного или животного происхождения.
- Компост торфонавозный** – компост на основе торфа и навоза.
- Компост торфоперегнойный** – компост на основе торфа и перегноя.
- Компост торфопометный** – компост на основе торфа и помета.
- Компост торфорастительный** – компост на основе торфа и растений.
- Компостирование** – биотермический процесс минерализации и гумификации двух-трех органических компонентов (иногда с добавками минеральных).
- Кондиционирование минерального удобрения** – совокупность технологических процессов, позволяющих улучшать физические свойства минерального удобрения.
- Коэффициент азотфиксации** – отношение количества фиксированного атмосферного азота к общему содержанию его в бобовых растениях.

Коэффициент возврата – отношение дозы удобрений к хозяйственному выносу элементов питания.

Коэффициент гумификации – доля (или процентное содержание) углерода органических остатков, включившегося в гумусовые вещества почвы при полном их разложении.

Коэффициент использования действующего вещества удобрения – отношение количества питательного элемента, вынесенного урожаем сельскохозяйственной культуры, к общему его количеству, внесенному с удобрением.

Лиофилизация (лиофильная сушка) растительного материала – это высушивание путем возгонки. Основана на испарении льда, минуя жидкую фазу. Высушивание материала при лиофилизации проводится следующим образом: отобранный растительный материал замораживают до твердого состояния, заливая образец жидким азотом. Затем образец помещают в лиофилизатор, где при низкой температуре и в условиях вакуума происходит высушивание. При этом влага поглощается специальным осушителем (реактивом), в качестве которого используются силикагель, хлористый кальций и т.д. Лиофильная сушка подавляет ферментативные процессы, но сами ферменты сохраняются.

Макроудобрение – минеральное удобрение, действующим веществом которого являются макроэлементы.

Макроэлементы – химические элементы, содержащиеся в растениях в количестве от целых до сотых долей процента в расчете на сухое вещество.

Марганец сернокислый ($MnSO_4$) – марганцевое удобрение. Мелкокристаллическая сухая безводная соль с содержанием марганца 32,5%, хорошо растворимая в воде.

Медь сернокислая ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) – медное удобрение. Мелкокристаллическая соль голубовато-синего цвета, содержит 25,4% меди, хорошо растворима в воде.

Мел – слабосцементированная, мажущаяся, тонкозернистая разновидность карбонатных пород, состоящая в основном из карбоната кальция природного происхождения. Сырье для производства известковых удобрений. Содержит до 55% CaO и только

до 0,6% MgO, наиболее легко размалывается и несколько более эффективен, чем известняк.

Мелиорация почвы химическая – улучшение физикохимических свойств кислых и солонцовых почв путем проведения известкования и гипсования почв.

Мергель – нецементированная природная смесь карбоната кальция и глины. Может использоваться в качестве известкового удобрения. Содержит 25–50% CaCO₃, не менее 1% MgCO₃ и 25% примесей песка, глины и др. Залежи его встречаются в виде рыхлых и плотных масс.

Метафосфат калия (KPO₃) – предельно концентрированное сложное удобрение; содержит до 60% P₂O₅ и до 40% K₂O.

Механическая поглотительная способность почвы – способность почвы механически задерживать в тонких капиллярах мелкие твердые частицы, взвешенные в фильтрующейся через нее воде.

Миграция питательного элемента в почве – перемещение питательного элемента по профилю почвы.

Микроорганизмы азотфиксирующие (азотфиксаторы) – микроорганизмы, усваивающие молекулярный азот воздуха.

Микроудобрение – удобрение, в котором действующим веществом является микроэлемент.

Микроэлементы – химические элементы, содержащиеся в растениях в количестве от тысячных до стотысячных долей процента в расчете на сухое вещество.

Минерализация органических веществ в почве – разложение органических веществ в почве с образованием минеральных соединений.

Мобилизация (минерализация) азота – превращение органических соединений азота в почве в доступные растениям формы.

Мобилизация питательных элементов в почве – переход минеральных и органических веществ почвы в доступную для питания растений форму.

Молибдат аммония – молибденовое удобрение. Мелкокристаллическая соль белого цвета, содержит около 50% молибдена, хорошо растворяется в воде.

Молибдат аммония-натрия – молибденовое удобрение. Соль с желтоватым оттенком, содержит около 35% молибдена, растворима в воде.

Мониторинг – система наблюдений за состоянием агроэкосистемы для своевременного выявления изменений, оценок, прогноза, предупреждения и устранения последствий негативных процессов.

Мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг) – комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

Мочевина (карбамид) ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) – амидное азотное удобрение, содержит 46% азота. Белые гранулы или кристаллы, хорошо растворимые в воде. Кристаллическая мочевина, при хранении слеживается. При грануляции в мочеvine образуется биурет, который в концентрации более 3% токсичен для растений.

Мука доломитовая природная – известковое удобрение. При влажности не более 12% содержит 80% (и более) карбонатов в пересчете на CaCO_3 . Состоит из карбонатов кальция и магния с разными примесями.

Мука известняковая (доломитизированная) и доломитовая – известковое удобрение, получается при дроблении и размоле известняков и доломитов.

Мука костяная – побочный продукт переработки костей. Содержит 30–35% P_2O_5 и до 1% азота. Применяют в качестве удобрения и минеральной подкормки, богатой кальцием и фосфором, для сельскохозяйственных животных.

Мука мясокостная – удобрение на основе мясных и костных отходов боен.

Мука роговая – удобрение на основе отходов переработки ороговевших частей животных и птиц.

Мука рыбная – удобрение на основе отходов переработки рыбопродуктов.

Навоз – смесь твердых и жидких экскрементов сельскохозяйственных животных с подстилкой или без нее.

- Навоз бесподстилочный** – навоз без подстилки с добавлением технологической воды или без нее.
- Навоз жидкий** – навоз бесподстилочный, содержащий от 3 до 8% сухого вещества.
- Навоз перепревший** – навоз, в котором визуально нельзя обнаружить неразложившиеся остатки растений и корма.
- Навоз подстилочный** – навоз на основе подстилки и остатков корма.
- Навоз полужидкий** – навоз бесподстилочный, содержащий от 8 до 14% сухого вещества.
- Навоз полуперепревший** – навоз подстилочный, в котором в результате микробиологических процессов подстилка и остатки корма приобретают темно-коричневый цвет, теряют прочность и легко разрываются.
- Навоз слаборазложившийся** – навоз подстилочный, в котором в результате микробиологических процессов подстилка и остатки корма имеют незначительно изменившийся цвет и прочность.
- Навоз солоmistый** – навоз, полученный при использовании соломы в качестве подстилки.
- Навоз сухой** – навоз, содержащий более 80% сухого вещества.
- Навоз торфянистый** – навоз, полученный при использовании торфа в качестве подстилки.
- Наполнитель** – вещество, не содержащее питательных элементов или добавляемое к удобрению для регулирования содержания питательных элементов.
- Насыщенность пахотной земель или сельскохозяйственных угодий удобрениями** – это количество удобрений, приходящееся на 1 га пашни сельскохозяйственных угодий или севооборотной площади.
- Нейтрализация удобрений** – устранение кислотности удобрения с помощью нейтрализующих добавок.
- Нейтрализующая способность известковых удобрений** – показатель, характеризующий содержание в известковых удобрениях оксидов, гидроксидов и карбонатов кальция и магния в пересчете на CaCO_3 .
- Нитрификаторы** – группа микроорганизмов, способных окислять неорганические соединения азота до нитратов и нитритов.

Нитрификационная способность почвы – способность почвы накапливать нитраты в результате жизнедеятельности микроорганизмов.

Нитрификация – окисление аммонийных ионов нитрифицирующими бактериями до нитратов и нитритов.

Нитроаммофос ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3$) – высококонцентрированное комплексное удобрение, получаемое на основе моноаммонийфосфата.

Нитроаммофоска – удобрение, получаемое при введении калия в нитроаммофос. Содержание питательных веществ (N, P_2O_5 и K_2O) составляет в I сорте – 16:16:18, во II сорте – 14:14:16.

Нитрофос – комплексное азотно-фосфорное удобрение. Содержание питательных веществ (N, P_2O_5 и K_2O) составляет в марке «А» – 16:16:13, «Б» – 13:10:13, «В» – 12:12:12.

Нитрофоска – комплексные азотно-фосфорно-калийное удобрение, получаемое при добавлении к нитрофосам хлористого калия. Содержание питательных веществ (N и P_2O_5) составляет в марке «А» – 23,5:17, «Б» – 24:14.

Норма удобрения – это количество удобрения, вносимого под сельскохозяйственную культуру за период ее выращивания.

Обменная кислотность – кислотность, создаваемая наличием ионов водорода и алюминия в поглощенном состоянии, которые вытесняются при взаимодействии нейтральной соли с почвенным поглощающим комплексом.

Обменная поглотительная способность почвы – свойство почвы удерживать на поверхности своих частиц ионы, способные к эквивалентному обмену.

Обменные основания почвы – обменные катионы, входящие в почвенный поглощающий комплекс.

Окультуривание почвы – совокупность мероприятий, устраняющих негативные свойства почвы и направленных на создание мощного корнеобитаемого слоя почвы с благоприятными свойствами.

Оптимальная концентрация (оптимальный уровень) элементов питания – концентрация элементов питания в почве или растении, при которой создаются условия для создания высокого урожая сельскохозяйственной культуры хорошего качества.

- Оптимальное соотношение элементов питания** – соотношение элементов питания в почве или растении, при котором создаются наилучшие условия для обменных реакций и образования органического вещества в растении.
- Орошение удобрительное** – орошение сельскохозяйственных культур навозными стоками и сточными водами высокой питательной ценности.
- Осадок сточных вод** – совокупность взвешенных частиц и микробной массы (активного ила), образующаяся в результате очистки сточных вод.
- Остатки корневые** – остатки корней растений в почве после уборки урожая.
- Остатки пожнивные** – остатки надземной массы злаковых культур после уборки урожая.
- Остатки растительные** – остатки растений после уборки урожая.
- Отходы бытовые твердые** – отходы из населенных пунктов, состоящие в основном из кухонных отходов, бумаги и других компонентов, которые после переработки биотермическим методом становятся пригодными для использования в качестве удобрения.
- Отходы древесные** – отходы, полученные при вырубке деревьев, кустарников и их переработке.
- Охрана почв** – система мер, направленных на сохранение плодородия почв, предотвращение их нерационального использования и загрязнения.
- Параметры гумусового состояния почвы** – система показателей, характеризующих гумусовое состояние почвы.
- Пахотный слой** – слой почвы, который периодически подвергается основной обработке.
- Пашня** – земельный участок, систематически обрабатываемый и используемый для возделывания сельскохозяйственных культур.
- Перегной** – однородная землистая масса, образовавшаяся в результате разложения навоза и органических остатков растительного или животного происхождения.
- Период вегетационный** – период года, во время которого происходят рост и развитие растений, накопление ими биомассы, формирование и созревание урожая.

- Пескование** – внесение в верхний слой торфяно-болотных почв песка с целью улучшения у них физических свойств и облегчения гранулометрического состава.
- Питание растений** – процесс поглощения из внешней среды и преобразования питательных веществ в соединения, необходимые для жизнедеятельности растения, передвижение первично поглощенных питательных веществ, их преобразование и локализация в местах последующего использования.
- Питание растений корневое** – поступление питательных элементов в растение через подземные органы.
- Питание растений некорневое** – поступление питательных элементов в растение через надземные органы.
- Плодородие почвы** – способность почвы обеспечивать урожай, величина которого зависит от физических, химических и физико-химических свойств самой почвы, а также от климатических условий и культуры земледелия. Различают следующие категории почвенного плодородия: естественное, искусственное, потенциальное, эффективное, относительное и экономическое.
- Плодородие естественное** (природное плодородие) – сформировано в результате почвообразовательного процесса и является объективным свойством почвы.
- Плодородие земель сельскохозяйственного назначения** – способность почвы удовлетворять потребность сельскохозяйственных культурных растений в питательных веществах, воздухе, воде, тепле, биологической и физико-химической среде и обеспечивать урожай.
- Плодородие потенциальное** – это суммарное плодородие почвы, определяемое ее свойствами, как приобретенными в процессе почвообразования, так и созданными или измененными человеком. Зависит от запаса в почве питательных элементов.
- Поглотительная способность почвы** – способность почвы поглощать ионы и молекулы различных веществ из раствора и удерживать их. Виды поглотительной способности почвы: механическая, физическая, обменная, химическая, биологическая.

