

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

С. А. Фокин

*ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, КАЧЕСТВО  
УРОЖАЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ПОТРЕБНОСТИ РАСТЕНИЙ В  
ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВАХ*

*Практикум*

Благовещенск  
Дальневосточный ГАУ  
2021

УДК 63:54  
ББК 40.4  
Ф75

**Рецензент** – Ирина Викторовна Куркова,  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
кафедры садоводства, селекции и защиты растений  
Дальневосточного государственного аграрного университета

Рекомендовано к использованию в учебном процессе  
методическим советом факультета агрономии и экологии  
Дальневосточного государственного аграрного университета

**Фокин, Сергей Алексеевич.**

**Ф75** Химический состав, качество урожая и определение потребностей растений в питательных веществах : практикум / С. А. Фокин ; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2021. – 153 с.

ISBN

Практикум составлен в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования для обучающихся по агрономическим направлениям всех форм обучения. Он включает технику выполнения лабораторных методов исследования химического состава растений, содержит краткие теоретические сведения и практическое значение каждого вида исследования. Практикум предназначен для обучающихся высших учебных заведений по агрономическим направлениям, всех форм обучения.

УДК 63:54  
ББК 40.4

ISBN

© Фокин С. А., 2021  
© ФГБОУ ВО «Дальневосточный  
государственный аграрный университет», 2021

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Раздел 1. Подготовка к химическому анализу .....                                                         | 5  |
| Занятие 1. Правила техники безопасности при работе в агрохимических лабораториях.....                    | 5  |
| Занятие 2. Виды химической посуды и правила её подготовки к анализу ..                                   | 11 |
| Занятие 3. Правила работы на технических и аналитических весах .....                                     | 23 |
| Раздел 2. Определение размеров потребления питательных веществ растениями .....                          | 30 |
| Занятие 4. Химический состав растений.....                                                               | 30 |
| Занятие 5. Отбор и подготовка образцов к анализу.....                                                    | 37 |
| Занятие 6. Определение абсолютно сухого вещества и гигроскопической влаги в растительном материале ..... | 43 |
| Занятие 7. Определение сырой золы в растительном материале .....                                         | 49 |
| Занятие 8. Мокрое озоление растительного материала в серной кислоте с пероксидом водорода.....           | 53 |
| Занятие 9. Фотометрический индофенольный метод определения азота ....                                    | 55 |
| Занятие 10. Определение фосфора по Е. Трюгу и А. Мейеру .....                                            | 60 |
| Занятие 11. Определение калия в растениях после мокрого озоления пламенно-фотометрическим методом.....   | 64 |
| Занятие 12. Определение кальция и магния комплексонометрическим методом .....                            | 67 |
| Раздел 3. Определение качества урожая и кормов .....                                                     | 72 |
| Занятие 13. Методы определения различных форм азота в растительном материале .....                       | 72 |
| Занятие 13.1. Определение содержания нитратного азота в растительной продукции .....                     | 72 |
| Занятие 13.2. Определение сырого белка в растениях расчётным методом                                     | 94 |

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Занятие 13.3. Определение белкового азота с трихлоруксусной кислотой по методу Плешкова .....     | 95  |
| Занятие 14. Определение крахмала в растениях .....                                                | 101 |
| Занятие 14.1. Определение крахмала в зерне на поляриметре по Эверсу ..                            | 102 |
| Занятие 14.2. Определение содержания крахмала в картофеле по удельной массе клубней .....         | 104 |
| Занятие 14.3. Приближённое определение крахмала в мякоти плодов и в корнеплодах .....             | 105 |
| Занятие 15. Определение жира в растениях методом обезжиренного остатка                            | 107 |
| Занятие 16. Определение клетчатки в растениях .....                                               | 113 |
| Занятие 16.1. Определение клетчатки по Х. Н. Починку .....                                        | 113 |
| Занятие 16.2. Определение клетчатки по Кюршнеру и Гапеку в модификации А. В. Петербургского ..... | 116 |
| Занятие 16.3. Определение клетчатки весовым методом .....                                         | 118 |
| Занятие 17. Определение сахаров в овощах, ягодах и плодах .....                                   | 121 |
| Занятие 17.1. Цианидный метод определения сахаров в растениях .....                               | 122 |
| Занятие 17.2. Оптический метод определения сахарозы .....                                         | 127 |
| Занятие 18. Определение общей кислотности плодов и овощей .....                                   | 131 |
| Занятие 19. Определение аскорбиновой кислоты (витамина С) методом И. Мурри .....                  | 134 |
| Занятие 20. Определение провитамина А (каротина) .....                                            | 142 |
| Раздел 4. Использование результатов химического анализа растительного материала .....             | 150 |
| Занятие 21. Сводный расчёт данных химического анализа растительного материала .....               | 150 |
| Список рекомендуемой литературы .....                                                             | 152 |

## РАЗДЕЛ 1. ПОДГОТОВКА К ХИМИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ

### **Занятие 1. Правила техники безопасности при работе в агрохимических лабораториях**

**Цель занятия: ознакомление с техникой безопасности при работе в агрохимической лаборатории и правилами оказания первой помощи.**

Обучающиеся при работе в агрохимической лаборатории имеют дело с электронагревательными приборами, химической посудой, реактивами, огнеопасными и сильнодействующими веществами.

Многие из данных предметов при неумелом, неосторожном или небрежном обращении могут вызывать пожар, отравление, порезы рук стеклом, ожоги горячими предметами, кислотами, щелочами и другими реактивами с возможными тяжёлыми последствиями как для работающего, так и для окружающих. Поэтому необходимо соблюдать следующие обязательные правила:

**Противопожарные меры.** Причинами возникновения пожара могут быть неисправности электропроводки, нагревательных приборов, газовых шлангов, кранов подвода газа, а также несоблюдение мер предосторожности, неумелое обращение с огнеопасными веществами. *При выполнении работ с нагревательными приборами и с огнеопасными веществами запрещается:*

- а) использовать неисправные электроприборы и приборы, несоответствующие напряжению сети;*
- б) использовать нагревательные приборы на рабочих местах без подкладки толстого листа асбеста или другого теплоизоляционного материала;*
- в) оставлять включёнными без присмотра электрические и газовые приборы;*

---

*г) при работе с огнеопасными веществами (эфир, спирт, бензин и другими) пользоваться горящими горелками всех видов.*

*Все операции, связанные с нагреванием, следует производить на водяной или другой бане с потушенной горелкой.*

В случае если будет нечаянно разбита бутылка или другой сосуд с огнеопасными веществами, прежде чем собирать осколки или разлитую жидкость, её нужно, прежде всего, засыпать песком. Осколки стекла и песок, пропитанные жидкостью, собирают при помощи фанеры (или деревянной лопаты). Запрещается применять железную лопату, веник или щётку.

При возникновении пожара следует очень быстро эвакуировать людей из лаборатории, удалить из помещения все горючие жидкости. Кроме того, следует предусмотреть, чтобы находящиеся вблизи стальные баллоны не взорвались от разогрева. Для огнетушения нужно использовать все имеющиеся под рукой средства ( $\text{CO}_2$  из стальных баллонов, огнетушители, листовой асбест, влажные тряпки) и одновременно вызвать пожарную команду.

**Меры предосторожности при работе с вредными и ядовитыми веществами, кислотами, щелочами и при обращении со стеклом.** В лаборатории приходится иметь дело с кислотами, щелочами, солями, содержащими ртуть, свинец, и другими веществами, вредно действующими на организм человека при их вдыхании, а также при попадании на кожу или внутрь.

*В целях предупреждения несчастных случаев необходимо знать:*

*1. Работы, связанные с выпариванием, удалением аммиака, сжиганием испытываемых веществ (озоление и другие), должны проводиться только в вытяжном шкафу при хорошо действующей тяге.*

*2. Наполнение пипеток ядовитыми или едкими жидкостями ни в коем случае нельзя производить ртом. Следует применять резиновую грушу, шприцы или бюретку.*

3. При работе со щелочами, а также с ядовитыми веществами (сулема и другими) недопустимо брать куски или порошок голыми, незащищёнными руками, необходимо пользоваться щипцами, пинцетом или совочком.

4. При смешивании жидкостей, взаимодействие которых вызывает сильное разогревание, необходимо соблюдать осторожность, так как раствор может закипеть и разбрызгаться. Например, при разведении концентрированной серной кислоты следует приливать кислоту в воду (а не наоборот) небольшими порциями постоянно помешивая, избегая чрезмерного нагревания.

5. При определении запаха вещества нельзя подносить к носу сосуд с веществом – его следует держать на расстоянии, направляя к носу небольшое количество паров вещества легким движением руки.

6. Запрещается выливать ядовитые вещества в раковину без предварительного обезвреживания. Нельзя также выливать концентрированные растворы щелочей, хромовую смесь, а также дурно пахнущие вещества, без сильного предварительного разбавления.

7. Запрещается при работе держать или встряхивать колбы и другие склянки с кислотами и щелочами выше или на уровне глаз.

8. Чтобы предохранить руки от порезов, необходимо осторожно обращаться со стеклянными приборами и посудой. При закрывании колб пробками не следует применять больших усилий. При сборке приборов нужно пользоваться стеклянными трубками с оплавленными концами.

9. Работать в агрохимических лабораториях нужно в халатах, так как попавшие реактивы могут загрязнить платье или разрушить ткань.

**Общие требования при пользовании газовыми горелками.** До работы в помещении, где установлены газовые приборы, необходимо открыть фор-

---

точки и проветрить помещение, проверить наличие накидных ключей у кра-  
нов. При неисправности газового оборудования или запахе газа следует зво-  
нить в аварийно-диспетчерскую газовую службу.

*При наличии запаха газа в помещении категорически запрещается:*

*а) включать и выключать электроосвещение, вентиляторы и прочие электроприборы;*

*б) пользоваться открытым огнём;*

*в) разжигать горелки.*

*Необходимо постоянно проветривать помещение.*

Для зажигания горелок следует:

а) открыть кран на вводе газопровода на ответвлении к вытяжному шкафу  
(к лабораторному столу);

б) зажечь спичку, поднести её к горелке; медленно открывая газовый кран  
горелки, поджечь газ;

в) отрегулировать горение газа, пока пламя не станет синевато-фиолетовым.

Необходимо постоянно поддерживать устойчивое горение газа, не допус-  
кая копоти, отрыва или проскока пламени.

При проскоке пламени внутрь горелки следует закрыть газовый кран, и  
по мере остывания, снова зажечь горелку, как указано выше.

Если пламя шумит и слегка отрывается от устья горелки, нужно убавить  
подачу первичного воздуха.

Для остановки работы горелок необходимо:

1. Закрыть газовый кран у горелки.

2. Закрыть регулятор воздуха.

При остановке работы всех газовых приборов закрываются краны на от-  
ветвлениях газопроводов к вытяжным шкафам (лабораторным столам).

*При аварии (взрыве, пожаре, отравлении, сильной утечке газа и др.) необ-  
ходимо срочно закрыть кран на вводе газопровода, поставить в известность*

руководство учреждения и немедленно вызвать аварийную службу. Помещение проветрить.

При появлении признаков отравления (головокружение, головная боль, тошнота) пострадавших выводят на воздух, дают нюхать нашатырный спирт, при ухудшении состояния здоровья – вызывают скорую помощь.

**Первая помощь при несчастных случаях включает:**

1. При механическом ранении небольшие раны дезинфицируют небольшим количеством раствора йода и закрывают бинтом. Большие раны не промывают, а только забинтовывают стерильной марлей, ватой и бинтом, после чего прибегают к срочной медицинской помощи.

2. При ожогах на поражённое место накладывают кусок марли с висмутовой мазью и ежедневно обновляют повязку. Если появились волдыри, следует прибегнуть к медицинской помощи, приставшие остатки вещества удалять нельзя.

3. При попадании концентрированной кислоты на кожу рук или лица необходимо промыть поражённый участок кожи сначала водой, а затем слабым раствором пищевой соды. Концентрированную щелочь, попавшую на кожу, смывают вначале слабым раствором уксусной кислоты, а затем водой. Далее накладывается повязка с мазью от ожогов.

4. При попадании кислот, щелочей через ротовую полость необходимо тотчас же вызвать рвоту (лучше всего механически или принимая внутрь мыльную пену или горчичную воду). После чего пострадавшему дают активированный уголь, молоко, в крайнем случае – в большом количестве воду.

5. При отравлении газами ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ), парами растворителя пострадавшего выводят на свежий воздух. Нельзя допускать, чтобы человек заснул, для этого его лицо опрыскивают холодной водой, при остановке дыхания применяют искусственное дыхание.

В лаборатории на видном месте должна находиться аптечка для оказания

первой помощи пострадавшим.

В таблице 1.1 приведены возможные несчастные случаи, которые могут произойти в агрохимической лаборатории и способы первой помощи.

**Таблица 1.1 – Первая помощь при несчастных случаях в химических лабораториях**

| <b>Возможные несчастные случаи</b>                                                                   | <b>Первая помощь</b>                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Порезы стеклом                                                                                       | удалить осколки стекла, вытереть рану чистой марлей или ватой, присыпать порошком белого стрептоцида и завязать                                                                                                                                                              |
| Ранения с сильным кровотечением                                                                      | остановить кровь перевязкой выше места ранения (толстостенной каучуковой трубкой или резиновым ремнем), забинтовать пострадавшего и отправить в медицинский пункт                                                                                                            |
| Ожог раскалёнными предметами                                                                         | смазать обожжённое место насыщенным раствором перманганата калия или 5-процентным линиментом синтомицина                                                                                                                                                                     |
| Ожог водяным паром или кипящей водой                                                                 | также, что и при ожоге раскалёнными предметами                                                                                                                                                                                                                               |
| Ожоги концентрированными кислотами                                                                   | тщательно смыть кислоту водой, после чего смазать обожжённое место слабым раствором (от 5 до 10 %) двууглекислой соды или присыпать порошком этой соды                                                                                                                       |
| Ожог плавиковой (фтористоводородной) кислотой                                                        | погрузить обожжённое место на 10–15 минут в 3-процентный раствор гидроксида аммония или промыть обильным количеством воды и наложить компресс с пастой, приготовленной из суспензии соды                                                                                     |
| Ожог глаз концентрированными кислотами                                                               | тщательно промыть глаза 2-процентным раствором гидрокарбоната натрия или буры                                                                                                                                                                                                |
| Ожог глаз крепкими щелочами                                                                          | после тщательного промывания глаз водой промыть их слабой кислотой (2-процентным раствором борной или уксусной кислоты)                                                                                                                                                      |
| Ожог жидким бромом                                                                                   | промыть поражённое место водой и слабым раствором аммиака; поставить компресс из однопроцентного раствора карболовой кислоты                                                                                                                                                 |
| Отравление лабораторными газами (светильным газом, окислами азота, бромом, аммиаком и др.)           | немедленно вывести пострадавшего на свежий воздух; при необходимости сделать искусственное дыхание и дать кислород; при отравлении бромом и хлором, а также йодом, осторожно вдыхать пары аммиака из 10-процентного раствора гидроксида аммония; хорошо проветрить помещение |
| Отравление кислотами (HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> , CH <sub>3</sub> COOH) | принимать внутрь суспензию магнезии, молоко, муку с водой                                                                                                                                                                                                                    |
| Отравление щелочами (NaOH, KOH, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )   | принимать внутрь 5-процентную уксусную кислоту, лимонную кислоту или сок лимона                                                                                                                                                                                              |

## Занятие 2. Виды химической посуды и правила её подготовки к анализу

**Цель занятия:** ознакомиться с видами химической посуды и подготовкой её к анализу.

**Теоретические сведения.** В химической лаборатории используют специальную посуду, отличающуюся химической стойкостью или термоустойчивостью. Её изготавливают из обычного термостойкого стекла, фарфора и других огнеупорных материалов.