- Поглощение катионов почвой необменное** – закрепление (фиксация) катионов глинистыми минералами, имеющими трехслойную кристаллическую решетку.
- Поглощенные основания почвы** – поглощенные почвой катионы, за исключением водорода.
- Подкисление почвы** – увеличение кислотности почвы, вызванное почвообразовательным процессом, внесением физиологически кислых удобрений и другими видами воздействия.
- Подкормка растений** – внесение удобрения в период вегетации растений.
- Подкормка растений корневая** – подкормка растений удобрением, основанная на поступлении питательных элементов через корневую систему.
- Подкормка растений междурядная** – способ внесения дозы минерального удобрения лентами или локально-объемным способом в междурядья пропашных культур в период вегетации растений.
- Подкормка растений некорневая** – подкормка удобрениями опрыскиванием или опыливанием надземной части растений.
- Подстилка** – влагоемкие природные материалы (солома, торф, опилки), подстилаемые сельскохозяйственным животным для поглощения мочи и создания теплого сухого ложа.
- Подщелачивание почвы** – уменьшение кислотности почвы или увеличение щелочности почвы, вызванное почвообразовательным процессом, внесением физиологически щелочных удобрений, химических мелиорантов и другими видами воздействия.
- Показатели плодородия почвы** – физические, химические, физико-химические, биологические и другие свойства почвы, характеризующие ее как среду жизнеобитания растений.
- Полифосфаты аммония** – сложные комплексные высококонцентрированные удобрения. Полифосфат аммония содержит 13–23% азота и 56–67% фосфора. Обладают хорошими физическими свойствами, не слеживаются и являются хорошими компонентами для тукосмесей.
- Полова** – отходы, полученные при обмолоте и очистке семян сельскохозяйственных культур.

- Помет** – экскременты птиц с подстилкой или без нее.
- Помет перепревший** – помет, в котором визуально нельзя обнаружить неразложившиеся остатки растений и корма.
- Помет сухой** – помет, содержащий более 80% сухого вещества.
- Помет торфяной** – помет, полученный при использовании торфа в качестве подстилки.
- Последствие удобрения** – влияние удобрения на плодородие почвы, урожайность и качество продукции сельскохозяйственной культуры во второй и последующие годы после прекращения его внесения.
- Потери азота газообразные** – потери азота почвы и удобрений вследствие улетучивания газообразных соединений азота.
- Потери питательного элемента из почвы и удобрения** – потери питательного элемента в результате вымывания из пахотного слоя почвы его подвижных форм и улетучивания газообразных продуктов.
- Почва** – естественно-историческое органоминеральное тело природы, сформировавшееся в результате совокупного длительного воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов. Состоит из твердых минеральных и органических частиц, воды и воздуха и имеет специфические генетико-морфологические признаки, свойства, создающие соответствующие условия для роста и развития растений.
- Почвенный горизонт** – специфический слой почвенного профиля, образовавшийся в результате почвообразовательного процесса.
- Почвенный поглощающий комплекс (ППК)** – совокупность минеральных, органических и органоминеральных высокодисперсных частиц твердой фазы почвы, размер которых менее 0,001 мм, обладающих физико-химической поглотительной способностью (термин К.К. Гедройца).
- Почвенный раствор** – это жидкая фаза почвы, включающая почвенную воду, содержащую растворенные соли, органоминеральные и органические соединения, газы и тончайшие коллоидные золи.
- Почвоутомление** – ухудшение условий выращивания сельскохозяйственных культур при длительном возделывании их на од-

ном и том же участке (монокультура), что приводит к снижению урожайности вне зависимости от внесения достаточного количества удобрений и сохранения благоприятных физических свойств почвы.

Преципитат ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – фосфорное удобрение. Содержание P_2O_5 от 25 до 35% в зависимости от качества исходного сырья. Белый или светло-серый порошок, обладает хорошими физическими свойствами (не слеживается, хорошо рассеивается).

Проба почвы воздушно-сухая – проба почвы, высушенная до постоянной массы при температуре и влажности лабораторного помещения.

Проба почвы единичная – проба определенного объема, взятая однократно из почвенного горизонта.

Проба почвы объединенная – проба почвы, состоящая из заданного количества единичных проб.

Промывка почвы – прием мелиорации засоленных почв, при котором в результате промывания определенным количеством воды происходят растворение и вынос солей из пахотного горизонта в нижележащие.

Протеин сырой – общее количество азотсодержащих веществ в составе растения.

Профиль почвенный – совокупность генетически сопряженных и закономерно сменяющихся почвенных горизонтов, на которые расчленяется почва в процессе почвообразования.

Прочность гранул минерального удобрения – свойство гранул минерального удобрения, характеризующее его способность сохранять размеры и форму под воздействием внешних сил.

Пыль цементная – калийное удобрение, отходы производства цемента, содержит 10–35% K_2O .

Рассеиваемость минерального удобрения – подвижность гранулометрических частиц удобрений при их внесении туковыми сеялками.

Рассолонцевание почвы – способ улучшения солонцовых почв, заключающийся в замещении поглощенного натрия кальцием и удалении растворимых солей (продуктов обмена) путем промывки.

- Рассыпчатость минерального удобрения** – состояние минерального удобрения, характеризующее степень агломерации, выраженное относительным количеством комков в процентах.
- Растения-индикаторы** – растения, по внешнему виду которых легко определить недостаток или избыток какого-либо элемента минерального питания.
- Реакция почвы** – соотношение концентрации H^+ и OH^- -ионов в почвенном растворе, выраженное через показатель рН водной или солевой вытяжки из почвы.
- Регулятор роста растений** – химический препарат, влияющий на процессы роста и развития растений.
- Режим почвы питательный** – содержание питательных элементов в почве в доступной для растений форме в течение вегетационного периода.
- рН** – отрицательный логарифм активности водородных ионов.
- Самоочищение почвы** – способность почвы уменьшать концентрацию загрязняющего вещества в результате протекающих в почве процессов.
- Сапропель** – органические и органоминеральные донные отложения континентальных пресных водоемов.
- Свободная кислотность минерального удобрения** – количество свободной кислоты в составе минерального удобрения.
- Свободная щелочность минерального удобрения** – количество свободной щелочи в составе минерального удобрения.
- Свойства минерального удобрения физические** – совокупность физических и физико-механических свойств минерального удобрения, которые определяют его поведение при хранении, транспортировке и внесении в почву.
- Свойства почвы агрохимические** – совокупность химических свойств почвы, определяющих режим питательных веществ, превращение внесенных удобрений и условия питания растений.
- Сегрегация** – расслоение смешанных удобрений в результате хранения, транспортировки, машинного внесения в почву.
- Селективность обмена ионов в почве** – способность почвы к преимущественному поглощению и обмену отдельных видов ионов.

- Селитра аммиачная (аммонийная) (NH_4NO_3)** – физиологически кислое азотное удобрение, содержит 35% азота (аммиачный и нитратный азот в равных долях); хорошо растворимо в воде, гигроскопично, сильно отсыревает на воздухе, слеживается при хранении. Выпускают в виде белых гранул диаметром 1–3 мм.
- Селитра известково-аммонийная ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\cdot\text{CaCO}_3$)** – аммонийно-нитратное азотное удобрение.
- Селитра кальциевая, азотно-кислый кальций, нитрат кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)** – нитратное азотное удобрение, содержит 15,5% азота. Мелкокристаллическая, хорошо растворимая соль белого или желтоватого цвета, очень гигроскопична, сильно отсыревает и слеживается при хранении. Физиологически щелочное удобрение.
- Селитра натриевая (азотно-кислый натрий, чилийская селитра) (NaNO_3)** – нитратное азотное удобрение, содержит 15–16% азота и 26% натрия. Физиологически щелочное удобрение. Мелкокристаллическая растворимая соль белого, серого или буровато-желтого цвета, гигроскопична, в сухом состоянии сохраняет рассыпчатость.
- Сепарация** – разбрасывание частиц удобрения различных размеров и массы на разное расстояние от туковывсевающего агрегата.
- Сидеральный пар** – пар, занятый растениями, используемыми в качестве сидератов (зеленого удобрения).
- Сидераты** – растения, частично или полностью используемые в качестве органического (зеленого) удобрения.
- Сидераты кулисные** – кулисы, используемые в качестве сидератов.
- Сидерация** – выращивание растений с последующим запахиванием их в почву для повышения ее плодородия.
- Сильвинит ($\text{KCl}+m\text{NaCl}$)** – калийное удобрение, содержит 12–15% K_2O и 35–40% Na_2O ; представляет собой крупные кристаллы (1–4 мм) розовато-бурого цвета, гигроскопично, при хранении слеживается.
- Синергизм ионов** – взаимное ускорение разноименно заряженных ионов при их поступлении в растения.
- Система удобрения** – комплекс мероприятий по рациональному использованию удобрений и других агрохимических средств в

севооборотах, многолетних насаждениях, лугах и пастбищах, направленный на воспроизводство плодородия почвы, получение высоких урожаев требуемого качества и охрану окружающей среды от загрязнения.

Система удобрения в севообороте – распределение органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов и других удобрительных средств по полям севооборота с учетом обеспечения максимального агрономического и экономического эффекта при непрерывном росте плодородия почв и улучшении их агрохимических, агрофизических и биологических свойств.

Система удобрения в хозяйстве – это комплекс агрономических и организационно-экономических мероприятий по рациональному использованию минеральных и органических удобрений, а также химических мелиорантов (известки, гипса и др.) в целях оптимизации плодородия почвы, повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, улучшения качества растениеводческой продукции.

Слеживаемость минерального удобрения – свойство минерального удобрения образовывать фазовые контакты сцепления между зёрнами минерального удобрения при определенных внешних условиях.

Содержание вещества в почве фоновое – содержание вещества в почве, характерное для определенной территории.

Содержание питательных элементов – наличие питательных элементов, усваиваемых растениями и растворимых в воде, нейтральном цитратном растворе, аммиачном цитратном растворе, растворе лимонной кислоты, 2%-ном растворе муравьиной кислоты и т.д.

Состав гумуса фракционный – содержание органических веществ, входящих в отдельные группы гумусовых соединений и различающихся по формам их связи с минеральной частью почвы.

Состав минерального удобрения химический – характеристика минерального удобрения по содержанию питательных элементов, примесей и воды.

Состав соединений азота почвы групповой – содержание отдельных групп соединений азота почвы, выраженное в процентах от содержания валового (общего) азота почвы.

Состав торфа ботанический – характеристика торфа по растениям, из которых он образовался.

Состав фосфатов почвы групповой – содержание разных по составу групп минеральных и органических фосфорсодержащих соединений, извлекаемых из почвы методом последовательных вытяжек разными растворами.

Состояние почвы санитарное – совокупность свойств почвы, которые обуславливают ее влияние на здоровье человека и животных.

Способ внесения удобрения – прием внесения удобрения под сельскохозяйственную культуру.

Способ компостирования очаговый – компостирование, при котором навоз укладывают очагами на торфяную подушку и сверху засыпают торфом, делая бурт.

Способ компостирования площадной – компостирование, при котором на торфяную подушку выгружают навоз, разравнивают его, перемешивают с торфом и образовавшуюся смесь сгребают в бурты.

Способ компостирования послойный – компостирование, при котором в штабелях шириной 4–5 м укладывают, чередуя, слои торфа и навоза.

Степень насыщенности почв основаниями – отношение суммы поглощенных оснований к емкости поглощения катионов почвой, выраженное в процентах. Показывает, какая доля от общей емкости поглощения приходится на поглощенные основания:

$$V = \frac{S \times 100\%}{S + H},$$

где V – степень насыщенности основаниями, %; S – сумма поглощенных оснований мг·экв/100 г почвы; H – гидролитическая кислотность мг·экв/100 г почвы;

$$T = S + H,$$

где T – емкость поглощения, мг·экв./100 г почвы.

Степень подвижности фосфатов почвы – величина, характеризующая способность фосфатов почвы переходить в раствор водной или слабосолевой вытяжек.

- Степень разложения торфа** – характеристика торфа по содержанию гумифицированных веществ. По степени разложения различают торф: слаборазложившийся – содержит 5–25% гумифицированных веществ (используется на подстилку животным); среднеразложившийся – степень разложения 25–40% (используется на удобрение после компостирования); сильноразложившийся – степень разложения более 40% (может непосредственно использоваться на удобрение).
- Стимулятор роста растений** – препарат, ускоряющий физиологические и биохимические процессы в растениях.
- Структура почвы** – размер и форма почвенных отдельностей.
- Сульфат аммония (сернокислый аммоний) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$** – азотное аммонийное физиологически кислое удобрение. Содержит около 21% азота и 23–24% серы. Мелкокристаллическая соль белого или серого цвета, хорошо растворимая в воде, обладает хорошими физическими свойствами: малогигроскопична, не слеживается, хорошо рассеивается.
- Сульфат аммония-натрия $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$** – аммонийное азотное удобрение, отходы производства капролактана. Содержит около 16% N, 20–25% Na_2SO_4 и 9% Na_2O . Кристаллическая соль желтоватого цвета.
- Сульфат калия (K_2SO_4)** – концентрированное калийное удобрение, содержит 46–50% K_2O . Мелкокристаллическое вещество белого цвета с желтоватым оттенком, обладает хорошими физическими свойствами: не гигроскопично, мало слеживается.
- Сумма поглощенных оснований** – общее количество поглощенных оснований в почве.
- Суперфос** – фосфорное удобрение. Содержит 38–40% P_2O_5 , из них 19–20% – в водорастворимой форме.
- Суперфосфат аммонизированный** – суперфосфат, насыщенный аммиаком для улучшения его физических свойств – меньшей гигроскопичности и лучшей рассеиваемости туков сеялками. Содержит 14–18% P и 2–3% N.
- Суперфосфат двойной $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$** – высококонцентрированное фосфорное удобрение, содержащее фосфор в водорастворимых соединениях. Содержит P_2O_5 – 45% и выше, свобод-

ной фосфорной кислоты – до 2,5%. Гранулы светло- и темно-серого цвета.

Суперфосфат простой гранулированный ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) – фосфорное удобрение, содержащее фосфор в водорастворимых соединениях. Гранулы светло-серого и темно-серого цвета, содержание P_2O_5 – 20–22%, до 40% гипса. Удобрение отличается меньшей кислотностью (1–2,5%) и лучшими физическими свойствами, что обеспечивает хорошую его рассеиваемость.

Суперфосфат простой порошковидный ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) – фосфорное удобрение, содержащее фосфор в водорастворимых соединениях. Содержит 16–20% P_2O_5 и до 40% гипса; порошок темно-серого (из фосфорита) или светло-серого (из апатита) цвета с характерным запахом фосфорной кислоты. Содержание свободной P_2O_5 (5–5,5%) значительно ухудшает физические свойства удобрения.

Сыпучесть минерального удобрения – свойство минерального удобрения свободно сыпаться под воздействием гравитационных сил в условиях складского хранения.

Термофосфат – фосфорное щелочное удобрение, содержит 18–34% P_2O_5 .

Технология внесения удобрения – комплекс последовательных производственных операций по внесению удобрения.

Тип почвы – основная единица классификации почв, выделяется по характеру почвенного профиля.

Тип торфа – характеристика торфа по условиям его образования. Выделяют низинный, верховой и переходный торф.

Томашлак – фосфорное щелочное удобрение, содержит от 7–8 до 16–20% цитраторастворимой P_2O_5 . Тяжелый тонкий порошок темно-серого или черного цвета с хорошими физическими свойствами – сыпуч, не слеживается при хранении.

Тонина помола (удобрения, химического мелиоранта) – степень измельчения (удобрения, химического мелиоранта).

Торф – отложение органического происхождения, состоящее из остатков болотных растений, подвергшихся неполному разложению при недостаточном доступе воздуха в условиях повышенной влажности.

- Торф верховой** – торф, образовавшийся в основном из сфагновых мхов на верховых болотах, питаемых атмосферными осадками.
- Торф вивианитовый** – торф с содержанием P_2O_5 более 3%.
- Торф низинный** – торф, образовавшийся из осоково-травянистой и древесной растительности и зеленых мхов на низинных болотах, питаемых грунтовыми водами.
- Торф переходный** – торф, образовавшийся из мхов, осоково-травянистой и древесно-кустарниковой растительности на болотах, питаемых водами поверхностного стока с суходолов.
- Торфовивианит** – торф, содержащий не менее 2% фосфора в виде вивианита.
- Торфотуф** – торф, содержащий не менее 10% CaO. Содержат 10–20%, иногда до 50% $CaCO_3$. Ценное известково-органическое удобрение.
- Трансформация азота в почве** – переход одних форм соединений азота в другие.
- Туф известняковый (ключевая известь)** – известковое удобрение. Содержит от 70 до 90–98% $CaCO_3$ с органическими и минеральными примесями. Рыхлая, пористая, легко рассыпающаяся масса обычно серого, нередко ржавого, бурого и темного цвета. Известняковые туфы, содержащие не более 30% влаги, 85% массы которых мельче 5 мм, разделяют по содержанию $CaCO_3$ на первый (более 80%) и второй (70–80%) сорт.
- Углерод почвы общий** – валовое содержание углерода в почве.
- Угол естественного откоса** – угол образующей конуса свободно насыпанного минерального удобрения с горизонтальной плоскостью.
- Удобрение** – вещество для питания растений и повышения плодородия почвы.
- Удобрение азотное** – минеральное удобрение, содержащее азот в усвояемой растениями форме. Промышленные минеральные азотные удобрения подразделяют на четыре формы: нитратные, аммиачные, аммиачно-нитратные, амидные.
- Удобрение амидное** – минеральное удобрение, содержащее азот в амидной форме – NH_2 (мочевина, цианамид кальция, мочевиноформальдегидные удобрения).

- Удобрение аммиачное** – минеральное удобрение, содержащее азот в аммиачной форме.
- Удобрение аммонийное** – минеральное удобрение, содержащее азот в аммонийной форме.
- Удобрение аммонийно-нитратное** – минеральное удобрение, содержащее азот в аммонийной и нитратной формах.
- Удобрение бактериальное** – удобрение, содержащее культуру микроорганизмов, способствующих при их внесении в почву накоплению в ней усвояемых форм питательных элементов.
- Удобрение бормагниевоe** – минеральное удобрение, содержащее бор и магний. Тонкий порошок серого цвета, отходы производства борной кислоты. Содержит до 2,2% бора и 15–20% окиси магния.
- Удобрение борное** – минеральное удобрение, содержащее бор.
- Удобрение в запас** – разовое внесение удобрения для обеспечения культур севооборота питательными элементами на несколько лет.
- Удобрение гуминовое** – удобрение, действующим веществом которого являются гуминовые кислоты.
- Удобрение железное** – минеральное удобрение, содержащее железо.
- Удобрение известковое** – удобрения промышленного или ископаемого происхождения (карбонаты, гидроксиды, оксиды и силикаты кальция и магния), применяемые с целью устранения избыточной кислотности почвы.
- Удобрение калийное** – минеральное удобрение, содержащее калий в усвояемой растениями форме.
- Удобрение кальциевое** – удобрение, в котором действующим веществом является кальций. К кальциевым удобрениям относятся известняковая мука и др.
- Удобрение кобальтовое** – минеральное удобрение, содержащее кобальт.
- Удобрение комплексное** – минеральное удобрение, содержащее не менее двух основных питательных элементов.
- Удобрение комплексное сложное твердое** – минеральное удобрение, полученное в результате химического взаимодействия исходных компонентов.

- Удобрение комплексное сложносмешанное** – минеральное удобрение, полученное в результате механического смешения двух или более видов удобрений с последующим введением в смесь жидких удобрений или газообразных продуктов.
- Удобрение комплексное смешанное** – минеральное удобрение, полученное в результате механического смешения двух или более видов удобрений.
- Удобрение магниевое** – минеральное удобрение, содержащее магний.
- Удобрение марганцевое** – минеральное удобрение, содержащее марганец.
- Удобрение медное** – минеральное удобрение, содержащее медь.
- Удобрение местное** – удобрение, получаемое в хозяйстве. К местному удобрению относятся навоз, птичий помет, компосты, торф, зола, известковые туфы, сидераты и др.
- Удобрение минеральное** – удобрение промышленного или ископаемого происхождения, содержащее питательные элементы в минеральной форме.
- Удобрение минеральное гранулированное** – минеральное удобрение, полученное методами структурного гранулирования и состоящее в основном из гранул размером от 1 до 6 мм.
- Удобрение минеральное жидкое** – минеральное удобрение в виде раствора или суспензии питательных элементов в соответствующем растворителе.
- Удобрение минеральное капсулированное** – гранулированное удобрение, покрытое тонкой водонепроницаемой пленкой органических полимеров.
- Удобрение минеральное кристаллическое** – минеральное удобрение, полученное в виде кристаллов с размером частиц в основном свыше 0,5 мм.
- Удобрение минеральное однокомпонентное** – минеральное удобрение, содержащее один основной (главный) питательный элемент.
- Удобрение минеральное порошковидное** – минеральное удобрение, состоящее в основном из частиц размером менее 1 мм.
- Удобрение минеральное сложное** – комплексное твердое или жидкое минеральное удобрение, в котором все частицы, кри-

сталлы или гранулы имеют одинаковый или близкий химический состав.

- Удобрение минеральное смешанное** – комплексное минеральное удобрение, полученное путем механического смешивания готовых порошковидных, кристаллических или гранулированных удобрений.
- Удобрение минеральное твердое** – порошковидное или гранулированное удобрение.
- Удобрение минеральное, длительно действующее** – удобрение, постепенно отдающее питательные элементы в течение одного или нескольких вегетационных периодов.
- Удобрение молибденовое** – минеральное удобрение, содержащее молибден.
- Удобрение мочевиноформальдегидное (МФУ, уреаформ, карбамидформ)** – азотное удобрение, содержит 38–40% азота, из которого 8–10% находится в водорастворимой, а остальные 30–32% – в водонерастворимой, но доступной для растений форме. Белый рассыпчатый порошок, малогигроскопичный, при хранении не слеживается, хорошо рассеивается.
- Удобрение нитратное** – минеральное удобрение, содержащее азот в нитратной форме.
- Удобрение органическое** – удобрение, содержащее органическое вещество растительного и животного происхождения.
- Удобрение органоминеральное** – смесь органического и минерального удобрений, полученная в едином технологическом процессе или путем механического смешения.
- Удобрение промышленное** – минеральное удобрение, получаемое на специальных химических туковых заводах.
- Удобрение прямое** – удобрение, улучшающее питание растений различными питательными элементами (азотом, фосфором, калием и т.д.).
- Удобрение с микроэлементами** – минеральное удобрение, содержащее макроэлементы и микроэлементы.
- Удобрение серное** – минеральное удобрение, содержащее серу.
- Удобрение сложносмешанное** – удобрение, полученное путем смешения готовых однокомпонентных и сложных удобрений и введением в смесь жидких и газообразных продуктов.