**Стеклоянная посуда.** По специфичности использования стеклянную посуду можно разделить на три группы: общего назначения, специальную и мерную. Посуду общего назначения (пробирки, стаканы, плоскодонные колбы, колбы Бунзена, бутылки, склянки, тройники) применяют для разных целей, а специальную посуду – для одной цели. Мерная посуда предназначена для отмеривания точных объёмов жидкости и газов.

*Пробирки – это узкие цилиндрические с закруглённым дном сосуы разной величины и диаметра, выполненные из обычного и термостойкого стекла. Они бывают простые, градуированные и центрифужные (рис. 1.1).*



а)

б)

в)

а) – простые; б) – градуированные; в) – центрифужные

**Рисунок 1.1 – Виды пробирок**

Пробирки применяют для первого ознакомления с веществом при определении его отношения к воде, проведении качественных реакций, колориметрических наблюдений и т. д. В пробирку вносят такое количество реактивов, чтобы общий объём не превышал половины объёма пробирки. Реактивы перемешивают стеклянной палочкой или слегка постукивают пальцем по нижней части пробирки.

Чтобы быстро взять определённый объём отстоявшейся жидкости, не взмучивая осадка, в производственных условиях пользуются мерной пробиркой с боковым отверстием. Её берут в правую руку, указательным пальцем плотно закрывают верхнее отверстие, погружают пробирку в раствор от 3 до 5 мм глубже бокового отверстия и слегка отодвигают палец, чтобы раствор поступал в боковое отверстие. Затем верхнее отверстие зажимают и вынимают пробирку из раствора.

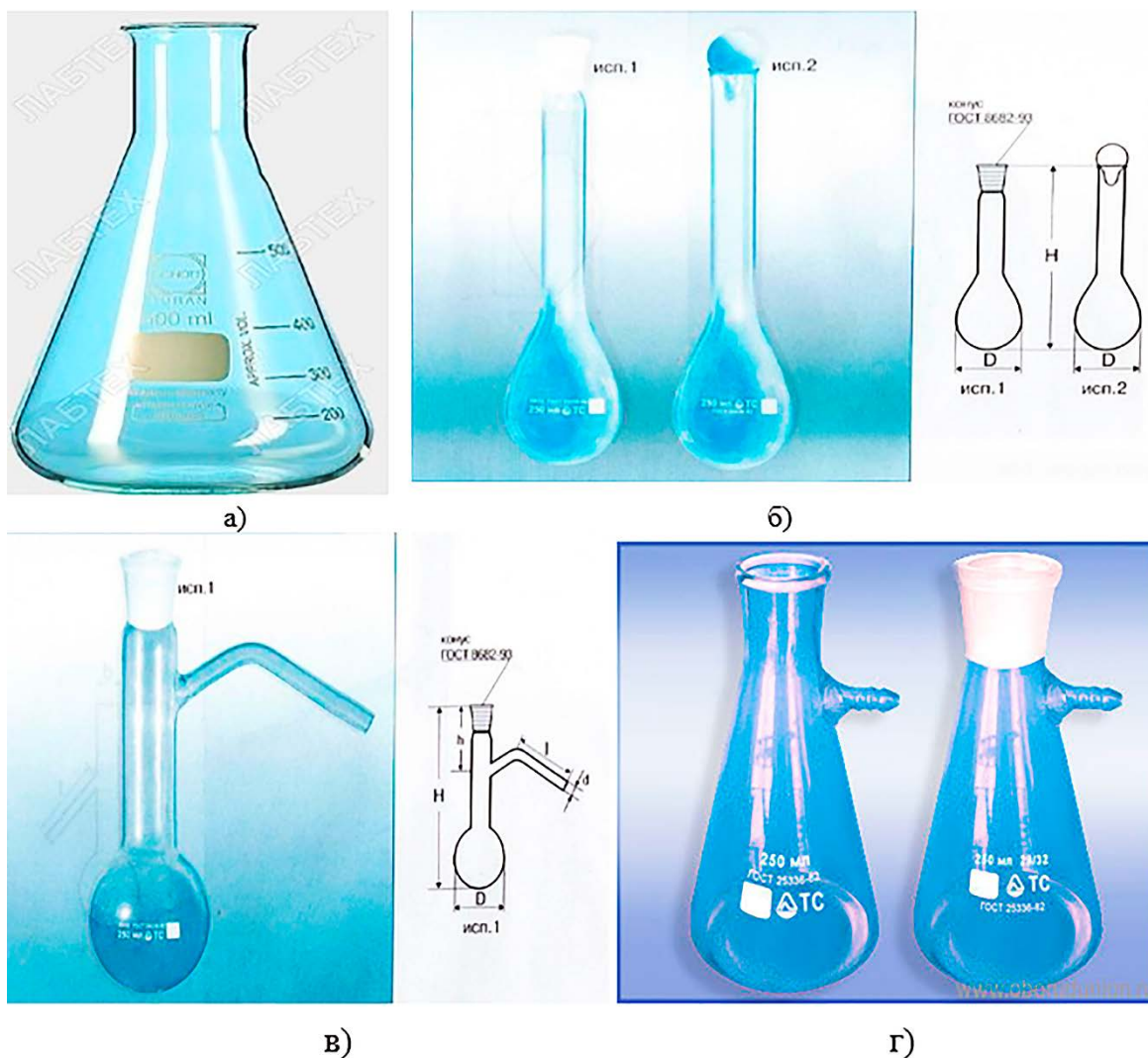
Химические стаканы изготавливают из обычного и термостойкого стекла ёмкостью от 50 до 1 000 мл. Их используют для фильтрования, осаждения, растворения и т. д. (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Химические стаканы

Колбы бывают плоскодонные и круглодонные, различной ёмкости – от 50 до 1 000 мл. Плоскодонные, в свою очередь, делятся на обычные и конические (Эрленмейера).

При титровании, фильтровании и прочих работах пользуются колбами Эрленмейера. Круглодонные колбы с отверстиями (Вюрца) используют при перегонке жидкостей, а с удлиненным горлом (Кьельдаля) – при сжигании вещества концентрированными кислотами. Во время работы эти колбы держат в специальных штативах с небольшим углублением. Коническую колбу с отростком (Бунзена) используют при фильтровании с разрежением (рис. 1.3).



а) – Эрленмейера; б) – Кьельдаля; в) – Вюрца; г) – Бунзена

**Рисунок 1.3 – Виды колб**

*Промывалка – необходимое приспособление в лаборатории. Она служит для промывания осадков дистиллированной водой, смывания осадков с фильтров, стенок сосудов и т. д. (рис. 1.4).*



**Рисунок 1.4 – Виды промывалок**

*Воронки изготовляют разных диаметров (от 3 до 27 см) из обычного стекла. Они служат для фильтрования и переливания жидкостей. Лучшими считаются воронки, у которых конус с горизонтальной плоскостью образует угол  $60^\circ$ , так как фильтрование в них проходит значительно быстрее. Для ускорения фильтрования используют воронки с шарообразным расширением, заполненным гигроскопической или стеклянной ватой (рис. 1.5).*



**Рисунок 1.5 – Воронки для фильтрования и переливания жидкостей**

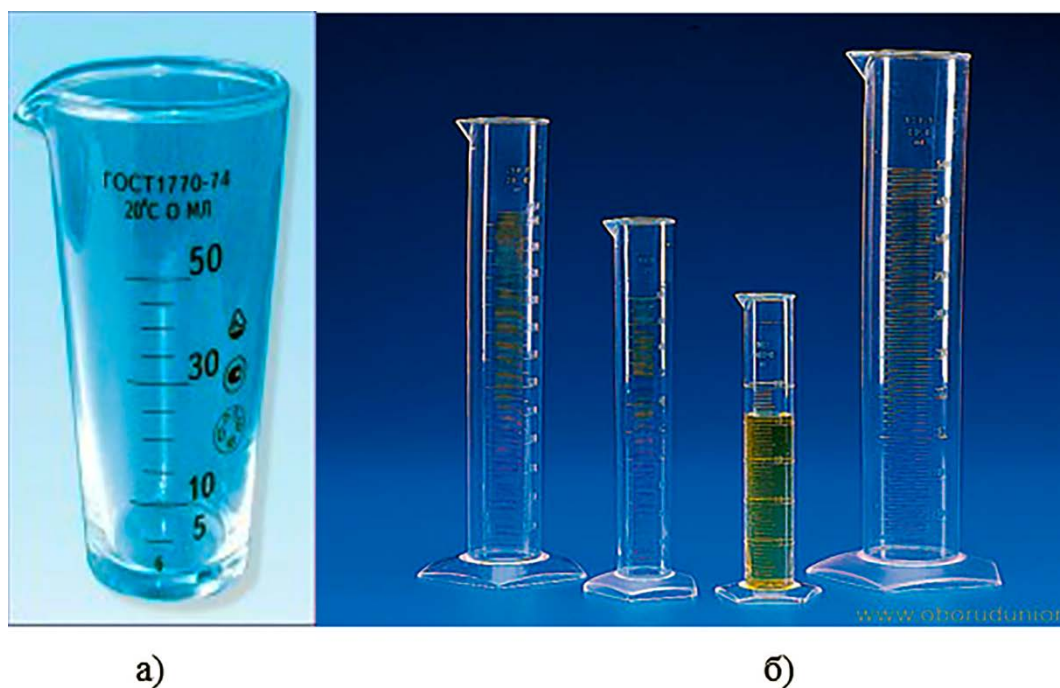
Эксикатор применяют для охлаждения бюксов, стаканчиков, тиглей, а также для сохранения веществ в обезвоженном состоянии. Это толстостенный стеклянный сосуд, имеющий шлифованную крышку. В коническую часть эксикатора помещают поглотитель (прокалённый хлористый кальций, фосфорный ангидрид, серную кислоту). На фарфоровом вкладыше, вставленном в эксикатор, размещают тигли, чашечки и др. При открывании и закрывании эксикатора крышку не поднимают, а сдвигают в сторону. Для того чтобы закрыть его герметически, крышку и бортик смазывают вазелином. При переносе эксикатора крышку придерживают рукой, иначе она может соскользнуть и разбиться.

Раскалённые тигли сначала охлаждают на листе асбеста одну – две минуты и только потом помещают их в эксикатор, оставив щель для выхода горячего воздуха, а через две – три минуты эксикатор плотно закрывают. Перед установкой в эксикатор тигли закрывают крышкой (рис. 1.6).



**Рисунок 1.6 – Эксикатор**

Мерные цилиндры, мензурки – это стеклянные толстостенные сосуды различной ёмкости. На их наружной стенке нанесены деления, соответствующие объёму жидкости в миллилитрах. Цилиндры имеют цилиндрическую форму, мензурки – коническую (рис. 1.7).



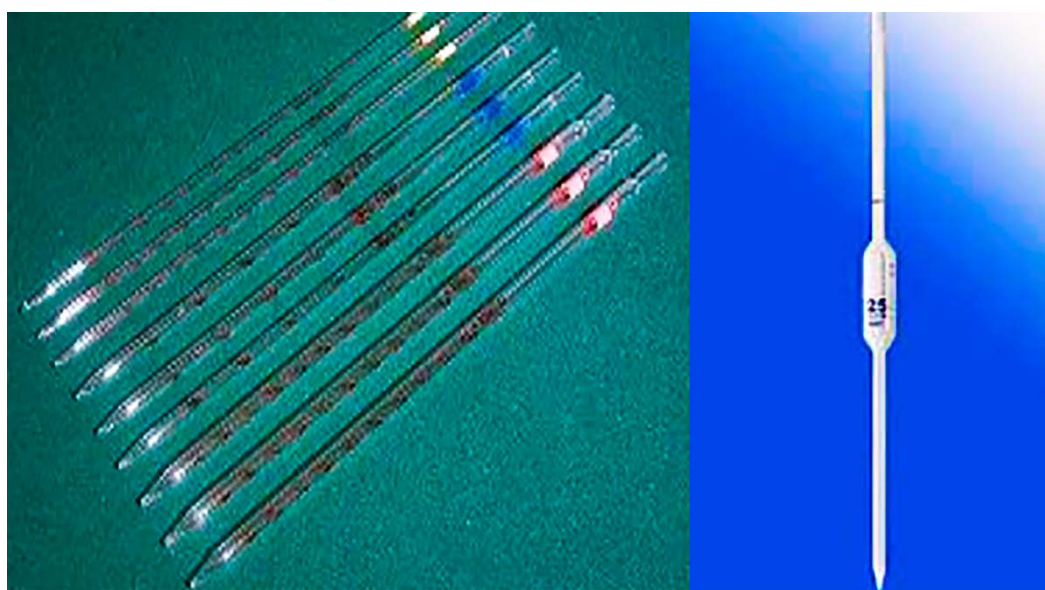
а)

б)

а) – мензурка; б) – мерные цилиндры

**Рисунок 1.7 – Мензурка и мерные цилиндры**

*Пипетки служат для точного отмеривания жидкости. Они бывают простые и градуированные (рис. 1.8).*



а)

б)

а) – градуированные; б) – простые (Мора)

**Рисунок 1.8 – Виды пипеток**

Простые пипетки (Мора) рассчитаны на определённый объём, указанный на их расширенной части. Круговая черта в верхней части пипетки служит меткой, до которой набирают жидкость. На наружной стенке градуированных пипеток нанесены деления через 0,1, 0,01 или 0,02 мл. Пипеткой можно отмерить любой объём в пределах её ёмкости.