- Удобрение торфоминеральное** – смесь торфа с минеральными удобрениями и известью.
- Удобрение физиологически кислое** – удобрение, при внесении которого подкисляется почвенный раствор из-за преимущественного использования растениями катионов.
- Удобрение физиологически щелочное** – удобрение, при внесении которого подщелачивается почвенный раствор из-за преимущественного использования растениями анионов.
- Удобрение фосфорное** – минеральное удобрение, содержащее фосфор.
- Удобрение цинковое** – минеральное удобрение, содержащее цинк.
- Ультрамикроэлементы** – химические элементы, содержащиеся в растениях в количестве менее 0,000001% в расчете на сухое вещество.
- Урожай** – продукция, полученная в результате выращивания сельскохозяйственной культуры.
- Урожайность** – количество сельскохозяйственной продукции, полученной с единицы площади.
- Физическая поглотительная способность почвы** – способность почвы удерживать на поверхности твердой фазы минеральные и органические вещества за счет молекулярных взаимодействий (адсорбции).
- Фиксаналы** – это заранее приготовленные и запаянные в стеклянных ампулах точно отвешенные количества реактива, необходимые для приготовления 1 л 0,1 н или 0,01 н раствора. На каждой ампуле имеется надпись, какое вещество или раствор находится в ампуле, и указано количество вещества (0,1 или 0,01 г-экв).
- Фиксация аммонийного азота в почве** – необменное связывание аммонийного азота почвы.
- Фиксированный калий почвы** – поглощенный почвой калий, не вытесняемый растворами нейтральных солей.
- Фитотоксичность почвы** – свойство загрязненной почвы оказывать угнетающее действие на растения вследствие наступления физиологических процессов.

- Форма удобрения минерального** – характеристика минеральных удобрений, относящихся к одному виду, но различающихся по химическому составу (например, азотные удобрения – аммиачная селитра, мочевины и др., фосфорные удобрения – суперфосфат, фосфоритная мука и др.).
- Формы элементов подвижные** – формы химических элементов, извлекаемые из почвы или субстратов различными вытяжками.
- Фосфат магния плавленный** – фосфорное удобрение, содержит 20% P_2O_5 в лимонно-растворимой форме и около 12% MgO .
- Фосфат обесфторенный ($Ca_3(PO_4)_2$)** – фосфорное удобрение, содержит 20–32% цитратно-растворимой P_2O_5 , обладает хорошими физическими свойствами.
- Фосфатмагнезия, магний-аммоний фосфат ($MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$)** – тройное сложное удобрение, содержащее 11% N, 46% P_2O_5 , 26% MgO . Слаборастворимое, медленно действующее удобрение, все элементы которого доступны для растений.
- Фосфатный режим почв** – способность почв снабжать растения фосфором.
- Фосфатшлак мартеновский** – фосфорное удобрение, побочный продукт при выплавке стали. Содержит 8–12% цитратно-растворимой P_2O_5 . Щелочное удобрение.
- Фосфаты почвы остаточные** – фосфаты, накопленные почвой в результате внесения фосфорных удобрений и взаимодействия их с почвой.
- Фосфаты почвы подвижные** – фосфаты почвы, переходящие в слабокислые, солевые и слабощелочные вытяжки.
- Фосфаты удобрения водорастворимые** – фосфаты удобрения, растворимые в воде.
- Фосфаты удобрения лимонно-растворимые** – фосфаты удобрения, растворимые в лимонной кислоте.
- Фосфаты удобрения цитратно-растворимые** – фосфаты удобрения, растворимые в щелочном растворе лимоннокислого аммония.
- Фосфогипс** – химический мелиорант, применяемый для гипсования почв. Отходы при производстве фосфорных удобрений (двойного суперфосфата и преципитата). Очень тонкий поро-

- шок серого или белого цвета, содержит 70–75% CaSO_4 и небольшое количество фосфора (2–3% P_2O_5), вследствие чего имеет преимущество перед природным гипсом.
- Фосфор почвы валовой** – общее содержание фосфора в почве.
- Фосфор почвы минеральный** – часть фосфора почвы, представленная минеральными соединениями.
- Фосфор почвы органический** – фосфорсодержащие органические соединения, являющиеся резервом для пополнения запасов доступных растениям фосфатов почвы.
- Фосфоритная мука ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)** – самое дешевое фосфорное удобрение, содержание P_2O_5 в зависимости от сорта составляет 1–30%.
- Фосфоритование почвы** – внесение фосфоритной муки для увеличения запасов подвижных фосфатов в почве.
- Фульвокислоты** – группа гумусовых кислот, растворимых в воде и кислотах.
- Химическая поглотительная способность почвы** – способность почвы удерживать образовавшиеся в результате химических реакций нерастворимые или труднорастворимые в воде соединения.
- Хлорид аммония (NH_4Cl)** – азотное аммонийное удобрение, содержит 24–25% N и около 67% Cl. Мелкокристаллическая белая или желтоватая соль, хорошо растворимая в воде; малогигроскопична, не слеживается, хорошо рассеивается. Физиологически кислое удобрение.
- Цианамид кальция (CaCN_2)** – азотное амидное удобрение. Содержит 20–21% N. Легкий, тонкий, сильно пылящий порошок черного или темно-серого цвета; щелочное удобрение.
- Цикличность известкования** – периодичность проведения повторного известкования почвы.
- Цинк сернокислый ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)** – цинковое удобрение. Содержит 25% Zn, белый кристаллический порошок, хорошо растворимый в воде.
- Шламы марганцевые** – отходы марганцевого производства с содержанием марганца от 10 до 17%, могут использоваться в качестве марганцевых удобрений. Содержат около 20% Ca и Mg, 25–28% кремнекислоты и небольшое количество фосфора.

Щелочность общая – суммарное содержание в почве ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} .

Щелочность почвы – способность почвы проявлять свойства оснований.

Щелочность почвы актуальная – щелочность почвы, обусловленная наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей.

Щелочность почвы потенциальная – щелочность, проявляющаяся у почв, в почвенном поглощающем комплексе которых в обменно-поглощенном состоянии содержится натрий, способный при вытеснении в раствор усиливать щелочность почвенного раствора.

Элемент питательный – химический элемент, необходимый для роста и развития растений. По концентрации подразделяется на макроэлементы, микроэлементы, ультрамикроэлементы.

Элементарный участок – это наименьшая площадь, которую можно охарактеризовать одной объединенной пробой почвы.

Элементы биогенные – химические элементы, входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции.

Элементы органогенные – элементы (С, О, Н, N), на долю которых приходится 95% сухой массы растений.

Эрозия почвы – разрушение и снос верхних, наиболее плодородных горизонтов почвы в результате действия воды и ветра.

Эффект взаимодействия удобрений – эффект, полученный от совместного действия двух или большего числа питательных элементов, по сравнению с эффектом, полученным от отдельного их внесения.

Эффективность удобрения – показатель, характеризующий степень положительного влияния удобрения на плодородие почвы, урожайность сельскохозяйственной культуры и качество продукции.

Эффективность удобрения агрономическая – окупаемость единицы удобрений полученной прибавкой товарной продукции (или хозяйственного урожая), культуры (или севооборота) в конкретных почвенно-климатических условиях.

Эффективность удобрения экономическая – стоимостное сопоставление произведенной продукции с суммарными затратами на ее производство. Выражается рядом показателей: чистым доходом, производительностью труда, окупаемостью затрат, себестоимостью продукции, рентабельностью и др.

Эффективность удобрения энергетическая – отношение накопленной в прибавке продукции энергии к суммарным энергетическим затратам на производство, транспортировку, хранение и внесение удобрений и на уборку, транспортировку, хранение, доработку и реализацию этой прибавочной продукции.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ГВ – гигроскопическая влага

д.в. – действующее вещество

КАС – карбид-аммонийно-нитратные удобрения

КИП – коэффициент использования питательных элементов из естественных запасов почвы

КИУ – коэффициент использования питательных элементов из удобрений

МФУ – мочевино-формальдегидные удобрения

ППК – почвенный поглощающий комплекс

ПЭУ – процент использования питательного элемента растения

ТХУ – трихлоруксусная кислота

х.ч. – химически чистый

ч.д.а. – чистый для анализа

1,0 н раствор – однонормальный раствор

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 28168 –89 Почвы. Отбор проб. URL: <http://www.gosthelp.ru/gost/gost38689.html>
2. *Воробьёва Л.А.* Химический анализ почв. М. : Изд-во МГУ, 1998. 271 с.
3. *Шеин Е.В.* Курс физики почв. М. : Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
4. *Середина В.П., Спирина В.З.* Показатели и методы оценки кислотно-основных и катионообменных свойств почв : учеб. пособие. Томск : Изд-во ТГУ, 2009. 129 с.
5. *Орлов Д.С., Гришина Л.А.* Практикум по химии гумуса. М. : Изд-во МГУ, 1981. 272 с.
6. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М. : МГУ, 1970. 483 с.
7. *Практикум по агрохимии / И.Р. Вильдфлуша, С.П. Кукреша.* Минск : Ураджай, 1998. 270 с.
8. *Агрохимические методы исследования почв / под ред. А.В. Соколова.* М. : Наука, 1975. 656 с.
9. *Минев В.Г.* Агрохимия : учеб. М. : Наука, 2004. 719 с.
10. *Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А., Большеева Т.Н., Гомонова Н.Ф., Дурынина Е.П., Егоров В.С., Егорова Е.В., Едемская Н.Л., Карпова Е.А., Прижукова В.Г.* Практикум по агрохимии : учеб. пособие. 2-е изд. перераб. и доп. / под ред. акад. РАСХН В.Г. Минеева. М. : Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
11. *Бойко В.Ф., Цитович М.К.* Агрохимическая лаборатория (практическое руководство). М. : Сов. наука, 1959. 497 с.
12. *Петербургский А.В.* Практикум по агрономической химии. М. : Колос, 1968. 495 с.
13. ГОСТ 20851.2 URL: <http://img.standartgost.ru/images/pages/Data/357/35722/0.gif>
14. *Ягодин Б.А.* Агрохимия. М. : Колос, 1989. 655 с.
15. *Справочник агронома Сибири / под ред. И.И. Синягина, А.И. Тютюнникова.* М. : Колос, 1978. 527 с.
16. *Ермохин Ю.И.* Основы прикладной агрохимии : учеб. пособие. Омск : Вариант-Сибирь, 2004. 120 с.
17. *Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П.* Система удобрений. М. : Колос, 2002. 320 с.
18. *Кочергин А.Е., Гамзиков Г.П.* Эффективность азотных удобрений в черноземной зоне Западной Сибири // Агрохимия. 1972. № 6. С. 3–10.

19. *Ермохин Ю.И., Бобренко И.А.* Применение органических удобрений в Западной Сибири : учеб. пособие. Омск : Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2008. 124 с. : табл.
20. *Словарь агрохимических терминов (для участников географической сети опытов с удобрениями) / сост. А.С. Цыгуткин.* М. : ВНИИА, 2005. 44 с.
21. *Муха В.Д., Муха Д.В., Ачкасов А.Л.* Практикум по агрономическому почвоведению : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. СПб. : Лань, 2013. 480 с.: ил.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Сопроводительная ведомость отбора почвенных проб

Почвенные пробы в количестве _____ штук отобраны _____

наименование хозяйства

в период с _____ по _____ почвоведом-
агрохимиком _____

Ф. И. О.

Дата отправки проб « _____ » _____ 20 _____ г.

| № | Вид тары (перечисляются каждый ящик и мешок) | Число проб | Номера проб | Примечание |
|---|---|------------|-------------|------------|
| | | | | |
| | | | | |

Обозначение настоящего стандарта

_____ личная подпись

_____ Расшифровка подписи

Приложение 2

Количество вещества в 1 л нормального раствора (нормальная масса)

| Реактив | Формула | Нормальная масса |
|---------------------------------------|---|------------------|
| Азотная кислота | HNO_3 | 63,02 |
| Аммиак | NH_3 | 17,03 |
| Аммоний азотнокислый | NH_4NO_3 | 80,05 |
| Аммоний роданистый | NH_4CNS | 76,12 |
| Аммоний сернокислый | $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | 66,08 |
| Аммоний углекислый | $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 57,05 |
| Аммоний хлористый | NH_4Cl | 53,50 |
| Аммоний щавелевокислый | $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 71,09 |
| Барий хлористый | BaCl_2 | 122,15 |
| Железо хлорное | $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 90,11 |
| Калий азотнокислый | KNO_3 | 101,11 |
| Калий гидроокись | KOH | 56,11 |
| Калий двухромовокислый | $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ | 49,04 |
| Калий хромовокислый | $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ | 97,11 |
| Калий йодистый | KI | 166,02 |
| Калий марганцовокислый | KMnO_4 | 31,61 |
| Калий фосфорнокислый однозамещенный | KH_2PO_4 | 45,37 |
| Калий хлористый | KCl | 74,56 |
| Кальций углекислый | CaCO_3 | 50,05 |
| Кальций гидроокись | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 37,05 |
| Кальций фосфорнокислый двухзамещенный | $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 57,37 |
| Кобальт хлористый | $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 118,98 |
| Магний сернокислый | $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 123,25 |
| Натрий азотнокислый | NaNO_3 | 85,01 |
| Натрий гидроокись | NaOH | 40,01 |
| Натрий сернокислый | $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ | 161,11 |
| Натрий углекислый | $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ | 148,82 |
| Натрий углекислый кислый | NaHCO_3 | 42,01 |
| Натрий фосфорнокислый двухзамещенный | $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ | 119,39 |
| Натрий фтористый | NaF | 42,00 |
| Натрий хлористый | Na_2Cl | 58,46 |
| Олово хлористое | $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 112,83 |
| Серебро азотнокислое | AgNO_3 | 169,89 |
| Серебро сернокислое | Ag_2SO_4 | 155,92 |
| Свинец уксуснокислый | $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ | 189,67 |
| Серная кислота | H_2SO_4 | 49,04 |
| Соляная кислота | HCl | 36,47 |
| Соль Мора | $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 98,04 |
| Уксусная кислота | CH_3COOH | 60,05 |
| Щавелевая кислота | $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 63,03 |
| Янтарная кислота | $\text{COOH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$ | 59,04 |

Основные параметры фильтровальной бумаги

| Цвет ленты | Размер пор, мкм | Плотность | Скорость фильтрации | Способность задерживать определенные осадки | Зольность |
|-----------------------|-----------------|---------------|----------------------------|--|--------------|
| Черная | ≥12 | Рыхлая | Быстрофильтрующая | Аморфные | Зольная |
| Красная | 8–12 | Рыхлая | Быстрофильтрующая | Аморфные, крупнодисперсные, творожистые | Обеззоленная |
| Белая | 5–8 | Средняя | Среднефильтрующая | Крупнодисперсные | Обеззоленная |
| Синяя | 3–5 | Плотная | Медленнофильтрующая | Мелкозернистые | Обеззоленная |
| Зеленая | 2–3 | Очень плотная | Очень медленно фильтрующая | Мелкокристаллические | Обеззоленная |
| Желтая (обезжиренные) | 5–8 | Средняя | Среднефильтрующая | Крупнодисперсные. Принимают для определения жира в природном сырье | Зольная |

Объем или масса вещества для приготовления 1 л растворов разной нормальности

| Формула | Исходное вещество | | | | | Молярная концентрация эквивалентов | | | | | | |
|--|---------------------------------|--------|---------|---------|---------|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Молярная масса, г/моль вещества | | 1,0 | 0,5 | 0,2 | 1,0 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,02 | 0,01 |
| | 98,08 | 49,04 | | | | | | | | | | |
| H ₂ SO ₄ (1,84) | 36,46 | 36,46 | 28 мл | 14 мл | 5,6 мл | 82 мл | 41 мл | 16,4 мл | 4,1 мл | 1,4 мл | 0,56 мл | 0,28 мл |
| HCl (1,19) | 158,03 | 31,61 | – | – | – | – | – | – | 3,16 г | 1,58 г | 0,63 г | 0,32 г |
| KMnO ₄ в кислой среде | 40,00 | 40,00 | 40,00 г | 20,00 г | 8,00 г | 40,00 г | 20,00 г | 8,00 г | 4,00 г | 2,00 г | 0,80 г | 0,40 г |
| NaOH | 169,89 | 169,89 | – | – | – | – | – | – | 17,00 г | 8,5 г | 3,4 г | 1,7 г |
| AgNO ₃ | 392,16 | 392,16 | – | – | 78,40 г | – | – | – | 39,20 г | 19,60 г | 7,84 г | 3,92 г |
| Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄)·6H ₂ O (соль Мора) | 294,22 | 49,04 | – | – | 9,81 г | – | – | – | 4,90 г | 2,45 г | 0,98 г | 0,49 г |
| K ₂ Cr ₂ O ₇ | | | | | | | | | | | | |

Приложение 5

Количество (мл) кислот и аммиака, необходимое для приготовления 1 л растворов с разной массовой концентрацией

| Исходное химически чистое вещество | | Массовая концентрация, % | | | | | | | |
|------------------------------------|------|--|-----------------|-------|-------|-------|------|------|---|
| | | Плотность при t 15 °С, г/см ³ | Концентрация, % | 25 | 20 | 10 | 5 | 2 | 1 |
| Формула | | | | | | | | | |
| HCl | 1,19 | 37,23 | 634,8 | 496,8 | 236,4 | 115,2 | 45,5 | 22,6 | |
| H ₂ SO ₄ | 1,84 | 95,6 | 167,7 | 129,9 | 60,6 | 29,3 | 11,5 | 5,6 | |
| HNO ₃ | 1,4 | 65,6 | 313,0 | 243,6 | 115,0 | 56,0 | 22,0 | 10,8 | |
| CH ₃ COOH | 1,05 | 99,5 | 247,8 | 196,7 | 97,1 | 48,2 | 19,2 | 9,0 | |
| NH ₄ OH | 0,91 | 25,0 | 1 000 | 814,0 | 422,0 | 215,4 | 87,2 | 43,7 | |

Приложение 6

Химический состав и свойства азотных удобрений

| Удобрение | Химический состав | Содержание азота, % | Растворимость в воде | Культуры, для которых удобрение наиболее пригодно | Условия смешивания с другими удобрениями |
|-------------------|---|---------------------|----------------------|---|---|
| Аммиачная селитра | NH ₄ NO ₃ | 34,7–35,0 | Хорошая | Для всех | При смешивании с суперфосфатом последний следует нейтрализовать |
| Мочевина | CO(NH ₂) ₂ | 46 | Сильная | Для всех, обладает пролонгированным действием | Смешивать можно незадолго до внесения |
| Сульфат аммония | (NH ₄) ₂ SO ₄ | 20,8–21,0 | Сильная | Для всех, особенно для картофеля | При смешивании с суперфосфатом последний следует нейтрализовать |

Окончание прил. 6

| Удобрение | Химический состав | Содержание азота, % | Растворимость в воде | Культуры, для которых удобрение наиболее пригодно | Условия смешивания с другими удобрениями |
|--|---|---------------------|-------------------------------------|--|--|
| Хлористый аммоний | NH_4Cl | 24,0–25,0 | Умеренная | Для нечувствительных к хлору, непригоден для картофеля и табака | Смешивать можно незадолго до внесения |
| Натриевая селитра | NaNO_3 | 16,5 | Очень сильная | Для всех, но особенно для свеклы | Для смешивания с суперфосфатом должна быть высушена |
| Кальциевая селитра | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 15,5–17,0 | Сильная | Для всех. Рекомендуется для внесения на кислых почвах | Нельзя смешивать с суперфосфатом |
| Цианамид кальция | CaCN_2 | 20,0–22,0 | Хорошая | Для всех. Рекомендуется для внесения на кислых почвах | Порошковидный, смешивать можно незадолго до внесения |
| Мочевинно-формальдегидное удобрение (МФУ) | Продукт конденсации мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и формальдегида CH_2O | 38,0–40,0 | Пониженная, удобрение не вымывается | Под зерновые культуры и лен, под все культуры при орошении и на легких почвах. | Смешивать можно незадолго до внесения |
| Водный аммиак | NH_4OH | 16,0–20,0 | – | Для культур сплошного сева, заделывается в почву на глубину 10–12 см | Можно вносить только с водными растворами других удобрений |
| Карбамид-аммонийно-нитратные удобрения (КАС) | Водный раствор мочевины и аммиачной селитры | 28,0–32,0 | – | Под все сельскохозяйственные культуры в качестве основного удобрения и для подкормок | Можно вносить только с водными растворами других удобрений. Не содержит свободного аммиака |

Химический состав и свойства фосфорных удобрений

| Удобрение | Химический состав | Содержание P_2O_5 , % | Растворимость в воде | Условия смешивания с другими удобрениями |
|-------------------------------------|--|-------------------------|---|---|
| Суперфосфат простой порошковидный | $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + CaSO_4$ с примесью H_3PO_4 в пересчете на P_2O_5 до 5,5% | 15–22 | Фосфорная кислота водорастворимая | Смешивать с аммиачными и нитратными удобрениями можно, если суперфосфат нейтрализован |
| Суперфосфат простой гранулированный | $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + CaSO_4$ с примесью H_3PO_4 в пересчете на P_2O_5 до 1,0–2,5% | 15–22 | Фосфорная кислота водорастворимая | Смешивать можно с азотными и калийными удобрениями перед внесением |
| Суперфосфат двойной гранулированный | $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ с примесью H_3PO_4 в пересчете на P_2O_5 до 5,7% | 38–53 | 65–97% P_2O_5 водорастворимая, остальная часть цитратнорастворимая | Смешивать можно перед внесением удобрений |
| Фосфоритная мука | $Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaCO_3$ с примесью апатита, соединений железа и алюминия | 19–23 | Растворяется в сильных кислотах, частично растворима в лимонной кислоте | Смешивается с любыми удобрениями, кроме щелочных азотных; с кислыми удобрениями растворимость увеличивается |
| Преципитат | $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ | 38–40 | P_2O_5 растворимая в лимонно-кислом аммонии | Смешивать можно перед внесением удобрений |
| Обесфторенные фосфаты | В виде трикальцийфосфата и силикофосфатов | 32 | P_2O_5 растворимая в лимонной кислоте | Смешивать можно только перед внесением с любыми сухими удобрениями |

Химический состав и свойства калийных удобрений

| Удобрение | Химический состав | Содержание K_2O , % | Содержание хлора, кг на 1 кг K_2O | Слеживаемость | Рассеиваемость |
|------------------------------------|--|-----------------------|-------------------------------------|--|---|
| Хлористый калий | KCl с небольшой примесью NaCl | 53,6–62,5 | 0,90–0,95 | Сильно слеживается, обработанный нами не слеживается | Хорошая в сухом состоянии |
| Хлористый калий электролит | KCl с примесью NaCl и $MgCl_2$ | 45 | – | Не слеживается | Хорошая, не порошкообразное удобрение пылит |
| Сульфат калия | K_2SO_4 | 45–58 | 0,02–0,03 | Не слеживается | Хорошая |
| Сульфат калия-магния (калмагнезия) | $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$ | 28–30 | 0,08–0,10 | Не слеживается | Хорошая |
| Калийная соль 40%-ная (30%-ная) | KCl+NaCl | 30–40 | 1,35–1,92 | Слеживается | Удовлетворительная в сухом состоянии |
| Калимаг | $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ с примесью сульфатов кальция и хлористого натрия | 17,5–19,0 | 0,10 | Не слеживается | Очень хорошая, но пылит |
| Каинит | KCl·2 $MgSO_4$ ·3 H_2O с примесью NaCl (до 50%) | 9–10 | 2,0–2,5 | Слеживается | Удовлетворительная в сухом состоянии |
| Карналлит | KCl·(MgCl) ₂ ·6 H_2O с примесью NaCl | 12–13 | 3,0–3,3 | Сильно слеживается | Очень плохая |
| Углекислый калий | K_2CO_3 | 55–65 | Нет | Слеживается | Плохая |