Чтобы наполнить пипетку, её нижний конец опускают в жидкость, а через верхний засасывают жидкость на 2–3 сантиметра выше метки и быстро закрывают верхнее отверстие указательным пальцем. Наполненную пипетку поднимают так, чтобы метка была на уровне глаз. Выдувать жидкость из пипетки нельзя. При наполнении пипеток растворами ядовитых веществ, крепкими кислотами и щелочами пользуются резиновой грушей.

*Бюретки применяют для точного измерения объёма жидкости при титровании. На внешней стенке бюретки нанесены деления, соответствующие миллилитрам и их долям. Бюретки бывают с притертыми кранами и без них. Суженный конец бюретки без крана соединяют при помощи мягкой резиновой трубки с небольшой стеклянной трубкой с оттянутым концом. На резиновую трубку надевают зажим Мора или же внутрь её закладывают стеклянную бусинку. Бюретку при титровании устанавливают в штатив в вертикальном положении (рис. 1.9).*

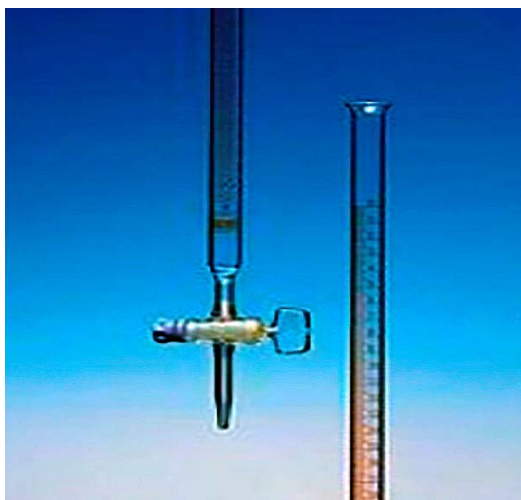


**Рисунок 1.9 – Бюретки**

Мерные колбы представляют собой обычные плоскодонные колбы с длинным узким горлышком с круговой меткой, до которой следует наливать жидкость. На колбе указывается её ёмкость в миллилитрах при определённой температуре. Мерные колбы служат для растворения навески вещества в определенном объеме или для разбавления растворов до определенного объема и т. д. (рис. 1.10).



**Рисунок 1.10 – Виды мерных колб**

Капельницы применяют для отмеривания жидкостей по каплям. Устройство их различно, но наиболее распространены капельницы, состоящие из стеклянной колбочки с маленькой пипеткой, на конец которой надет резиновый баллончик (рис. 1.11).

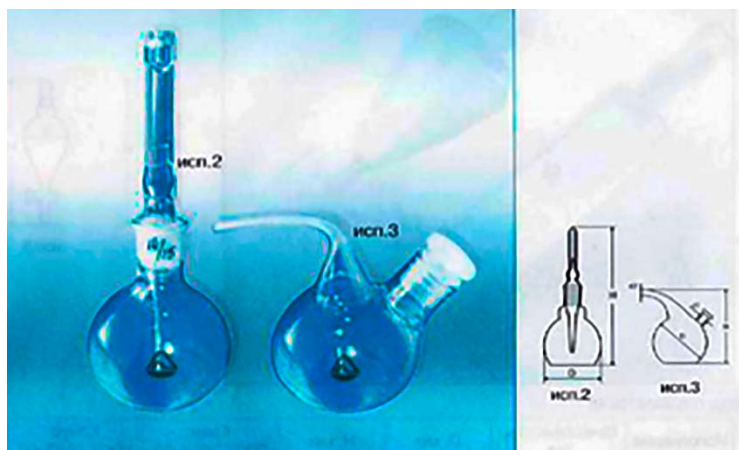


**Рисунок 1.11 – Капельницы для отмеривания жидкостей**

**Фарфоровая посуда. Фарфоровую посуду можно прокаливать в муфельной печи, нагревать на открытом пламени, она прочнее стеклянной.**

*В стаканах и кружках растворяют, перемешивают или нагревают жидкость до температуры 300 °C (рис. 1.12).*



**Рисунок 1.12 – Фарфоровые кружка и стакан**

*Выпарительную чашку применяют для выпаривания и упаривания жидкостей. Её внутренняя поверхность покрыта глазурью. Чашки нумеруют простым карандашом на верхней неглазурованной кромке (рис. 1.13).*



**Рисунок 1.13 – Выпарительные чашки различных диаметров**

---

*Тигли используют для прокаливания различных веществ, сжигания органических соединений при определенной зольности и т. д. (рис. 1.14).*



**Рисунок 1.14 – Различные виды тиглей**

*Ступки с пестиками служат для измельчения различных веществ. Их изготавливают разных размеров (рис. 1.15).*



**Рисунок 1.15 – Фарфоровые ступки с пестиками**

Воронки Бюхнера предназначены для фильтрования с разрежением. У фарфоровых воронок, в отличие от стеклянных, имеется перегородка с отверстием, на которую перед фильтрованием укладывают два кружка фильтровальной бумаги. Чтобы фильтровальная бумага плотно прилегала к сетчатой перегородке, её смачивают фильтруемой жидкостью (рис. 1.16).



Рисунок 1.16 – Воронки Бюхнера

**Мытьё и сушка химической посуды.** Нередко причиной неточных анализов бывает плохо вымытая посуда. Мыть посуду следует сразу же после анализа, удалив из неё содержимое. Спиртовые растворы и растворы, содержащие соединения серебра и прочих ценных веществ, собирают в отдельные банки. Крепкие кислоты и щелочи сливают в банки, затем утилизируют. Чтобы не было разбрызгивания жидкостей, кислоты и щелочи сливают в банки или разбавляют водой.

При выборе способа мытья посуды следует учитывать, каким веществом она была загрязнена. Если посуда загрязнена растворимыми в воде веществами, то её моют теплой водой. Если есть осадок или к стенкам пристали частицы вещества, то их удаляют волосяным ершом или щётками. Пользоваться ершом надо осторожно, чтобы не продавить дно или стенку. Для мытья

---

посуды песок применять не рекомендуется, так как он царапает стекло, и такая посуда при нагревании может лопнуть.

Загрязнённую органическими веществами посуду моют 10–15-процентным раствором соды, мыла, стиральных порошков. Моющую жидкость заливают в сосуд, кладут кусочки фильтровальной бумаги и энергично встряхивают. Затем посуду ополаскивают 3–5-процентным раствором соляной кислоты, тщательно моют водопроводной водой и два – три раза ополаскивают дистиллированной водой.

Чтобы достичь особой чистоты, посуду пропаривают на приспособлении, состоящем из колбы-парообразователя, закрытой резиновой пробки с двумя отверстиями, в одно из которых вставляют трубку для выхода пара, в другую помещают трубку для стока конденсированной воды. Колбу-парообразователь наполовину заливают водой. Для равномерного кипения воды на её дно кладут несколько кусочков пемзы или стеклянных капилляров. Посуду для пропаривания устанавливают так, чтобы струя омывала её внутренние стенки. Пропаривание продолжают не менее часа и заканчивают после того, как на внутренних стенках перестанут задерживаться капли воды. Обработанную посуду снимают и сушат, не переворачивая.

Если посуда не отмывается указанными способами, применяют химические вещества (хромовую смесь, азотную кислоту, смесь соляной кислоты и перекиси водорода).

Чисто вымытую химическую посуду надевают на колышки сушильной доски или помещают в ячейки сушильного решета и оставляют до тех пор, пока она не высохнет. Сушится посуда медленно, иногда в течение нескольких часов. Быстро высушить мелкую посуду можно в сушильном шкафу. Полки сушильного шкафа перед сушкой застилают чистой фильтровальной бумагой. Высушенную посуду ставят для охлаждения на стол, накрытый фильтровальной бумагой.

### Занятие 3. Правила работы на технических и аналитических весах

**Цель работы:** ознакомиться с правилами и навыками работы на технических и аналитических весах.

Весы – один из самых распространённых приборов. Кроме обычных технических и теххимических весов (рис. 1.17), предназначенных для грубых взвешиваний, существуют весы для научных исследований следующих типов: аналитические (рис. 1.18), торсионные микроаналитические (рис. 1.19), а также весы, предназначенные для специальных целей – определения очень малых масс (ультрамикровесы), термогравиметрии, вакуумных работ и т. д. (рис. 1.20).



а)



б)



в)



г)

а) – технические весы; б) – технические электронные весы;  
в) – весы технические с гирями до 1 000 г; г) – весы аптечные ВА-4М

**Рисунок 1.17 – Виды технических и теххимических весов**



а)



б)



в)

а) – аналитические весы; б) – аналитические весы равноплечие ВЛР-20;  
в) – аналитические весы АДВ-200

**Рисунок 1.18 – Виды аналитических весов**



а)



б)

а) – торсионные весы ВТ-500; б) торсионные весы WT

**Рисунок 1.19 – Виды торсионных весов**



а) – ультрамикровесы UYA; б) – термовесы TGA

**Рисунок 1.20 – Весы для разных целей**

Каждые весы имеют определенный набор гирь (разновес). Каждая гирька имеет свою массу (номинальную). Истинная масса гирьки не равна её номинальной массе, так как изготовление имеет свои допуски, которые выражаются в десятых, а иногда и в сотых долях миллиграмма. Эти погрешности не отражаются на точности взвешивания, если для определённых работ были выбраны весы определенного класса точности. В разновесах к более грубым весам, чем аналитические, абсолютное отклонение массы гирь может быть значительным. Величина отклонения номинальной массы от истинной характеризует точность разновеса. Метрологическую проверку и клеймение гирь проводят территориальные органы государственного метрологического контроля (надзора).

**Методы взвешивания.** Ввиду того что все типы весов имеют общие устройства и узлы, методы взвешивания на них можно свести к трём: **взвешивание по отклонению, нулевой метод и смешанный.** Погрешность метода взвешивания суммируется с погрешностями разновесов, что даёт общую погрешность взвешивания.

---

*Взвешивание по отклонению.* В этом методе масса образца, помещённого на весы, вызывает перемещение подвижных частей весов (растяжение пружины, поворот коромысла и т. д.) или отклонение от начальной величины какого-нибудь параметра, например частоты электрических колебаний в весах с кварцевым резонатором. Эти перемещения или отклонения и подлежат измерению. Это самый простой метод.

*Нулевой метод взвешивания.* В этом методе перемещение подвижных частей весов или изменение параметра, вызванное массой исследуемого образца, устраняется введением внешнего воздействия, которое возвращает подвижные части в исходное («нулевое») положение. В этом случае мерой массы будет величина воздействия, требующегося для возвращения подвижных частей весов в нулевое положение. Нулевой метод сложен, но точен, так как не связан с размерами весов и величиной механических перемещений их деталей.

*Смешанный метод.* Является разновидностью взвешивания по отклонению. В этом методе, используемом только в коромысловых весах, большие отклонения подвижных деталей весов от нулевого положения компенсируются в основном внешним воздействием, а остающиеся малые измеряются по отклонению подвижных деталей. Такие весы являются самыми точными, так как взвешивание на них ведётся как бы в два приёма: вначале приблизительным подведением подвижных деталей весов к нулю, а затем окончательно и более точно по методу отклонения.

**Весы для грубого взвешивания.** Весы для грубого взвешивания имеют точность от 0,5 до 2,0 %. Если предельная нагрузка, то есть максимальная грузоподъёмность по шкале, составляет, например, один или пятьдесят килограммов, то 2-процентная точность взвешивания максимальной массы будет соответственно  $\pm 20$  и  $\pm 1\,000$  граммов.

Чашечные, рычажные, типа безменов и циферблатные весы являются весами для грубого взвешивания. У чашечных весов указатели в нерабочем состоянии должны находиться один против другого, то есть в положении равновесия, а у рычажных или циферблатных – указатель или стрелка должны находиться на нулевом делении.

Весы для грубого взвешивания применяют для взвешивания больших количеств сыпучих материалов или жидкостей, которые помещают не на саму чашку весов, а в какую-либо тарированную, то есть предварительно взвешенную или уравновешенную посуду (банку, коробку и т. д.). Эту посуду ставят на правую чашку весов и уравновешивают какими-либо предметами (дробь, гвозди и др.) на левой чашке весов, куда затем кладут гири требуемой массы. После этого в тару насыпают или наливают взвешиваемое вещество до тех пор, пока весы не уравновесятся. Нельзя снимать излишки или досыпать недостающее количество материала пальцами. Для этого необходимо использовать шпатели, совочки, ложки. Жидкость при взвешивании вливают небольшими порциями, проявляя особую осторожность к концу взвешивания. Осторожности требует и взвешивание кислот, дымящихся жидкостей, которое необходимо проводить на весах, установленных под тягой.

Если нужно определить просто массу какого-либо предмета, то гири ставят на правую чашку весов. Иначе говоря, все операции по измерению массы следует проводить правой рукой на правой чашке весов. Чашки весов и гири всегда должны быть чистыми и сухими.

Весы циферблатные и ВТК-500 не требуют равновесия, что позволяет проводить взвешивание быстрее, чем на чашечных весах.

**Весы для точного взвешивания.** Весы для точного взвешивания имеют точность от одного до десяти миллиграммов. По конструкции они бывают двухплечие и одноплечие. По типам – ручные (аптечные), теххимические и технические.

---

Технохимические весы имеют грузоподъемность от 200 граммов до нескольких килограммов, чем отличаются от аптечных весов.

Весы для точного взвешивания имеют так называемое арретирное устройство, при помощи которого призмы коромысла и подушки отделяют в нерабочем положении, что предохраняет их от износа.

**Правила работы с техническими весами.** Технические весы устанавливаются стационарно в определённом месте лаборатории. При установке соблюдают правила, указанные в инструкции к весам. Основное внимание при установке обращают на правильное положение весов по вертикали и при необходимости регулируют его с помощью винтовых ножек. Контролирует правильность установки весов острие отвеса, которое должно совпадать с вершиной конуса, находящегося у подножки колонки. У некоторых типов весов вместо отвесов имеются жидкостные уровни (нивелиры) с пузырьком воздуха, который при правильной установке весов должен находиться строго в центре.