Таблица Финкенера для пересчета мл СО₂ в мг СО₂* [21]

| t, °C | Показания барометра, мм рт. ст. | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 742 | 744,5 | 747 | 749 | 751 | 753,5 | 756 | 758 | 760 | 762,5 | 765 | 767 | 769 | 771 | 774 |
| 28 | 1,778 | 1,784 | 1,791 | 1,797 | 1,804 | 1,810 | 1,817 | 1,823 | 1,828 | 1,833 | 1,837 | 1,842 | 1,847 | 1,853 | 1,856 |
| 27 | 1,784 | 1,790 | 1,797 | 1,803 | 1,810 | 1,816 | 1,823 | 1,829 | 1,834 | 1,839 | 1,843 | 1,848 | 1,853 | 1,858 | 1,863 |
| 26 | 1,791 | 1,797 | 1,803 | 1,809 | 1,816 | 1,822 | 1,829 | 1,835 | 1,840 | 1,845 | 1,849 | 1,854 | 1,859 | 1,864 | 1,869 |
| 25 | 1,797 | 1,803 | 1,810 | 1,816 | 1,823 | 1,829 | 1,836 | 1,842 | 1,847 | 1,852 | 1,856 | 1,861 | 1,866 | 1,871 | 1,876 |
| 24 | 1,803 | 1,809 | 1,816 | 1,822 | 1,829 | 1,835 | 1,842 | 1,848 | 1,853 | 1,858 | 1,862 | 1,867 | 1,872 | 1,877 | 1,882 |
| 23 | 1,809 | 1,815 | 1,822 | 1,828 | 1,835 | 1,841 | 1,848 | 1,854 | 1,859 | 1,864 | 1,868 | 1,873 | 1,878 | 1,883 | 1,888 |
| 22 | 1,815 | 1,821 | 1,828 | 1,834 | 1,841 | 1,847 | 1,854 | 1,860 | 1,865 | 1,870 | 1,875 | 1,880 | 1,885 | 1,890 | 1,895 |
| 21 | 1,822 | 1,828 | 1,835 | 1,841 | 1,848 | 1,854 | 1,861 | 1,867 | 1,872 | 1,877 | 1,882 | 1,887 | 1,892 | 1,897 | 1,902 |
| 20 | 1,828 | 1,834 | 1,841 | 1,847 | 1,854 | 1,860 | 1,867 | 1,873 | 1,878 | 1,883 | 1,888 | 1,893 | 1,898 | 1,903 | 1,908 |
| 19 | 1,834 | 1,840 | 1,847 | 1,853 | 1,860 | 1,866 | 1,873 | 1,879 | 1,884 | 1,889 | 1,894 | 1,899 | 1,904 | 1,909 | 1,914 |
| 18 | 1,840 | 1,846 | 1,853 | 1,859 | 1,866 | 1,872 | 1,879 | 1,885 | 1,890 | 1,895 | 1,900 | 1,905 | 1,910 | 1,915 | 1,920 |
| 17 | 1,846 | 1,853 | 1,860 | 1,866 | 1,873 | 1,879 | 1,886 | 1,892 | 1,897 | 1,902 | 1,907 | 1,912 | 1,917 | 1,922 | 1,927 |
| 16 | 1,853 | 1,860 | 1,866 | 1,873 | 1,879 | 1,886 | 1,892 | 1,898 | 1,903 | 1,908 | 1,913 | 1,918 | 1,923 | 1,928 | 1,933 |
| 15 | 1,859 | 1,866 | 1,872 | 1,879 | 1,886 | 1,892 | 1,899 | 1,905 | 1,910 | 1,915 | 1,920 | 1,925 | 1,930 | 1,935 | 1,940 |
| 14 | 1,865 | 1,872 | 1,878 | 1,885 | 1,892 | 1,899 | 1,906 | 1,912 | 1,917 | 1,922 | 1,927 | 1,932 | 1,937 | 1,942 | 1,947 |
| 13 | 1,872 | 1,878 | 1,885 | 1,892 | 1,899 | 1,906 | 1,913 | 1,919 | 1,924 | 1,929 | 1,934 | 1,939 | 1,944 | 1,949 | 1,954 |
| 12 | 1,879 | 1,885 | 1,892 | 1,899 | 1,906 | 1,912 | 1,919 | 1,925 | 1,930 | 1,935 | 1,940 | 1,945 | 1,950 | 1,955 | 1,960 |
| 11 | 1,885 | 1,892 | 1,899 | 1,906 | 1,913 | 1,919 | 1,926 | 1,932 | 1,937 | 1,942 | 1,947 | 1,952 | 1,957 | 1,962 | 1,967 |
| 10 | 1,892 | 1,899 | 1,906 | 1,913 | 1,920 | 1,926 | 1,933 | 1,939 | 1,944 | 1,949 | 1,954 | 1,959 | 1,964 | 1,969 | 1,974 |

* Числа показывают массу 1 мл СО₂ в зависимости от температуры и атмосферного давления, мг.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| Предисловие | 3 |
| Глава 1. Техника безопасности при работе в агрохимической лаборатории | 5 |
| Глава 2. Агрохимические методы исследования почв | 13 |
| 2.1. Отбор почвенных образцов | 13 |
| 2.2. Подготовка почвы к агрохимическому анализу | 17 |
| 2.3. Влажность почвы | 19 |
| 2.4. Кислотность почвы | 24 |
| 2.5. Обменные основания почвы | 39 |
| 2.6. Обеспеченность почв питательными элементами | 60 |
| Контрольные вопросы к главе | 94 |
| Глава 3. Анализ растений | 96 |
| 3.1. Подготовка растительной пробы к анализу | 96 |
| 3.2. Анализ растительных образцов | 101 |
| Контрольные вопросы к главе | 122 |
| Глава 4. Анализ удобрений | 124 |
| 4.1. Основные свойства минеральных удобрений | 124 |
| 4.2. Качественные реакции распознавания минеральных удобрений | 131 |
| 4.3. Азотные удобрения | 140 |
| Контрольные вопросы к параграфу | 161 |
| 4.4. Фосфорные удобрения | 163 |
| Контрольные вопросы к параграфу | 183 |
| 4.5. Калийные удобрения | 184 |
| Контрольные вопросы к параграфу | 199 |
| 4.6. Химическая мелиорация почв | 201 |
| Контрольные вопросы к параграфу | 223 |
| 4.7. Анализ торфа | 224 |
| Контрольные вопросы к параграфу | 249 |
| Глава 5. Прикладные аспекты агрохимии | 251 |
| 5.1. Диагностика потребности растений в удобрениях | 251 |
| 5.2. Расчет запасов гумуса и питательных элементов в почве | 253 |
| 5.3. Расчет доз удобрений | 255 |
| Термины и определения | 283 |
| Список принятых сокращений | 320 |
| Литература | 321 |
| Приложения | 323 |
| Приложение 1. Сопроводительная ведомость отбора почвенных проб | 325 |

| | |
|--|-----|
| Приложение 2. Количество вещества в 1 л нормального раствора (нормальная масса) | 326 |
| Приложение 3. Основные параметры фильтровальной бумаги | 327 |
| Приложение 4. Объем или масса вещества для приготовления 1 л растворов разной нормальности | 327 |
| Приложение 5. Количество (мл) кислот и аммиака, необходимое для приготовления 1 л растворов с разной массовой концентрацией | 328 |
| Приложение 6. Химический состав и свойства азотных удобрений | 328 |
| Приложение 7. Химический состав и свойства фосфорных удобрений | 330 |
| Приложение 8. Химический состав и свойства калийных удобрений | 331 |
| Приложение 9. Таблица Финкенера для пересчета мл CO_2 в мг CO_2 | 332 |

Учебное издание

**Валентина Захаровна Спирина
Татьяна Петровна Соловьева**

**АГРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ,
РАСТЕНИЙ И УДОБРЕНИЙ**

Учебное пособие

Редактор Ю.П. Готфрид
Компьютерная верстка А.И. Лелююр
Дизайн обложки Л.Д. Кривцовой
Фото на обложке Г.А. Поповой

Подписано к печати 22.09.2014 г. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага для офисной техники. Гарнитура Times.

Усл. печ. л. 19,5.

Тираж 150 экз. Заказ № 311.

Отпечатано на оборудовании
Издательского Дома
Томского государственного университета
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Тел. 8+(382-2)-53-15-28

ISBN 978-5-94621-385-1



9 785946 213851

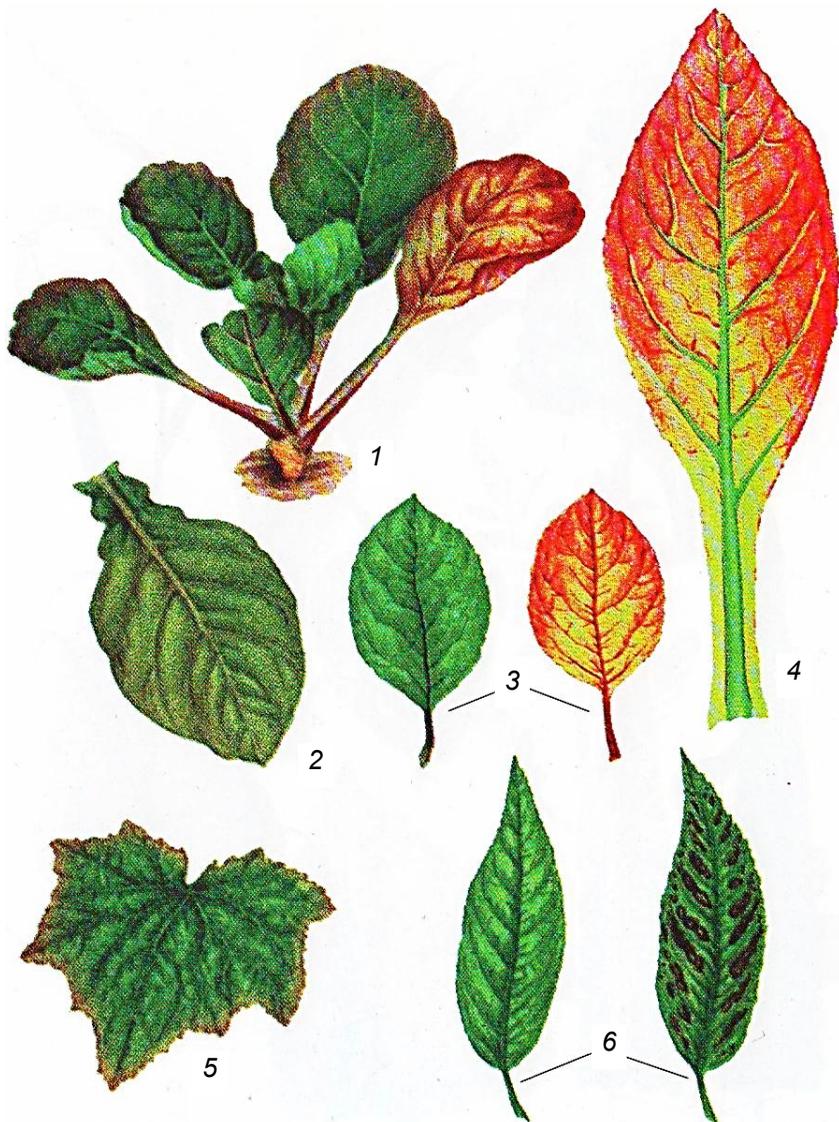


Рис. 1. Признаки азотного голодания у растений:
1 – капуста белокочанная; 2 – табак; 3 – яблоня (две последовательные стадии голодания); 4 – цветная капуста; 5 – огурцы; 6 – персик (две последовательные стадии голодания)