Равновесие устанавливается балансировочными винтами, расположенными на обоих концах коромысла. Правильная балансировка весов при общей исправности и чистоте весов приводит к отклонению стрелки по нижней шкале от нуля на одно и то же число делений вправо или влево. При взвешивании на технических весах применяют точный равновес, в котором, кроме граммовых гирь, имеются миллиграммовые гири в виде пластинок из алюминия или других металлов.

Аналитические весы являются измерительным прибором, имеющим точную конструкцию и обеспечивающим высокую точность показаний. Длительность эксплуатации весов в большей степени зависит от правильного их использования и тщательности ухода за ними. Поэтому, перед распаковкой весов необходимо подробно ознакомиться с инструкцией. Выполнение соответствующих указаний является основным условием для правильного действия прибора.

Во время распаковки, установки и эксплуатации весов следует помнить о необходимости соблюдения большой осторожности, которую следует проявлять по отношению к призмам, чьё качество имеет большое влияние на точность производимых взвешиваний. Чтобы предохранить их острия от излишнего изнашивания, весы имеют устройство, изолирующее призмы от подушек.

Соприкосновение призм с подушками должно происходить только во время взвешивания. Следовательно, снятие или накладывание нагрузки, включение или выключение гирь, тарирование, изменение чувствительности, подвешивание серег или чашек и даже открывание и закрывание дверец должно производиться при выключенном коромысле.

Нельзя оставлять весы включенными после окончания взвешивания, а также ни в коем случае нельзя допускать того, чтобы, вследствие невнимательности пользующегося весами, коромысло или серьги спали с поддерживающих винтов.

**Установка аналитических весов.** Действие весов в большей степени зависит от места их установки. Содрогания и колебания, изменения температуры, а также сквозняки и продувание могут вызвать значительные изменения их показаний, следствием чего являются ошибочные показания измерения веса. Поэтому, весы следует устанавливать на прочном основании, лучше всего на плите, прикрепленной к стене при помощи кронштейнов, на возможно большом расстоянии от окна, двери и нагревательных приборов, и при этом так, чтобы на них непосредственно не падал солнечный свет. Температура помещения не может иметь больших колебаний и должна составлять около 20 °С.

---

## РАЗДЕЛ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ РАСТЕНИЯМИ

### Занятие 4. Химический состав растений

**Цель занятия:** изучить химический состав растений, соотношение в нём элементов питания и их вынос с урожаем.

#### 4.1 Элементный и вещественный состав растений

**Теоретические сведения.** В состав растений входит вода и, так называемое, сухое вещество, представленное органическими и минеральными соединениями. Соотношение между количеством воды и сухого вещества в растениях, их органах и тканях изменяется в широких пределах. Так, содержание сухого вещества в плодах огурца и бахчевых культур может составлять до 5 % их массы, в кочанах капусты, корнеплодах редиса и турнепса – 7–10 %, свеклы столовой, моркови и луковицах лука – 10–15 %, в вегетативных органах большинства полевых культур – 10–25 %, корнеплодах сахарной свеклы и клубнях картофеля – 20–25 %, в зерне хлебных злаков и бобовых культур – от 85 до 90 %, семенах масличных культур – от 90 до 95 %.

Сухое вещество в растениях на 90–95 % представлено органическими соединениями: белками, углеводами, жирами, содержание которых определяет качество урожая (табл. 2.1).

Сухое вещество растений имеет в среднем следующий элементный состав (в процентах по массе): углерод – 45, кислород – 42, водород – 6,5, азот и зольные элементы – 6,5. Всего в растениях обнаружено более 70 химических элементов.

Около 20 элементов (в том числе углерод, кислород, водород, азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера, железо, бор, медь, марганец, цинк, молибден, ванадий, кобальт, йод) считаются необходимыми для растений. Без них не возможны нормальный ход жизненных процессов и завершение полного цикла развития растений.

**Таблица 2.1 – Средний химический состав урожая сельскохозяйственных растений (по Б. П. Плешкову (1986 г.))**

| Культура,<br>часть урожая | В процентах |       |             |      |         |           |      |
|---------------------------|-------------|-------|-------------|------|---------|-----------|------|
|                           | Вода        | Белки | Сырой белок | Жиры | Крахмал | Клетчатка | Зола |
| Пшеница (зерно)           | 12          | 14    | 16          | 2,0  | 65      | 2,5       | 1,8  |
| Рожь (зерно)              | 14          | 12    | 13          | 2,0  | 68      | 2,3       | 1,6  |
| Овёс (зерно)              | 13          | 11    | 12          | 4,2  | 55      | 10,0      | 3,5  |
| Ячмень (зерно)            | 13          | 9     | 10          | 2,2  | 65      | 5,5       | 3,0  |
| Рис (зерно)               | 11          | 7     | 8           | 0,8  | 78      | 0,6       | 5,0  |
| Кукуруза (зерно)          | 15          | 9     | 10          | 4,7  | 66      | 2,0       | 1,5  |
| Гречиха (зерно)           | 13          | 9     | 11          | 2,8  | 62      | 8,8       | 2,0  |
| Горох (зерно)             | 13          | 20    | 23          | 1,5  | 53      | 5,4       | 2,5  |
| Фасоль (зерно)            | 13          | 18    | 20          | 1,2  | 58      | 4,0       | 3,0  |
| Соя (зерно)               | 11          | 29    | 34          | 16,0 | 27      | 7,0       | 3,5  |
| Картофель (клубни)        | 78          | 1,3   | 2,0         | 0,1  | 17      | 0,8       | 1,0  |
| Морковь (корнеплоды)      | 86          | 0,7   | 1,3         | 0,2  | 9       | 1,1       | 0,9  |

В отношении ещё более десяти элементов (в том числе кремния, алюминия, фтора, лития, серебра и др.) имеются сведения об их положительном действии на рост и развитие растений. Эти элементы считаются условно необходимыми.

Основную часть массы живых растений составляет кислород – 70 %. В среднем растения имеют следующий элементный состав: углерод – 18 %, водород – 18 %, азот, калий, кальций по 0,3 %, кремний – 0,15 %, фосфор, магний – по 0,07 %, сера – 0,05 % и медь –  $2 \cdot 10^{-4}$ .

## Раздел 2. Определение размеров потребления питательных веществ растениями

Углеводы, жиры и другие безазотистые органические соединения построены из трёх элементов – углерода, кислорода и водорода, а в состав белков и других азотистых органических соединений входит ещё и азот. Эти четыре элемента получили название органогенных. На их долю, в среднем, приходится около 95 % сухого вещества растений.

Состав органического вещества основных овощных, плодовых и ягодных культур приведен в таблице 2.2.

**Таблица 2.2 – Среднее содержание основных веществ в овощных, плодовых и ягодных культурах (по Б. А. Ягодину и др., 2002 г.)**

| В процентах на сырую массу |        |                      |                    |           |      |                                   |
|----------------------------|--------|----------------------|--------------------|-----------|------|-----------------------------------|
| Культура                   | Сахара | Органические кислоты | Азотистые вещества | Клетчатка | Зола | Аскорбиновая кислота, мг на 100 г |
| Капуста белокочанная       | 4,0    | 0,3                  | 1,3                | 0,8       | 0,7  | 30                                |
| Капуста цветная            | 3,0    | 0,1                  | 2,5                | 1,2       | 0,8  | 100                               |
| Томат                      | 3,0    | 0,5                  | 0,6                | 0,2       | 0,5  | 30                                |
| Перец сладкий              | 4,0    | 0,2                  | 1,5                | 1,0       | 0,7  | 200                               |
| Баклажан                   | 3,0    | 0,2                  | 0,9                | 1,0       | 0,5  | 5                                 |
| Огурец                     | 1,5    | 0,005                | 0,8                | 0,5       | 0,4  | 5                                 |
| Лук                        | 10,0   | 0,2                  | 1,6                | 0,6       | 0,5  | 7                                 |
| Чеснок                     | 0,5    | 0,2                  | 7,0                | 1,0       | 1,0  | 15                                |
| Яблоня                     | 9,0    | 0,7                  | 0,4                | 1,0       | 0,4  | 25                                |
| Груша                      | 10,0   | 0,2                  | 0,4                | 0,8       | 0,4  | 15                                |
| Виноград                   | 18,0   | 0,7                  | 0,7                | 0,2       | 0,6  | 6                                 |
| Земляника                  | 18,0   | 1,4                  | 1,4                | 1,2       | 0,5  | 50                                |
| Крыжовник                  | 7,0    | 2,0                  | 0,8                | 2,3       | 0,5  | 35                                |
| Смородина                  | 8,0    | 2,5                  | 1,4                | 2,0       | 0,5  | 200                               |
| Вишня                      | 9,0    | 1,8                  | 0,9                | 0,2       | 0,5  | 17                                |
| Лимон                      | 2,5    | 5,8                  | 0,9                | 2,5       | 0,6  | 55                                |
| Апельсин                   | 7,0    | 1,4                  | 0,9                | 2,5       | 0,7  | 65                                |

При сжигании растительного материала органогенные элементы улетучиваются в виде газообразных соединений и паров воды, а в золе остаются преимущественно в виде оксидов многочисленные зольные элементы, на долю

которых приходится в среднем около 5 % массы сухого вещества. Среднее содержание воды, азота и основных зольных элементов в урожае важнейших сельскохозяйственных культур приведено в таблице 2.3.

Относительное содержание азота и зольных элементов в растениях и их органах может колебаться в широких пределах и определяется биологическими особенностями культур, возрастом и условиями питания (обеспеченность теплом, влагой, элементами питания).

**Таблица 2.3 – Среднее содержание питательных веществ и воды в урожае важнейших культур (по Д. А. Коренькову, 1985 г.)**

| Культура        | Продукция | Вода | N    | Зольные элементы              |                  |      |      | Всего золы |
|-----------------|-----------|------|------|-------------------------------|------------------|------|------|------------|
|                 |           |      |      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO  | MgO  |            |
| Пшеница         | зерно     | 14,3 | 3,40 | 0,85                          | 0,60             | 0,05 | 0,22 | 2,32       |
|                 | солома    | 14,3 | 0,67 | 0,20                          | 0,75             | 0,26 | 0,09 | 3,48       |
| Рожь озимая     | зерно     | 14,3 | 2,20 | 0,85                          | 0,60             | 0,09 | 0,12 | 1,83       |
|                 | солома    | 14,3 | 0,45 | 0,26                          | 1,00             | 0,29 | 0,09 | 3,93       |
| Кукуруза        | зерно     | 14,4 | 1,91 | 0,57                          | 0,37             | 0,03 | 0,19 | 1,23       |
|                 | солома    | 15,0 | 0,75 | 0,30                          | 1,64             | 0,49 | 0,26 | 4,37       |
| Ячмень          | зерно     | 14,3 | 2,10 | 0,85                          | 0,55             | 0,10 | 0,16 | 2,55       |
|                 | солома    | 14,3 | 0,50 | 0,20                          | 1,00             | 0,33 | 0,09 | 4,49       |
| Овес            | зерно     | 14,3 | 2,30 | 0,85                          | 0,50             | 0,16 | 0,17 | 2,88       |
|                 | солома    | 14,3 | 0,65 | 0,35                          | 1,60             | 0,38 | 0,12 | 6,45       |
| Рис             | зерно     | 12,0 | 1,20 | 0,81                          | 0,32             | 0,07 | 0,18 | 5,26       |
| Гречиха         | зерно     | 14,0 | 1,80 | 0,57                          | 0,27             | 0,05 | 0,15 | 1,15       |
|                 | солома    | 16,0 | 0,80 | 0,61                          | 2,42             | 0,95 | 0,19 | 5,25       |
| Соя             | семена    | 10,0 | 5,80 | 1,04                          | 1,26             | 0,17 | 0,25 | 2,84       |
|                 | солома    | 14,0 | 1,20 | 0,31                          | 0,50             | 1,46 | 0,05 | 3,23       |
| Горох           | зерно     | 14,3 | 4,50 | 1,00                          | 1,25             | 0,09 | 0,13 | 2,63       |
|                 | солома    | 16,0 | 1,40 | 0,35                          | 0,50             | 1,82 | 0,27 | 3,91       |
| Подсолнечник    | семена    | 10,0 | 2,61 | 1,39                          | 0,96             | 0,20 | 0,51 | 3,30       |
| Рапс            | семена    | 11,8 | 3,50 | 1,80                          | 1,00             | 0,42 | 0,34 | 3,76       |
|                 | солома    | 16,0 | 0,70 | 0,25                          | 1,00             | 2,00 | 0,21 | 4,77       |
| Свекла сахарная | корни     | 75,0 | 0,24 | 0,08                          | 0,25             | 0,06 | 0,05 | 0,57       |
|                 | ботва     | 83,5 | 0,35 | 0,10                          | 0,50             | 0,17 | 0,11 | 1,42       |
| Свекла кормовая | корни     | 88,0 | 0,19 | 0,07                          | 0,42             | 0,03 | 0,04 | 0,86       |
|                 | ботва     | 90,5 | 0,30 | 0,08                          | 0,25             | 0,16 | 0,14 | 1,51       |
| Картофель       | клубни    | 75,0 | 0,32 | 0,14                          | 0,60             | 0,03 | 0,06 | 0,97       |
|                 | ботва     | 77,0 | 0,30 | 0,10                          | 0,80             | 0,85 | 0,21 | 2,49       |
| Сено луговое    | сено      | 14,3 | 1,70 | 0,70                          | 1,80             | 0,95 | 0,41 | 7,48       |
| Клевер красный  | сено      | 16,0 | 1,97 | 0,56                          | 1,50             | 2,01 | 0,63 | 5,38       |
| Тимофеевка      | сено      | 16,0 | 1,55 | 0,70                          | 2,04             | 0,49 | 0,20 | 5,91       |

## Раздел 2. Определение размеров потребления питательных веществ растениями

В таблице 2.4 приведены среднее содержание и пределы колебания азота, фосфора и калия в основных сельскохозяйственных культурах, возделываемых в Амурской области.

**Таблица 2.4 – Среднее содержание основных элементов питания в урожае сельскохозяйственных культур, возделываемых в Амурской области**

**В процентах к сухой массе**

| Элемент                       | Пшеница |      | Ячмень |      | Овёс |      | Соя  |      |
|-------------------------------|---------|------|--------|------|------|------|------|------|
|                               | 1       | 2    | 1      | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |
| N                             | 2,85    | 0,67 | 2,40   | 0,55 | 2,10 | 0,44 | 6,60 | 0,81 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 1,19    | 0,28 | 1,10   | 0,60 | 0,94 | 0,56 | 1,45 | 0,26 |
| K <sub>2</sub> O              | 0,58    | 1,20 | 0,58   | 1,14 | 0,53 | 3,38 | 2,55 | 1,65 |

Примечание: 1 – основная продукция; 2 – побочная продукция

### 4.2 Соотношение элементов питания и их вынос с урожаем

**Теоретические сведения.** Соотношение элементов питания, расходуемых на создание сельскохозяйственной продукции, значительно меняется в зависимости от культуры и структуры урожая (табл. 2.5).

**Таблица 2.5 – Среднее соотношение питательных веществ в урожае различных культур**

| Культура        | N       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO |
|-----------------|---------|-------------------------------|------------------|-----|
| Зерновые        | 2,5–3,0 | 1,0                           | 1,5–2,2          | 0,5 |
| Клевер          | 3,5     | 1,0                           | 3,0              | 4,0 |
| Картофель       | 2,5–3,5 | 1,0                           | 4,0–4,5          | –   |
| Сахарная свекла | 2,5–3,5 | 1,0                           | 3,5–5,0          | –   |
| Кормовая свекла | 3,5–4,5 | 1,0                           | 4,5–6,0          | –   |

В зерне содержится примерно в четыре раза больше азота и фосфора, чем в соломе, а калия и кальция в соломе в два – три раза больше, чем в зерне. У картофеля, подсолнечника, капусты, сахарной свеклы гораздо выше потребление калия, чем у зерновых культур.

В таблицах 2.6 и 2.7 приведен вынос питательных веществ сельскохозяйственными культурами. По элементному составу основной и побочной продукции растений, величине урожая определяется вынос питательных веществ с урожаем, характеризующий размеры их потребления.

**Таблица 2.6 – Хозяйственный вынос N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO с одной тонной основной и побочной продукцией**

| Культура                                 | В килограммах |                               |                  |     |     |
|------------------------------------------|---------------|-------------------------------|------------------|-----|-----|
|                                          | N             | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO | MgO |
| Яровая пшеница                           | 30,0          | 12,0                          | 25,0             | 3,2 | 2,4 |
| Ячмень                                   | 29,0          | 12,0                          | 27,0             | 4,8 | 3,0 |
| Овёс                                     | 26,0          | 12,0                          | 29,0             | 4,2 | 3,3 |
| Гречиха                                  | 37,0          | 20,0                          | 50,0             | 8,1 | 3,4 |
| Кукуруза, зерно                          | 30,0          | 12,0                          | 35,0             | 5,0 | 5,1 |
| Кукуруза на силос, зелёная масса         | 3,3           | 1,2                           | 4,2              | 0,6 | 0,5 |
| Картофель, клубни                        | 5,3           | 1,6                           | 8,0              | 2,2 | 1,1 |
| Однолетние злаковые травы, зелёная масса | 3,8           | 1,1                           | 5,1              | 1,4 | 0,6 |
| Однолетние злаковые травы, сено          | 15,0          | 5,5                           | 25,0             | 6,9 | 2,8 |
| Многолетние злаковые травы, сено         | 16,0          | 5,0                           | 24,0             | 4,9 | 2,0 |
| Рапс яровой, зелёная масса               | 4,5           | 1,6                           | 5,4              | 3,0 | 1,2 |
| Редька масличная, зелёная масса          | 5,0           | 1,6                           | 3,0              | 1,6 | 1,0 |
| Соя                                      | 6,5           | 1,4                           | 1,7              | 1,6 | 0,3 |

**Таблица 2.7 – Вынос питательных веществ овощными культурами**

| Культура                                 | В килограммах на одну тонну |                               |                  |
|------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|
|                                          | N                           | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Капуста белокочанная, в том числе ранняя | 3,1                         | 1,4                           | 3,8              |
| средняя                                  | 3,4                         | 1,1                           | 4,4              |
| поздняя                                  | 3,5                         | 0,8                           | 4,9              |
| Огурец                                   | 3,0                         | 1,5                           | 4,5              |
| Томат                                    | 3,5                         | 1,5                           | 5,0              |
| Морковь                                  | 2,3                         | 1,5                           | 6,7              |
| Свекла                                   | 3,5                         | 1,4                           | 7,3              |
| Лук репчатый                             | 3,0                         | 1,3                           | 0,4              |
| Салат                                    | 2,6                         | 0,9                           | 3,9              |
| Арбуз                                    | 2,3                         | 0,5                           | 2,6              |
| Редис                                    | 3,4                         | 0,9                           | 4,0              |

**Различают биологический и хозяйственный вынос элементов питания.**

*Биологический вынос – это вынос питательных веществ из почвы всеми частями растения основной и побочной продукцией убираемой с поля: пожнивными остатками, корнями, опавшими листьями. Под хозяйственным понимается вынос питательных веществ с урожаем, убираемой с поля основной и побочной продукции (зерно и солома).*

Вынос элементов питания с товарной продукцией зависит от условий выращивания, в том числе от применения удобрений.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Охарактеризуйте основной химический состав растений.
2. Укажите содержание органических веществ, определяющих качество продукции основных сельскохозяйственных культур (зерновых, зернобобовых, масличных, корнеплодов и клубнеплодов, кормовых и овощных).
3. Перечислите необходимые растениям макроэлементы и микроэлементы, основные их физиологические функции.
4. В чём состоят различия в элементном составе основной и побочной продукции различных видов сельскохозяйственных культур?

## Занятие 5. Отбор и подготовка образцов к анализу

**Цель занятия: отбор средней пробы и взятие навесок растений для определения гигроскопической влаги и сухого вещества.**

### 5.1 Общие положения

Необходимым условием для правильной химической характеристики семян, зерна, плодов, корней, листьев, стеблей и т. д. по малой навеске является правильное взятие пробы и подготовка её к анализу. Этому вопросу должно уделяться особое внимание.

В средние образцы должно войти как можно большее количество растений или их частей, но в то же время пробы не должны быть слишком громоздкими, чтобы не осложнять их транспортировку. Поэтому по каждой культуре или группе культур устанавливаются определённые параметры образцов, дающие возможность охарактеризовать их по наиболее важным показателям химического состава, а в ряде случаев и по технологическим качествам.

*При отборе образцов во всех вариантах опыта необходимо соблюдать одинаковую высоту среза растений, однотипность обрезки ботвы.*

*Взятие образцов не должно проводиться во время дождя, полива или сразу после них, а также при росе на листьях. Отбор необходимо проводить в утренние часы, до наступления жары или в конце дня (всегда в одно и то же время).*

Каждый образец должен быть снабжен чётко заполненной этикеткой. Все операции по отбору, а в случае надобности и фиксации образцов, должны быть проведены в один и тот же день по всем вариантам опыта. Для этого должна быть проведена соответствующая подготовительная работа, дающая возмож-

ность ускорить отбор образцов: заготовлены этикетки, пронумерованы и взвешены мешки под образцы, проверена исправность весов, подготовлены опытные делянки или исследуемые участки.

## **5.2 Подготовка к отбору образцов**

*За два – три дня до уборки урожая выделяют учётные площади делянок, убирают растения с защитных полос. При выпадении или сильном повреждении растений на учётной площади делают выключки и уточняют учётные площади.*

*В опытах с зерновыми, зернобобовыми культурами и травами выключки делают при выпадении растений в рядках на отрезках более 50 сантиметров. В опытах с культурами широкорядного посева (свекла, картофель, подсолнечник, кукуруза и др.) выключки формируют при выпадении подряд трёх и более гнезд при гнездовом посеве.*

В выключки необходимо вводить соседние с выпавшими растения: по одному в опытах с пропашными культурами и на полосе 25–30 сантиметров в опытах с растениями узкорядного посева (зерновые, травы и т. д.).

*Делянки, где выключки составляют более 50 % учётной площади, выбраковывают. Также исключают делянки, более 30 % учётной площади которых выбраковано, если они по урожайности значительно отличаются от остальных делянок варианта.*

Для отбора образцов основной и побочной продукции заранее заготавливают из фанеры, картона или плотной бумаги этикетки, на которые проставляют простым карандашом или шариковой ручкой номер или название опыта, культуру, вид отбираемой продукции, вариант, повторение, номер делянки, дату взятия образца. Остальные сведения (сорт, предшественник, фаза разви-

тия, вносимые удобрения, содержание вариантов опыта) должны быть записаны в реестре и регистрационном журнале. Этикетки готовят по количеству намечаемых образцов (количество делянок · число видов продукции).

Также подготавливают необходимое количество больших мешков (для 20–40-клубнеплодных проб картофеля и других крупных образцов), малых мешочков из плотной ткани – для образцов зерна, семян, соломы и др. Для сохранения образцов зелёной массы, клубней картофеля и других частей растения от подсыхания лучше использовать полиэтиленовые мешки.

При необходимости отбора образцов в начале вегетации, когда растения ещё небольшие, перед выходом в поле подготавливают листы пергаментной бумаги, по размеру достаточные для заворачивания образцов. Все необходимые сведения записывают на внешней стороне бумажного листа. Количество их равно числу предполагаемых проб.

### 5.3 Исходный образец

*Исходный образец в полевых опытах отбирают отдельно с каждого повторения, что даёт возможность провести математическую обработку, либо смешанный из двух и более несмежных повторностей, в зависимости от программы каждого опыта.*

Следует учитывать, что представительный по химическому составу образец (с коэффициентом репрезентативности, близким к 100 %) может быть получен из проб, взятых с двух несмежных или всех повторностей варианта.

*Исходный образец с крупно деляночных опытов отбирается небольшими пучками растений, расположенных по диагонали делянки на равном друг от друга расстоянии, или с нескольких пробных площадок, выделенных на учётной делянке. При ограниченном числе повторений для отбора образцов можно использовать защитные полосы.*

*Отбор образцов с малых делянок проводится, главным образом, в селекционной практике. Индивидуальную изменчивость сельскохозяйственных культур в селекционной работе изучают на отдельных растениях, находящихся в одинаковых условиях произрастания. Поэтому, для взятия проб выбирают наиболее выравненные однородные участки, на делянках которых берут через определённые промежутки не менее десяти индивидуальных исходных образцов (отдельных растений) одновременно со стандартным сортом (стандартом), высеваемым через одну – десять опытных делянок, в зависимости от выравненности рельефа и плодородия участка.*

Для исходных смешанных образцов корнеплодов с малых делянок берут с каждого варианта не менее десяти растений. При отборе зерновых, зернобобовых и масличных культур используют весь урожай соответствующего вида продукции с данной делянки (зерно, семена, солома, зелёная масса).

В вегетационных и лизиметрических опытах в сосуды высевают завышенное в два – три раза количество семян. После получения укоренившихся всходов проводят одну – три прорывки, приурочивая последние к определенным фазам развития растений. Соединяют вырванные растения всех повторностей одного варианта и, тщательно очистив их от почвы, сушат и измельчают. При уборке урожая поступают так же, как и при отборе проб на малых делянках.

#### **5.4 Средняя проба**

*Исходные образцы, доставленные в лабораторию, разделяют на отдельные органы: корни, ботву, семена, зерно, солому и т. д., взвешивают, определяют весовое соотношение. Затем грубо измельчают вегетативную массу*

ножницами или соломорезкой, крупные семена – на лабораторной электрической мельнице, хорошо перемешивают и отбирают квартованием среднюю пробу.

Отдельную пробу сырого материала отбирают сразу же для определения содержания абсолютно сухого вещества, сахаристости и проведения некоторых других анализов.

При подготовке к химическому анализу образцы, разложенные тонким слоем, высушивают при комнатной температуре или с подогревом до температуры не более 50–60 °С до ломкого состояния.

В биохимическом анализе проводят предварительную фиксацию образцов для инактивации растительных ферментов и предотвращения развития микробиологических процессов. С этой целью свежесобранные образцы помещают в предварительно нагретый до 120–130 °С сушильный шкаф в открытых бумажных или картонных коробках или лотках (при этом температура сразу опускается до 100–105 °С) и фиксируют в течение 20–30 минут при температуре 105 °С, а затем досушивают, как указано выше. В таком состоянии образцы сохраняются в лаборатории необходимый период времени.

### 5.5 Аналитическая проба

**Теоретические сведения.** Из среднего образца, хорошо перемешав его, отбирают методом квартования аналитическую пробу массой 50–150 граммов воздушно-сухого вещества в зависимости от предполагаемого набора анализов и размалывают его. Материал измельчают до размера частиц 0,5–1,0 миллиметров. Более тонкий помол необходим при использовании небольших навесок (менее 200 мг).

Образцы хранятся в течение десяти месяцев в проветриваемом помещении в закрытых картонных или металлических коробках (бюксах).

При взятии навесок аналитическую пробу ещё раз тщательно перемешивают, чтобы исключить расслоение частиц по размерам и массе. Образцы одного вида продукции (например, корни или зерно) со всех вариантов одного повторения опыта должны поступать на анализ одновременно.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что является необходимым условием для правильной химической характеристики семян, зерна, плодов, корней, листьев, стеблей и т. д. по малой навеске?
2. Назовите мероприятия при подготовке к отбору растительных образцов.
3. Что такое исходный образец?
4. Что такое средняя проба?
5. Что такое аналитическая проба?

## **Занятие 6. Определение абсолютно сухого вещества и гигроскопической влаги в растительном материале**

**Цель занятия:** определение содержания сухого вещества в растительном материале, контроль знаний химического состава растений.

**Теоретические сведения.** Содержание воды в растительном материале товарной продукции колеблется в широких пределах. В овощах, корнеплодах, клубнях, плодах и ягодах оно составляет 70–97 %, в семенах злаковых, зернобобовых, масличных и других культур – от 4 до 17 %. В процессе роста и развития растений количество влаги в вегетирующих органах и созревающих семенах изменяется в широких пределах и может быть использовано для установления сроков уборки некоторых культур.

Необходимо периодическое определение содержания влаги и сухого вещества в хранящейся продукции для установления её качества. Показатель сухого вещества необходим также для приведения результатов химического анализа к абсолютно сухому веществу или к стандартной влажности. В растительном материале, доведенном до воздушно-сухого состояния, всегда содержится гигроскопическая влага, количество которой зависит от природы сухого вещества, степени его измельчения, относительной влажности воздуха в лаборатории и т. д.

**Принцип метода.** Абсолютно сухое вещество в растительном материале определяется весовым методом после высушивания его в сушильном шкафу при температуре 100–105 °С до постоянной массы. Показатель гигроскопической влаги получают по разности массы воздушно сухого и абсолютно сухого вещества.

Определение абсолютно сухого вещества и гигроскопической влаги может проводиться в воздушно-сухом и сыром материале. Кроме общепринятого, можно использовать экспресс-методы.

**Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Весы типа ВЛКТ-500.
2. Бюксы стеклянные или алюминиевые.
3. Эксикатор с водопоглощающим веществом.
4. Сушильный шкаф.
5. Палочки стеклянные оплавленные.
6. Пакеты из фильтровальной бумаги.
7. Кальций хлористый прокаленный.
8. Кислота соляная, разбавленная дистиллированной водой в соотношении (1:1).
9. Песок очищенный и прокаленный. Белый речной песок отмучивают в стеклянной посуде водопроводной водой, заливают соляной кислотой, разбавленной в соотношении (1:1), хорошо перемешивают и оставляют на ночь закрытым. После этого песок промывают водопроводной водой до исчезновения кислой реакции (проба на лакмус), затем промывают дистиллированной водой и далее высушивают. Промытый песок просеивают через сито с диаметром ячеек 1–1,5 миллиметра и прокаливают для удаления органических веществ. Хранят в закрытой банке.

**Ход анализа.** Чистые стеклянные или алюминиевые бюксы просушивают в течение 30 минут в сушильном шкафу при температуре 105 °С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают вместе с крышками на аналитических весах или весах ВЛКТ-500. Из подготовленной аналитической пробы во взвешенные бюксы берут навески (в двух кратной повторности) размолотого для анализа воздушно-сухого материала в объеме 2,5–5,0 грамма. Открытые бюксы вместе с крышками помещают в сушильный шкаф, нагрев которого отрегулирован на

105 °С, и сушат в течение четырёх – шести часов (в зависимости от анализируемого продукта). Затем закрывают бюксы крышками, охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают на тех же весах. После этого дополнительно сушат ещё два часа, охлаждают и взвешивают. При разнице в массе бюксов после первого и второго высушивания не более 0,02 грамма высушивание считается законченным.

Содержание абсолютно сухого вещества в свежем растительном материале (корнеплоды, плоды, жом и др.) определяют следующим образом. Из средней пробы измельчённого образца после тщательного перемешивания берут на весах типа ВЛКТ-500 не менее двух навесок по 10 грамм с точностью до 0,01 грамма в предварительно высушенные и взвешенные бюксы.

Если влажность материала очень высокая, в бюксы перед взятием навески добавляют пять граммов чистого песка и стеклянную палочку, которую кладут по диагонали бюкса, чтобы она не мешала закрывать его крышкой (масса песка и палочки учитывается при тарировании бюксов).

Хорошо перемешанный с навеской песок делает её более рыхлой и ускоряет высушивание. В противном случае на поверхности навески образуется плотная корка, а внутри вещество долго остаётся сырым.

Сушка ведется в два этапа. Сначала бюксы со снятыми крышками помещают в сушильный шкаф с хорошей вентиляцией и выдерживают при температуре 50–60 °С до хрупкого состояния содержимого. После этого их сушат еще три – четыре часа при температуре 105 °С. Охлаждённые в эксикаторе бюксы взвешивают, вновь сушат в течение одного часа при температуре равной 100 °С, снова охлаждают и взвешивают. Если разница между двумя взвешиваниями превышает 0,02 грамма, сушат ещё полчаса, снова охлаждают и взвешивают. В том случае, когда при высушивании масса начинает увеличиваться (за счет процессов окисления), высушивание прекращают и в расчёт берут самое меньшее показание.

## Раздел 2. Определение размеров потребления питательных веществ растениями

При резком повышении температуры (более 105 °С) начинается обугливание и потеря массы. Легко окисляющиеся вещества (семена льна, конопли, жмых, корнеплоды и клубнеплоды, барда и др.) нельзя сушить даже при такой температуре. Это вызывает потерю углекислого газа, аммиака и других летучих соединений. Такие материалы сушат в вакууме.

Кроме обычных, применяемых в лабораторных условиях, существуют также методы быстрого определения абсолютно сухого вещества в растительных материалах.

Основным экспресс-методом определения влажности и сухого вещества семян сельскохозяйственных культур является высушивание навески размолотого материала в сушильном шкафу в соответствии с режимами, указанными в таблице 2.8.

**Таблица 2.8 – Режимы высушивания**

| Семена культур                                                                                                               | Температура высушивания, °С | Продолжительность высушивания, мин. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1 Пшеница, горох, рожь, тритикале, ячмень, овёс, гречиха                                                                     | 150                         | 20                                  |
| 2 Зерновые и зернобобовые (кроме указанных в пункте 1), соя, люпин, эспарцет, подсолнечник                                   | 130                         | 40                                  |
| 3 Овощные (за исключением гороха, фасоли, бобов), бахчевые, кормовые травы и корнеплоды, лён, конопля, горчица, кенаф        | 130                         | 60                                  |
| 4 Табак, махорка                                                                                                             | 130                         | 20                                  |
| 5 Масличные (кроме указанных в пунктах 2 и 3), эфиромасличные, технические (кроме указанных в пунктах 3 и 4) и лекарственные | 105                         | 300                                 |
| 6 Сахарная свекла                                                                                                            | 130                         | 60                                  |
| Примечание: семена табака и махорки с влажностью выше 12 % высушивают в течение 30 минут.                                    |                             |                                     |

Перед взятием навесок измельчённый материал тщательно перемешивают в банке, в которой хранится образец, затем отбирают из разных мест две навески по пять грамм в предварительно взвешенные бюксы. Бюксы ставят в

сушильный шкаф, отрегулированный и разогретый до нужной температуры. Время высушивания считается с момента установления температуры, указанной в таблице 2.8, в загруженном бюксами шкафу. Высушенные бюксы с навесками переносят в эксикатор, охлаждают примерно 30 минут и взвешивают с точностью до 0,01 грамма.

Для быстрого определения сухих веществ в сыром, прессованном и сушёном жоме и других растительных материалах применяют прибор Чижовой. Навеску сырого материала около трёх граммов (взвешивание ведут с точностью до 0,01 грамма) помещают в высушенных и взвешенных пакетах из фильтровальной бумаги в прибор и сушат в течение 15–20 минут при температуре 140–145 °С. После высушивания пакеты охлаждают в эксикаторе и взвешивают.

**Обработка результатов.** Содержание влаги ( $W$ ) рассчитывают по формуле (2.1):

$$W = \frac{a - b}{a - c} \cdot 100 \quad (2.1)$$

где  $a$  – масса бюкса с навеской, г;

$b$  – масса бюкса с навеской после высушивания, г;

$c$  – масса пустого бюкса, г.

Содержание сухого вещества ( $D$ ) находят по формуле (2.2) или по формуле (2.3):

$$D = 100 - W, \quad (2.2)$$

$$D = \frac{b - c}{a - c} \cdot 100 \quad (2.3)$$

Результаты вычислений округляют до первого десятичного знака.

Коэффициент влажности ( $K_{H_2O}$ ), необходимый для пересчёта результатов последующих анализов на сухую навеску рассчитывают по формуле (2.4):

$$K_{H_2O} = \frac{100}{100 - W} \quad (2.4)$$

Результаты записывают в таблицу 2.9.

**Таблица 2.9 – Расчёт влажности растительного материала**

| Номер<br>бюкса | Масса<br>пустого<br>бюкса, г<br>(с) | Масса<br>бюкса с<br>навеской, г<br>(а) | Масса бюкса с<br>навеской после<br>высушивания, г (b) |                |                | Влажность,<br>% (W) | Сухое<br>вещество,<br>% (D) | Коэффициент<br>влажности |
|----------------|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|
|                |                                     |                                        | b <sub>1</sub>                                        | b <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> |                     |                             |                          |
|                |                                     |                                        |                                                       |                |                |                     |                             |                          |
|                |                                     |                                        |                                                       |                |                |                     |                             |                          |
| ...            | ...                                 | ...                                    | ...                                                   | ...            | ...            | ...                 | ...                         | ...                      |

### Вопросы для самоконтроля

1. Какое содержание воды и сухого вещества в основных видах сельскохозяйственной продукции?
2. Что означает термин «влажность»?
3. Каков принцип работы на технических весах?
4. Что означает термин «сухое вещество»?
5. Что означает термин «коэффициент влажности»?

## Занятие 7. Определение сырой золы в растительном материале

**Цель занятия:** определение содержания сырой золы в растениях методом сухого озоления.

**Теоретические сведения.** Для определения количества усвоенных растениями питательных элементов растительный материал минерализуют озолением (сжиганием), которое может осуществляться сухим, мокрым и каталитическим способами.

**Значение анализа.** После сжигания растительного материала остаётся остаток – зола. В сухом веществе большей части сельскохозяйственных растений содержится 3–6 % золы. Содержание золы зависит от биологических особенностей культуры, органов, стадии развития, условий выращивания растений.

Например, в листьях, стеблях и корнях содержание золы всегда больше, чем в семенах. При сжигании растительного материала углерод и азот улетучиваются, в золе остаются фосфор, сера, калий, кальций, магний, кремний, а также микроэлементы. Их называют зольными элементами. *Определение содержания золы в растениях позволяет узнать общее количество минеральных веществ, поступающих из почвы, выяснить соотношение зольных элементов в составе растений, а также установить, сколько их усваивается растениями в отдельные периоды роста и развития.*

Метод сухого озоления используют, главным образом, как подготовительный этап разнообразных методов анализа содержания макро- и микроэлементов в растениях. Состав золы растений различен и отражает неодинаковую потребность культур в элементах минерального питания (табл. 2.10).

На долю калия в золе листьев большинства растений приходится от 30 до 50 %, а в люцерне, клевере, вике содержание кальция значительно выше, чем

## Раздел 2. Определение размеров потребления питательных веществ растениями

калия. Содержание калия, фосфора и серы снижается в старых листьях, а кальция повышается от 20–40 до 50–60 % от массы золы.

**Таблица 2.10 – Примерное содержание элементов в золе растений (Вильдфлуш и др. (2005 г.)**

| В процентах от массы золы |           |                               |                  |      |      |                 |                   |                  |
|---------------------------|-----------|-------------------------------|------------------|------|------|-----------------|-------------------|------------------|
| Культура                  | Продукция | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO  | MgO  | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | SiO <sub>2</sub> |
| Пшеница                   | зерно     | 48,0                          | 30,0             | 3,0  | 12,0 | 5,0             | 2,0               | 2,0              |
|                           | солома    | 10,0                          | 30,0             | 20,0 | 6,0  | 3,0             | 3,0               | 20,0             |
| Горох                     | зерно     | 30,0                          | 40,0             | 5,0  | 6,0  | 10,0            | 1,0               | 1,0              |
|                           | солома    | 8,0                           | 25,0             | 35,0 | 8,0  | 6,0             | 2,0               | 10,0             |
| Картофель                 | клубни    | 16,0                          | 60,0             | 3,0  | 5,0  | 6,0             | 2,0               | 2,0              |
|                           | ботва     | 8,0                           | 30,0             | 30,0 | 12,0 | 8,0             | 3,0               | 2,0              |
| Сахарная свекла           | корни     | 15,0                          | 40,0             | 10,0 | 10,0 | 6,0             | 10,0              | 3,0              |
|                           | ботва     | 8,0                           | 30,0             | 15,0 | 12,0 | 5,0             | 25,0              | 2,0              |
| Подсолнечник              | семена    | 40,0                          | 25,0             | 7,0  | 12,0 | 3,0             | 3,0               | 3,0              |
|                           | стебли    | 3,0                           | 50,0             | 15,0 | 7,0  | 3,0             | 2,0               | 6,0              |

**Принцип метода.** Метод определения золы основан на сжигании органического вещества при свободном доступе воздуха. При сжигании углерод, водород и частично кислород улетучиваются в виде углекислоты и паров. Остаются только минеральные элементы в виде окисных соединений. Азот при сухом озолении полностью теряется.

«Сырой» золу называют потому, что в её составе могут быть механические примеси (песок), несгоревшие частицы угля.

При озолении растительного вещества строго выдерживают температуру в муфельной печи на уровне 520–550 °С. При более высокой температуре наблюдаются потери фосфора и серы.

### **Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Фарфоровые тигли.
2. Муфельная печь.
3. Эксикатор.
4. Аналитические весы.
5. Электрическая плитка.

6. Дистиллированная вода.
7. 25-процентный раствор соляной кислоты.
8. Фильтры.
9. Стеклянные палочки.
10. Воронки.
11. Колбы объёмом 100 мл.

**Ход анализа.** Чистые, сухие, пронумерованные раствором хлорного железа тигли прокаливают в муфельной печи в течение одного часа при температуре 500–600 °С. После охлаждения тиглей в эксикаторе их взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0001 грамма. Тигли заполняют измельчённым растительным веществом примерно на две трети объёма и взвешивают на аналитических весах с той же точностью. Масса образца должна составлять один – два грамма воздушно-сухого и два – пять грамма свежего растительного материала. Тигель помещают на электрическую плитку и медленно озоляют до прекращения выделения газов.

Затем тигель помещают в муфель, доводят температуру до 520–550 °С и прокаливают в течение 3,5–4 часа. Озоление считают окончанным, когда в золе отсутствуют видимые частицы несгоревшего угля, и она приобретает ровную светло-серую или, в зависимости от присутствия железа, буро-красную, а при наличии соединений марганца – зеленоватую окраску. После прокаливания тигель охлаждают в эксикаторе и определяют массу золы. Результаты записывают в таблицу 2.11.

**Таблица 2.11 – Расчёт содержания сырой золы**

| Номер образца | Номер тигля | Масса пустого тигля, г ( <i>c</i> ) | Масса тигля с навеской, г ( <i>a</i> ) | Масса навески, г ( $b = a - c$ ) | Масса тигля с золой, г ( <i>e</i> ) | Масса золы, г ( $d = e - c$ ) | Процент золы ( <i>D</i> ) |
|---------------|-------------|-------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|               |             |                                     |                                        |                                  |                                     |                               |                           |
|               |             |                                     |                                        |                                  |                                     |                               |                           |
| ...           | ...         | ...                                 | ...                                    | ...                              | ...                                 | ...                           | ...                       |

---

**Обработка результатов.** Содержание сырой золы ( $D$ ) рассчитывают по формуле (2.5):

$$D = \frac{d \cdot 100}{b \cdot K_{H_2O}} \quad (2.5)$$

где  $d$  – масса золы, г;  
 $b$  – масса навески, г.

Результаты округляют до первого десятичного знака.

В полученной золе можно определить зольные элементы. Для этого золу необходимо перевести в раствор.