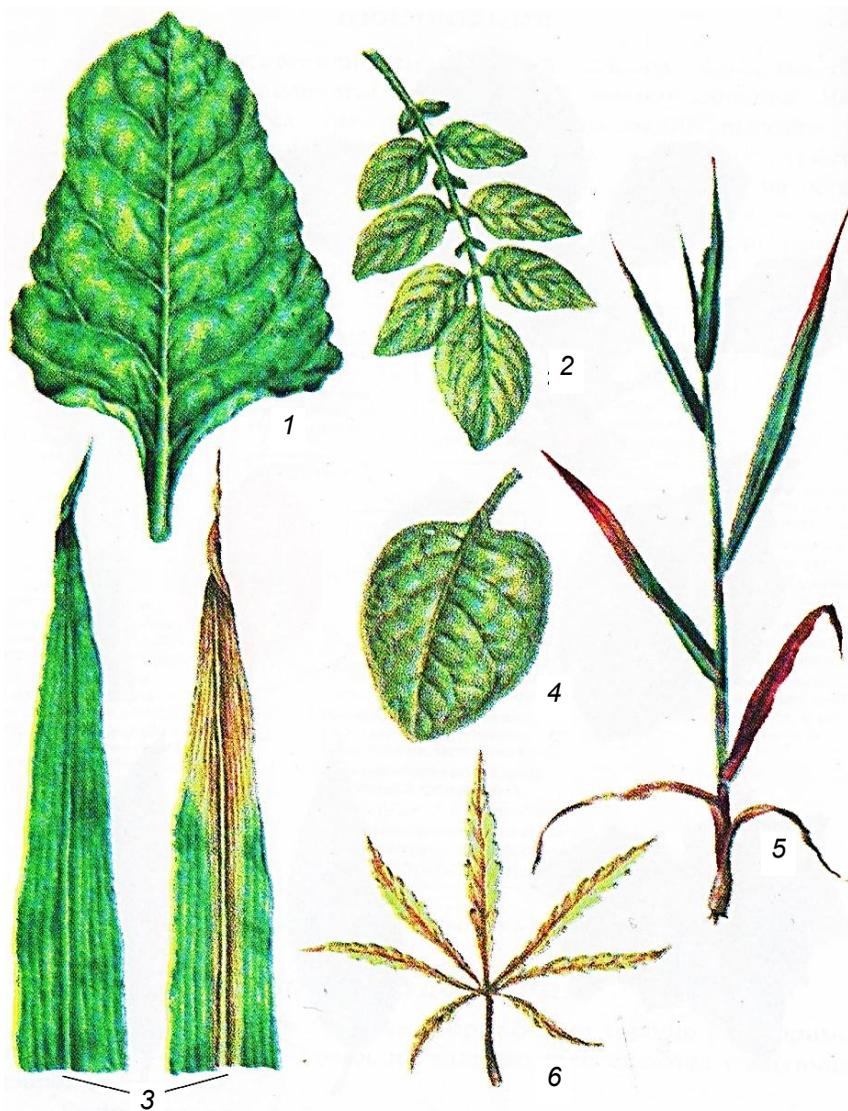


Рис. 2. Признаки азотного голодания у растений:
1 – сахарная свекла; 2 – картофель; 3 – кукуруза (две последовательные стадии голодания); 4 – махорка; 5 – костер; 6 – конопля



Рис. 3. Признаки фосфорного голодания у растений:
1 – кукуруза; 2 – овес; 3 – кормовая свекла; 4 – сахарная свекла;
5 – картофель (все растение и нижний лист)

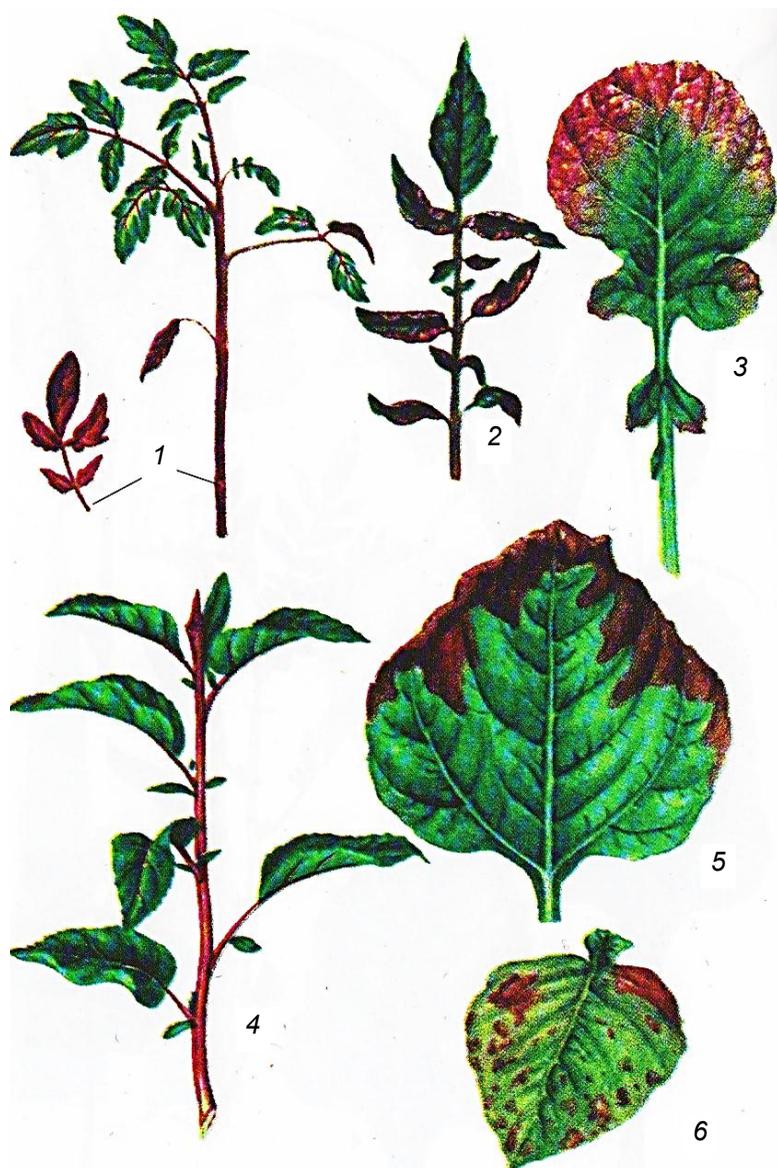


Рис. 4. Признаки фосфорного голодания у растений:
1 – томаты (верхушка растения и отдельный лист с нижней стороны); 2 – томаты при умеренном голодании; 3 – брюква; 4 – яблоня; 5 – подсолнечник; 6 – табак

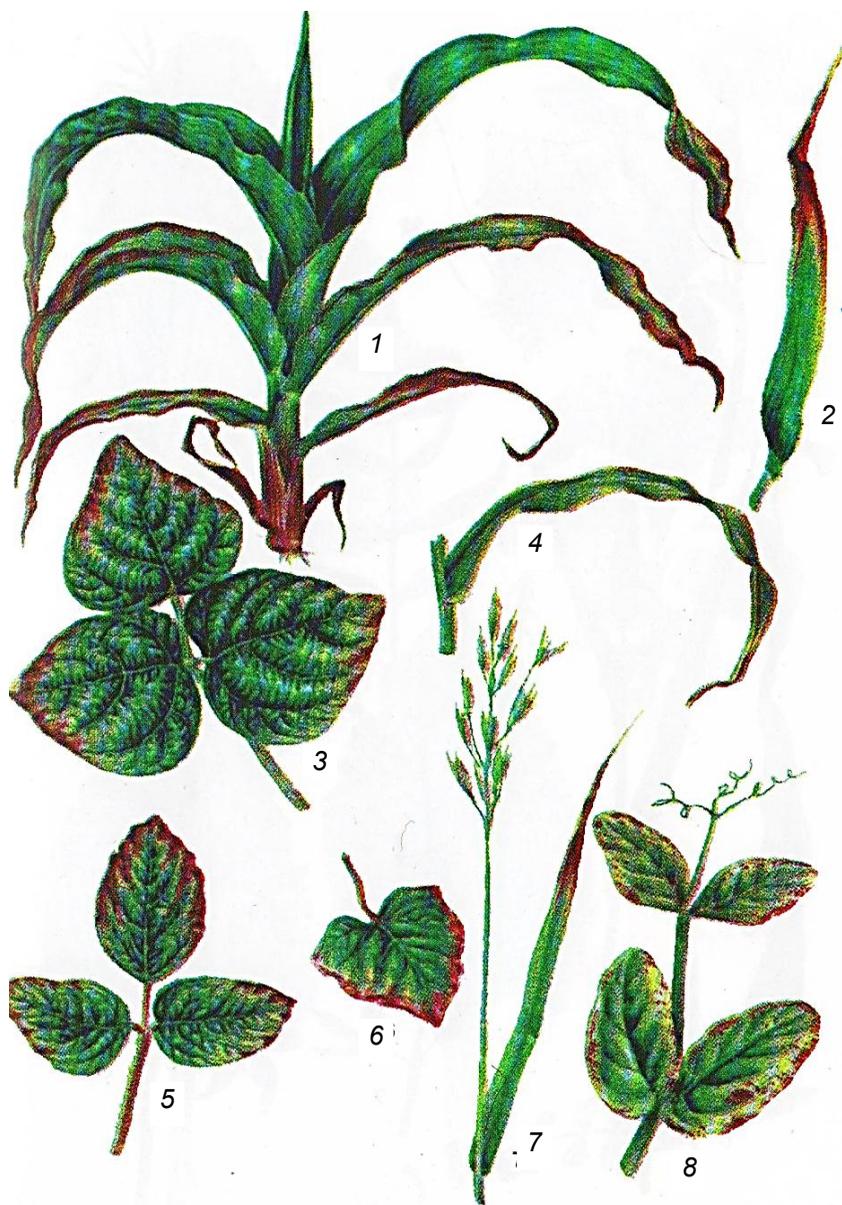


Рис. 5. Признаки калийного голодания у растений:
1 – кукуруза; 2 – просо; 3 – фасоль; 4 – сорго; 5 – соя; 6 – гречиха;
7 – овес; 8 – горох



Рис. 6. Признаки калийного голодания у растений:

1 – клевер; 2 – клевер в молодом возрасте; 3 – эспарцет; 4 – эспарцет в молодом возрасте; 5 – суданка; 6 – тимopheевка; 7 – донник белый; 8 – люцерна; 9 – вика



Рис. 7. Признаки калийного голодания у растений:
1 – капуста; 2 – подсолнечник; 3–4 – кормовая свекла; 5 – подсолнечник
в молодом возрасте, острое голодание; 6 – люпин



Рис. 8. Признаки калийного голодания у растений:
1 – картофель; 2 – сахарная свекла; 3 – конопля; 4–5 – хлопчатник;
6 – земляная груша; 7 – табак; 8 – лен