**Ход анализа.** Зола в тигле смачивают несколькими каплями дистиллированной воды и затем добавляют 2–5 мл 25-процентного раствора соляной кислоты. Стеклопалочкой тщательно перемешивают содержимое тигля, добиваясь полного растворения золы. Затем в тигель добавляют дистиллированную воду и отфильтровывают полученный раствор через беззольный фильтр в мерную колбу объёмом 100 мл. Небольшими порциями дистиллированной воды (3–5 мл) не менее пяти раз тигель тщательно ополаскивают, и раствор сливают по стеклянной палочке в воронку с фильтром. После полной фильтрации раствора фильтр еще три раза промывают водой. Затем раствор в колбе доводят водой до метки и перемешивают. Раствор золы используют для определения фосфора, калия, кальция, магния и других зольных элементов минерального питания.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие бывают методы озоления растительных проб?
2. Какие элементы относятся к зольным?
3. От каких факторов зависит количество золы в растениях?
4. Какие элементы можно определить в золе, полученной данным путём?
5. Почему получаемая зола называется сырой?

## **Занятие 8. Мокрое озоление растительного материала в серной кислоте с пероксидом водорода**

**Цель занятия:** ознакомиться с методикой «мокрого озоления» растительной пробы.

**Значение анализа.** Главное значение среди большого количества элементов минерального питания в обмене веществ у растений принадлежат азоту, фосфору и калию. Они могут быть определены химическими и инструментальными методами после мокрого озоления растительного материала.

Мокрое озоление растительных образцов, отобранных в процессе вегетации с последующим анализом золы, является составляющей частью метода листовой диагностики обеспеченности растений элементами питания и прогнозирования урожая.

**Принцип метода.** *Растительное вещество озоляют при температуре 338 °С в серной кислоте с перекисью водорода в присутствии селена, который повышает температуру кипения серной кислоты, усиливает процессы гидролиза, распада и окисления органических соединений. Безазотистые органические вещества окисляются до воды и углекислоты, высвобождая зольные элементы в виде оксидов. Азотсодержащие органические соединения окисляются также до воды и углекислоты, высвобождают азот в виде аммиака, который немедленно связывается серной кислотой  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ .*

### **Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Торсионные весы.
2. Папиросные гильзы.
3. Термостойкие пробирки вместимостью 50 мл.
4. 30-процентная перекись водорода.
5. Пипетка.

6. Дозатор.
7. Селено содержащая серная кислота.
8. Электрическая плитка.
9. Дистиллированная вода.
10. Мерные колбы объемом 100 мл.

**Приготовление растворов. Селен содержащая  $H_2SO_4$ .** *К одному литру концентрированной серной кислоты добавляют пять граммов селена и нагревают в термостойкой колбе до полного обесцвечивания раствора.*

**Ход анализа.** На торсионных весах взвешивают стандартную папиросную гильзу с точностью до одного миллиграмма, простым карандашом надписывают номер пробы, закручивают один конец и в образовавшийся пакетик помещают около 200 мг тонко измельчённого растительного материала. Взвешивают навеску вместе с гильзой с точностью до одного миллиграмма. Вторым концом гильзы закручивают и помещают в термостойкую пробирку вместимостью 50 мл, приливают 2 мл 30-процентной перекиси водорода. Через пять – десять минут, когда вся навеска смочится перекисью, в пробирку осторожно по стенке приливают 3 мл селено содержащей серной кислоты. Одновременно делают холостую пробу для определения чистоты реактивов от примесей определяемых элементов (с пустой гильзой).

Пробирки помещают в специальную установку или в песчаную баню на холодную электрическую плитку в вытяжном шкафу. Плитку включают на самый малый нагрев. Когда в пробирках прекратится бурное выделение газов (вспенивание), нагрев увеличивают. Продолжительность процесса озонирования составляет 2,5–5 часов. Озонирование заканчивают, когда раствор в пробирке приобретает совершенную прозрачность, и появляются белые пары оксида серы над кипящим раствором золы.

После завершения озонирования и охлаждения пробирок в них осторожно приливают по 5 мл дистиллированной воды и перемешивают, содержимое

пробирки при этом сильно разогревается. После охлаждения раствор переносят в мерную колбу на 100 мл, многократно споласкивая пробирку небольшими порциями дистиллированной воды. Затем, после полного охлаждения раствора, его доводят до метки водой, закрывают пробкой и перемешивают. В полученном растворе определяют азот и зольные элементы.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. С какой целью озоляют исследуемый материал?
2. На чём основан принцип мокрого озоления?
3. Приведите классификацию химического состава растений.
4. В форме каких соединений находятся азот и зольные элементы после «мокрого» озоления?

### **Занятие 9. Фотометрический индофенольный метод определения азота**

**Цель занятия:** ознакомиться с устройством и работой фотоэлектрориметра; изучить методику проведения анализа; определить содержание азота в растительном материале.

**Теоретические сведения.** Азотистые вещества, содержащиеся в растениях, представлены преимущественно белком. Кроме того, азот входит в состав нуклеиновых кислот, хлорофилла, алкалоидов и фосфатидов. Количество небелкового азота в растениях обычно не превышает 10 % от общего содержания азотистых веществ.

Растительный белок представляет большую пищевую и кормовую ценность, поэтому определение азота в растениях имеет большое значение. При агрохимических анализах растений чаще всего проводят определение общего

азота с целью определения потребления азота урожаем культуры в течение вегетационного периода и оценки качества продукции.

**Принцип метода.** После мокрого озоления растительного материала, азот в растворе находится в форме сернокислого аммония. Его фотоколориметрическое определение проводится в виде индофенольного соединения, образующегося в щелочной среде при взаимодействии аммония с гипохлоритом и салицилатом натрия, имеющего максимум светопоглощения при 655 нанометров. Концентрация азота в фотометрируемых растворах должна составлять 0,01–0,14 мг/см<sup>3</sup>.

**Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Стаканы или плоскодонные колбы на 100 мл.
2. Шприц-дозатор.
3. Рабочий окрашивающий раствор.
4. Рабочий раствор гипохлорита натрия.
5. Кюветы толщиной 10 мм.
6. Фотоэлектроколориметр.
7. Раствор хлористого аммония.
8. Образцовые растворы.

**Приготовление растворов:**

**1. Окрашивающий раствор.** Различают исходный и рабочий окрашивающие растворы.

*Исходный окрашивающий раствор.* 57 г салицилата натрия (или 47,7 г салициловой кислоты), 16,7 г виннокислого калия-натрия и 27 г гидроокиси натрия (если использовали кислоту, то 40,9 г) растворяют в 700 мл дистиллированной воды. Раствор кипятят в течение 20 минут для удаления загрязнения аммонием. После охлаждения в полученный раствор добавляют 0,4 г нитропруссиды натрия и доводят объём до одного литра дистиллированной водой

без аммиака. Хранится реактив в тёмной склянке в холодильнике в течение месяца.

*Рабочий окрашивающий раствор.* К 250 мл исходного окрашивающего раствора добавляют 1 750 мл дистиллированной воды, не содержащей аммиак, 250 мл гидроокиси натрия с концентрацией 2 мол/дм<sup>3</sup> и 4,5 г трилона Б. Раствор хорошо перемешивают. Гидроксид натрия добавляется для нейтрализации серной кислоты испытуемого раствора. Реактив готовят в день проведения анализа.

## **2. Восстановитель. Приготавливают исходный и рабочий растворы гипохлорита натрия.**

*Исходный раствор гипохлорита натрия.* В стакане перемешивают 150 г хлорной извести (технической) с 250 мл дистиллированной воды. В другом стакане 105 г безводного углекислого натрия растворяют в 250 мл дистиллированной воды. Оба раствора сливают при постоянном перемешивании.

Масса сначала густеет, затем разжижается. Полученную суспензию оставляют на одну – двое суток для отстаивания. Затем прозрачную жидкость сливают и фильтруют.

В полученном реактиве содержится 6–10 % активного хлора. Точную его концентрацию определяют следующим образом: один миллилитр прозрачного фильтрата разбавляют 50 мл воды, прибавляют 2 г йодистого калия и 10 мл 1 н. раствора HCl. Образовавшийся йод оттитровывают 0,1 н. раствором тиосульфата натрия, приготовленного из фиксанала, до исчезновения вишневой окраски.

Расчет концентрации активного хлора в процентах (*Cl*) проводится по формуле (2.6):

$$Cl = a * 0,00355 \cdot 100 \quad (2.6)$$

---

где  $a$  – количество 0,1 н. тиосульфата натрия, пошедшего на титрование, мл;  
0,00355 – один миллилитр 0,1 н. раствора тиосульфата натрия соответствует 0,00355 г хлора;  
100 – коэффициент перевода в проценты.

Например, на титрование одного миллилитра исходного раствора гипохлорита натрия пошло 19,8 мл 0,1 н. раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Следовательно, концентрация активного хлора равна 7,029 % ( $19,8 \cdot 0,00355 \cdot 100$ ). Раствор хранится в холодильнике в склянке из тёмного стекла в течение года.

*Рабочий раствор гипохлорита натрия.* Исходный раствор гипохлорита натрия разбавляют дистиллированной водой до концентрации 0,125 % и используют для анализа в течение дня.

*Пример расчета при разведении.* Исходный раствор гипохлорита имеет концентрацию хлора 7,03 %. Для получения 100 мл 0,125 % раствора нужно взять 1,78 мл исходного ( $\frac{0,125 \cdot 100}{7,03}$ ).

### 3. Образцовые растворы для определения азота.

*Исходный образцовый раствор.* 1,910 г хлористого аммония растворяют в дистиллированной воде и доводят объём до одного литра. Раствор содержит 0,5 мг азота в одном миллилитре.

*Рабочая шкала образцовых растворов.* В мерные колбы на 100 мл наливают объёмы исходного образцового раствора, указанные в таблице 2.12, приливают по 3 мл концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и перемешивают. После охлаждения колбы объём раствора доводят дистиллированной водой до метки и снова перемешивают. Раствором сравнения служит нулевой раствор шкалы.

**Ход анализа.** Для определения азота в пробирки или конические колбы вместимостью 50 мл отбирают шприцем-дозатором или градуированной пипеткой по 0,5 мл анализируемых растворов и растворов шкалы. Приливают к ним дозатором 18,5 мл рабочего окрашивающего раствора и один миллилитр рабочего раствора гипохлорита натрия.

Таблица 2.12 – Рабочая шкала образцовых растворов для определения азота

| Показатель                                            | Номера колбы шкалы сравнения |   |   |    |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------------|------------------------------|---|---|----|----|----|----|----|
|                                                       | 1                            | 2 | 3 | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
| Объем исходного образцового раствора, см <sup>3</sup> | 0                            | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 |
| Содержание азота, мг/100 см <sup>3</sup>              | 0                            | 2 | 4 | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 |
| Оптическая плотность раствора ( <i>D</i> )            | 0                            |   |   |    |    |    |    |    |

Хорошо перемешивают после добавления каждого реактива и оставляют на один час для развития окраски. Одновременно проводят окрашивание, колориметрирование образцовых растворов и холостое определение.

Колориметрируют растворы в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 10 мм при длине волны 655 нанометров (красный светофильтр) не ранее чем через один час и не позднее чем через 2,5 часа после добавления раствора гипохлорита натрия.

**Обработка результатов.** Содержание азота в анализируемом материале определяют по калибровочному графику, на горизонтальной оси которого откладывают концентрацию азота в миллиграммах на 100 мл, а на вертикальной отмечают оптическую плотность. Результаты рассчитывают по формуле (2.7):

$$N = \frac{(a - b) \cdot 100}{n \cdot K_{H_2O}} \quad (2.7)$$

где *a* – отсчёт по графику концентрации азота в исследуемом растворе;

*b* – отсчёт по графику концентрации азота в холостом определении;

*n* – навеска сухого растительного материала, мг;

*K<sub>H<sub>2</sub>O</sub>* – коэффициент пересчёта результатов на сухое вещество.

Результаты округляют до второго десятичного знака.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какова роль азота в питании растений?
2. В каких формах поступает азот в растения?
3. Какое количество азота содержится в основных сельскохозяйственных культурах?

### Занятие 10. Определение фосфора по Е. Труогу и А. Мейеру

**Цель занятия:** изучить методику определения фосфора; определить содержание фосфора в растительном материале.

**Теоретические сведения.** Фосфор является одним из наиболее дефицитных для растений элементом питания, потребность в котором проявляется с первых же дней роста и развития растения. Фосфор играет важную роль в жизни растений. Он входит в состав нуклеиновой кислоты, которая при соединении с белком дает нуклеопротеиды. Значительное количество фосфорной кислоты находится в растении также в виде фитина, фосфатидов и других органических веществ. Агрохимический контроль за выносом фосфора из почвы урожаями различных сельскохозяйственных культур осуществляется путём анализа на содержание этого вещества. Кроме того, определение фосфора в кормах необходимо для расчёта минерального питания животных.

**Принцип метода.** Метод определения фосфорной кислоты в растворе основан на появлении голубого цвета фосфорно-молибденовой кислоты в присутствии сильного восстановителя – хлорида олова. Метод обладает высокой чувствительностью: от 0,05–0,1, но не более 1 мг/дм<sup>3</sup> оксида фосфора. Определению фосфора мешает кремневая кислота (при её содержании более 8 мг/100 см<sup>3</sup>), а также трёхвалентное железо ( $Fe^{3+}$ ) (при его концентрации более 4 мг/100 см<sup>3</sup>) окрашиваемого раствора.

**Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Мерные колбы объёмом 50 мл.
2. Шприц-дозатор.
3. Дистиллированная вода.
4. Молибденово-кислый аммоний в серной кислоте.
5. Пипетка.

6. 2,5-процентный раствор хлористого олова.

7. Кюветы толщиной 20 мм.

8. Фотоэлектроколориметр.

9. Раствор фосфорнокислого калия.

10. Образцовые растворы.

### **Приготовление растворов:**

**1. Молибденовокислый аммоний в серной кислоте.** 25 г молибдата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  растворяют в 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды при нагревании. Нагрев доводят до температуры 60 °С. Одновременно в мерную колбу вместимостью один литр вливают 500 мл дистиллированной воды и осторожно по стенке колбы без перемешивания приливают 280 мл серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (плотностью 1,84 г/см<sup>3</sup>, химически чистой). После остывания обоих растворов, в колбу с раствором серной кислоты приливают раствор молибдата аммония, охлаждают и доводят объём водой до метки. Хранят раствор в тёмной склянке в течение одного года.