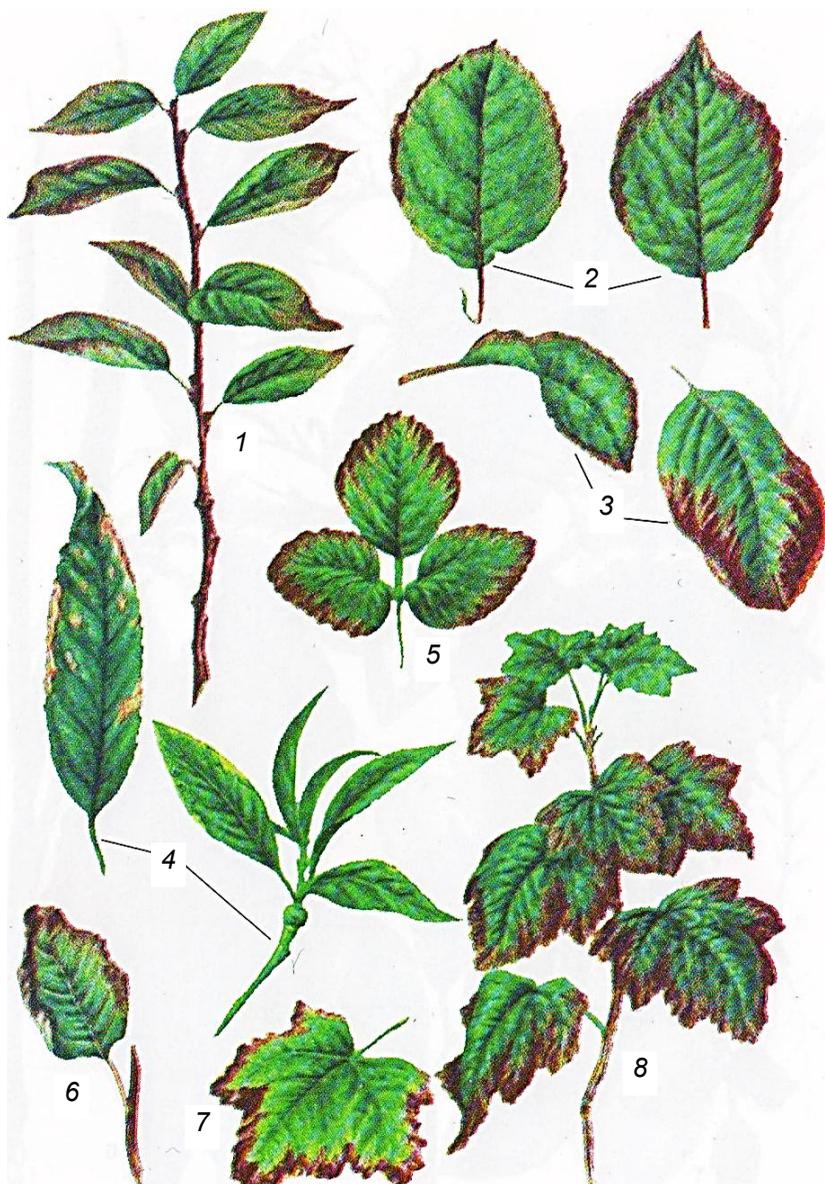


Рис. 9. Признаки калийного голодания у растений:
1 – вишня; 2 – яблоня; 3 – груша; 4 – персик (лист и пробег); 5 – земляника;
6 – абрикос; 7 – красная смородина; 8 – черная смородина

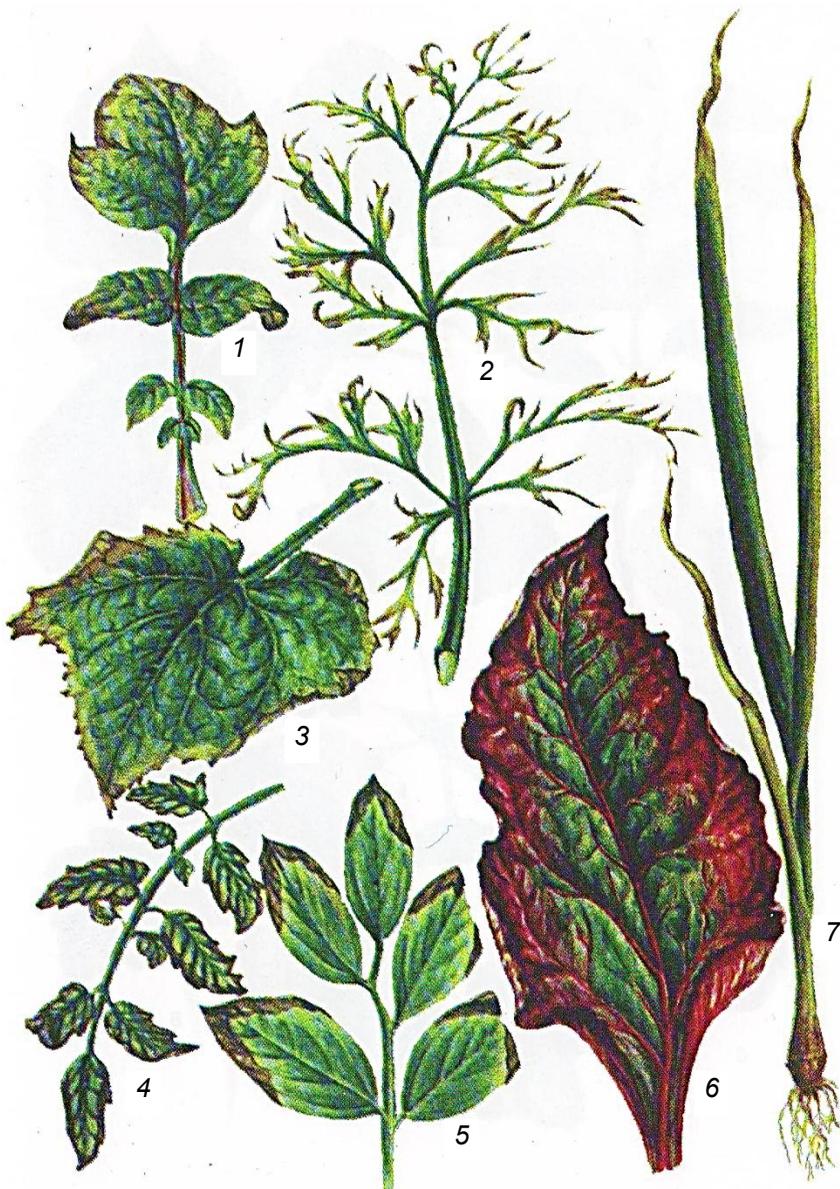


Рис. 10. Признаки калийного голодания у растений:
1 – редис; 2 – морковь; 3 – огурец; 4 – томат; 5 – боб;
6 – столовая свекла; 7 – лук

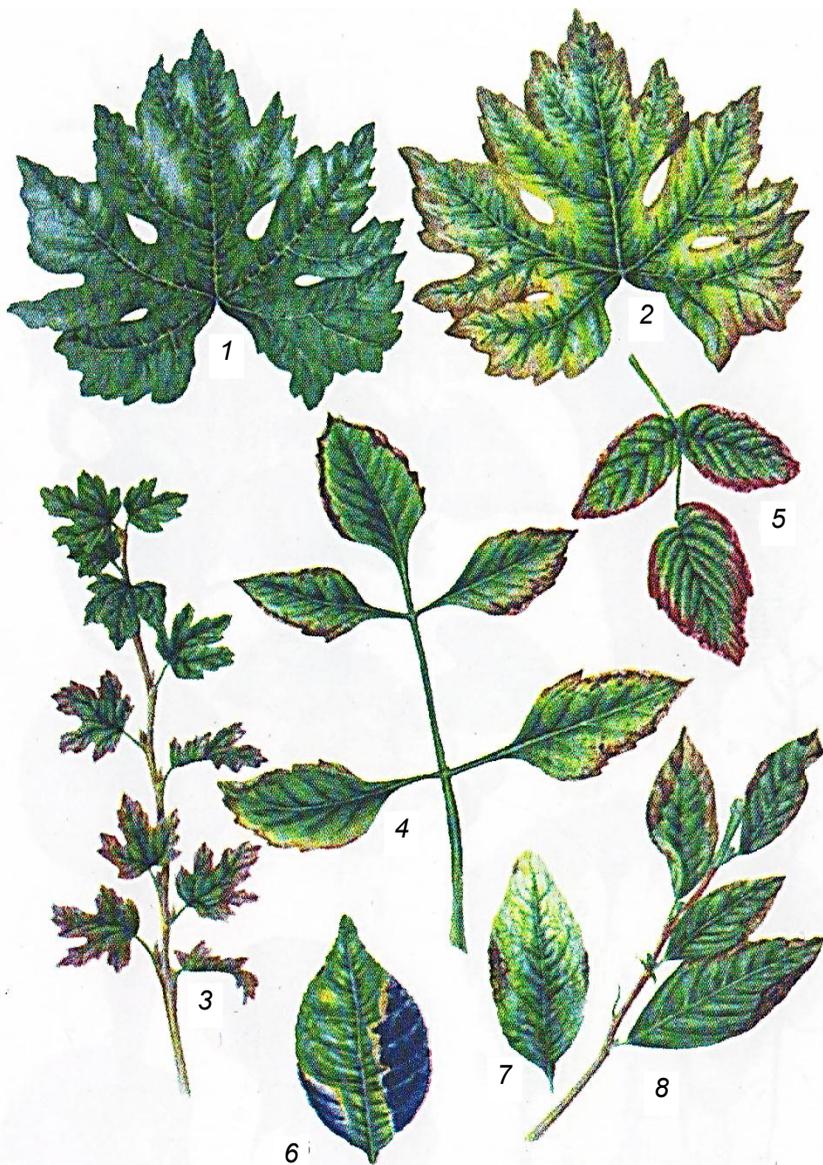


Рис. 11. Признаки калийного голодания у растений:
1-2 – виноград; 3 – крыжовник; 4 – георгин; 5 – малина;
6-7 – чай; 8 – чай (побег)

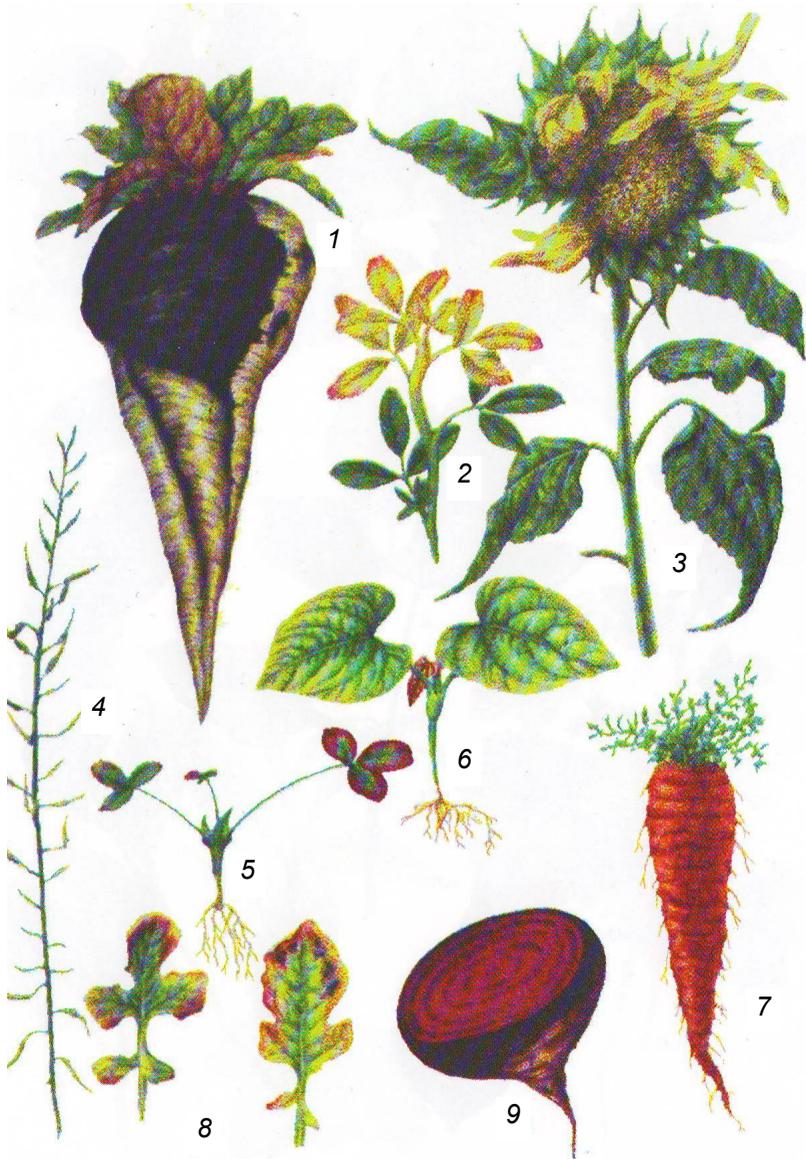


Рис. 12. Признаки борного голодания у растений:
 1 – сахарная свекла; 2 – люцерна; 3 – подсолнечник; 4 – цветонос горчицы;
 5 – клевер в молодом возрасте; 6 – фасоль в молодом возрасте; 7 – морковь;
 8 – горчица (нижние листья); 9 – столовая свекла