**2. Восстановитель – 2,5-процентный раствор дихлорида олова.** На аналитических весах берут 0,25 г (250 мг) соли  $(\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  и переносят в стеклянную пробирку вместимостью 15–20 мл. Затем приливают 10 мл 10-процентного раствора соляной кислоты. Пробирку помещают в стакан с горячей водой, и содержимое стакана кипятят до полного растворения соли олова. Готовят раствор и используют в день проведения анализа.

**3. Исходный образцовый раствор фосфорнокислого калия с массовой долей оксида фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) равной 0,1 мг/см<sup>3</sup>.** 0,1917 г перекристаллизованного и высушенного при температуре 105 °С дигидроортофосфата калия ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе объёмом один литр. Раствор доводят водой до метки и перемешивают. Исходный образцовый раствор содержит 0,1 мг оксида фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) в одном миллилитре.

**Рабочая шкала образцовых растворов.** В мерные колбы на 100 мл отбирают объёмы исходного образцового раствора фосфорнокислого калия по таблице 2.13.

**Таблица 2.13 – Приготовление шкалы образцовых растворов сравнения по Е. Труогу и А. Мейеру**

| Показатель                                                                         | Номера колб шкалы сравнения |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                                    | 1                           | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| Объём исходного образцового раствора, см <sup>3</sup>                              | 0                           | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| Содержание оксида фосфора (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), мг/100 см <sup>3</sup> | 0                           | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 |
| Оптическая плотность раствора ( <i>D</i> )                                         | 0                           |      |      |      |      |      |      |      |      |

**Ход анализа.** 2,5 мл раствора золы после мокрого озоления переносят в мерную колбу объёмом 50 мл. Туда же добавляют около 40 мл дистиллированной воды, затем 2 мл молибденово-кислого аммония в серной кислоте. Содержимое колбы перемешивают и доводят водой до метки. Затем еще раз тщательно перемешивают, пипеткой добавляют три капли 2,5-процентного раствора хлористого олова. Снова тщательно перемешивают и через пять минут, но не позднее чем через 25 минут измеряют оптическую плотность на фотоэлектроколориметре с красным светофильтром (длина волны 650 нанометров) в кювете толщиной 10–20 мм. Одновременно с испытуемым раствором производят окрашивание и колориметрирование образцовых растворов и холостое определение.

**Обработка результатов.** Содержание фосфора в анализируемом материале определяют по калибровочному графику, на горизонтальной оси которого откладывают концентрацию фосфора в миллиграммах на 100 миллилитров, а на вертикальной – оптическую плотность.

Результаты рассчитывают по формуле (2.8):

$$P_2O_5 = \frac{(a - b) \cdot 100}{n \cdot K_{H_2O}} \quad (2.8)$$

где  $a$  – отсчёт по графику концентрации фосфора в испытуемом растворе;  
 $b$  – отсчёт по графику концентрации фосфора в холостом определении;  
 $n$  – навеска растительного материала, мг;  
 $K_{H_2O}$  – коэффициент пересчёта результатов на сухое вещество.

Результаты округляют до второго десятичного знака.

### Вопросы для самоконтроля

1. Определите роль фосфора в питании растений.
2. Дайте характеристику содержания фосфора в растениях.
3. Назовите формы фосфорных соединений в растениях.
4. Каково содержание фосфора в различных фосфорных соединениях?
5. Раскройте устройство и принцип работы фотоэлектроколориметра.

### **Занятие 11. Определение калия в растениях**

**после мокрого озоления пламенно-фотометрическим методом**

**Цель занятия:** ознакомиться с устройством и принципом работы пламенного фотометра; изучить методику определения калия; определить содержание калия в растительном материале.

**Теоретические сведения.** Среди элементов минерального питания, потребляемых растениями в наибольших количествах, калию принадлежит одно из первых мест. Калий оказывает значительное влияние на процессы фотосинтеза и углеводного обмена в растениях. Кроме того, установлена определенная связь между обеспеченностью растений калием и обменом азотистых веществ. Большая часть калия в растении находится в ионной форме, и лишь некоторое количество его связано в виде непрочных адсорбционных соединений с коллоидами плазмы клетки.

Определение содержания калия в растениях необходимо для учёта потребления этого элемента урожаями различных сельскохозяйственных культур.

**Принцип метода.** *Калий в растениях определяют на пламенном фотометре. Метод основан на измерении светового излучения атомов калия при возбуждении их электронных оболочек в пламени пропан-бутана. Сопоставляя интенсивность излучения образцового раствора с известной концентрацией калия и испытуемого раствора, в нём находят содержание калия.*

**Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Пенициллиновые склянки.
2. Мерный цилиндр на 20 мл.
3. Раствор хлористого калия.
4. Пламенный фотометр.

## 5. Образцовые растворы.

### Приготовление растворов:

**Исходный образцовый раствор хлористого калия с массовой концентрацией оксида калия ( $K_2O$ ) 1 мг/см<sup>3</sup>.** 1,5826 г химически чистого, перекристаллизованного хлористого калия растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе на один литр. Объём раствора доводят до метки и тщательно перемешивают.

**Рабочая шкала образцовых растворов.** В мерные колбы на 100 мл отбирают объёмы исходного раствора хлористого калия, указанные в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Шкала для определения калия в растениях

| Показатель                                                                | Номера колб шкалы сравнения |     |   |     |   |   |   |   |    |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----|---|-----|---|---|---|---|----|
|                                                                           | 1                           | 2   | 3 | 4   | 5 | 6 | 7 | 8 | 9  |
| Объём исходного образцового раствора хлорида калия (KCl), см <sup>3</sup> | 0                           | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Содержание хлорида калия (KCl), мг/100 см <sup>3</sup>                    | 0                           | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Показания прибора, мВ (мА)                                                | 0                           |     |   |     |   |   |   |   |    |

**Ход анализа.** В чистые сухие пенициллиновые склянки наливают около 20 мл исследуемого раствора после мокрого озоления растительного материала и проводят определение калия на пламенном фотометре.

Для вычисления результатов анализа необходимо построить градуированную кривую по рабочей шкале образцовых растворов известной концентрации: 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 4,0, 6,0, 8,0, 10,0 мг оксида калия ( $K_2O$ ) на 100 мл раствора.

В пламя фотометра вводят поочередно по возрастающей концентрации стандартные растворы калия и записывают показания прибора. Градуированная кривая строится следующим образом: по вертикали в соответствующем

масштабе откладывают показания прибора, а по горизонтальной линии – соответствующие им концентрации оксида калия ( $K_2O$ ) в миллиграммах на 100 миллилитров.

После построения градуированного графика в пламени фотометра просматривают исследуемые растворы и записывают полученные результаты. В случае зашкаливания прибора при измерении испытуемого раствора осуществляют кратное разбавление: 10 или 20 мл раствора пипеткой переносят в мерную колбу на 50 мл, доводят водой до метки, закрывают пробкой, перемешивают и измеряют оптическую плотность на пламенном фотометре. Разбавление учитывают при расчётах содержания калия.

**Обработка результатов.** Содержание оксида калия ( $K_2O$ ) в анализируемом растительном материале вычисляют по формуле (2.9):

$$K_2O = \frac{a \cdot 100}{n \cdot K_{H_2O}} \quad (2.9)$$

где  $a$  – количество оксида калия ( $K_2O$ ) по градуированному графику, мг;

$n$  – навеска растительного материала, мг;

$K_{H_2O}$  – коэффициент пересчёта результатов на сухое вещество.

Результаты округляют до второго десятичного знака.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Опишите устройство и принцип работы пламенного фотометра.
2. Дайте характеристику содержания калия в основной и побочной продукции различных культур.
3. Определите роль калия в питании растений.

## Занятие 12. Определение кальция и магния комплексометрическим методом

**Цель занятия:** изучить методику определения кальция и магния; определить кальций и магний в растительном материале.

**Теоретические сведения.** Кальций – необходимый элемент для нормального роста растений. Он усиливает фотосинтез и передвижение углеводов, оказывает влияние на превращение азотистых соединений, под его воздействием в клетках устанавливается благоприятное кислотно-щелочное равновесие.

Магний входит в состав хлорофилла, участвует в усилении передвижения фосфора в растениях, активизирует фосфатазы, ускоряет образование углеводов, влияет на окислительно-восстановительные процессы в клетках растений.

Определение кальция и магния в растениях необходимо для изучения выноса этих элементов урожаями сельскохозяйственных культур, а также установления темпов и размеров поглощения, а следовательно, и физиологической роли этих элементов на отдельных этапах онтогенеза растений.

**Принцип метода** заключается в образовании в щелочной среде малодиссоциированного комплексного соединения кальция и магния с диэтилтриаминной солью этилендиамина- $N, N, N^I, N^I$  – тетрауксусной кислоты (трилона Б) и определения эквивалентной точки при титровании с использованием металлоиндикаторов. Минерализацию проб проводят способом мокрого или сухого озоления.

### **Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Конические колбы вместимостью 250 мл.
2. Мерные цилиндры объёмом 10 мл и 50 мл.
3. Дистиллированная вода.

4. Щелочь (KOH или NaOH).

5. Сухие соли лимоннокислого натрия или солянокислого гидроксид-амина.

6. Индикатор кальцеин или мурексид.

7. Раствор трилона Б.

8. Углекислый кальций концентрации 0,01 моль/дм<sup>3</sup>.

9. Диэтилдитиокарбомат натрия.

10. Аммиачный буферный раствор.

11. Индикатор хромоген чёрный.

12. Установка для титрования.

13. Электрическая плитка.

#### **Приготовление растворов:**

**1. Приготовление индикаторов.** Один грамм индикатора хромогена чёрного смешивают со 100 г хлористого калия и растирают в ступке до однородного состояния. Аналогично готовят кальцеин или мурексид. Хранят в тёмной склянке с притёртой пробкой.

**2. Раствор углекислого кальция с концентрацией 0,01 моль/дм<sup>3</sup>.** Углекислый кальций в количестве 1,001 г, высушенный при температуре 105 °С до постоянной массы, растворяют в 2 мл раствора соляной кислоты в мерной колбе вместимостью один литр. Раствор в колбе доводят до метки дистиллированной водой.

**3. Раствор трилона Б с концентрацией 0,01 моль/дм<sup>3</sup>.** Трилон Б в количестве 3,722 г растворяют в небольшом объёме дистиллированной воды в мерной колбе вместимостью один литр и доводят раствор до метки дистиллированной водой. Если раствор мутный, его фильтруют. Раствор хранят в химически стойкой стеклянной или полиэтиленовой посуде в тёмном месте в течение шести месяцев.

---

**4. Аммиачный буфер.** 20 г хлорида аммония растворяют в 100 мл дистиллированной воды, приливают 100 мл 25-процентного раствора гидроксида аммония, доводят общий объём в мерной колбе до одного литра и тщательно перемешивают. Хранят в склянке с притёртой пробкой.

## 12.1 Определение кальция

**Ход анализа.** В коническую колбу вместимостью 250 мл последовательно вносят 10 мл раствора золы после сухого озоления, 50 мл дистиллированной воды, 30–60 мг сухих солей лимоннокислого натрия или солянокислого гидроксиламина, 7 мл раствора гидроокиси калия. Содержимое перемешивают и добавляют около 30 мг индикатора кальцеина или мурексида. Титруют раствором трилона Б до перехода жёлто-зелёной окраски в розовую при использовании кальцеина, фиолетовой в синюю при использовании мурексида.

Параллельно проводят титрование контрольного (холостого) опыта и проверку молярной концентрации трилона Б. Для этого в коническую колбу вместимостью 250 мл отбирают 5 мл раствора кальция углекислого концентрации 0,01 моль/л, добавляют 50 мл дистиллированной воды, 5 мл раствора гидроокиси калия или натрия. Один из индикаторов титруют раствором трилона Б до изменения окраски.

Молярную концентрацию трилона Б ( $C$ ) вычисляют по формуле (2.10):

$$C = \frac{C_1 \cdot V}{V_1} \quad (2.10)$$

где  $C_1$  – молярная концентрация раствора углекислого кальция, моль/л;  
 $V$  – объём раствора углекислого кальция, взятый для титрования, мл;  
 $V_1$  – объём раствора трилона Б, израсходованного на титрование, мл.

---

**Вычисление результатов.** Массовую долю кальция в исследуемой пробе в процентах вычисляют по формуле (2.11):

$$CaO = V_2 \cdot (V_4 - V_3) \cdot C \cdot 0,056 \cdot 100 : V_5 : n \cdot K_{H_2O} \quad (2.11)$$

где  $V_2$  – исходный объём исследуемого раствора, мл;

$V_4$  – объём раствора трилона Б, израсходованного на титрование исследуемого раствора, мл;

$V_3$  – объём раствора трилона Б, израсходованного на титрование контрольного опыта, мл;

$C$  – концентрация раствора трилона Б, моль/л;

0,056 – масса оксида кальция, соответствующая одному миллилитру раствора трилона Б с концентрацией 1 моль/л, г;

$V_5$  – объём исследуемого раствора, взятый для титрования, мл.

Результаты вычисляют до третьего десятичного знака и округляют до второго десятичного знака.

## 12.2 Определение магния

**Ход анализа.** В коническую колбу вместимостью 250 мл последовательно вносят 10 мл раствора золы после сухого озоления, 50 мл дистиллированной воды, 30–60 мг лимоннокислого натрия или солянокислого гидроксид-амина, около 30 мг диэтилдитиокарбомата натрия, 10 мл аммиачного буферного раствора. Колбы с раствором нагревают на электрической плитке до температуры 50–60 °С, добавляют около 30 мг индикатора хромогена чёрного и титруют раствором трилона Б до сине-голубой окраски. Титрование лучше вести со «свидетелем».

**Обработка результатов.** Массовую долю магния вычисляют по разности объёмов трилона Б, пошедшего на титрование суммы кальция и магния и кальция отдельно, по формуле (2.12):

---

$$MgO = V_2 \cdot (V_6 - V_4) \cdot C \cdot 0,040 : V_5 : n \cdot K_{H_2O} \quad (2.12)$$

где  $V_6$  – объём раствора трилона Б, израсходованного на титрование суммы кальция и магния, мл;

0,040 – масса оксида магния, соответствующая одному миллилитру раствора трилона Б с концентрацией 1 моль/л, г.

Результаты вычисляют с точностью до третьего десятичного знака и округляют до второго десятичного знака.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Объясните принцип комплексонометрического метода определения кальция и магния.
2. Как определяется содержание кальция и магния в растениях?
3. Укажите роль магния в питании растений.
4. Обоснуйте роль кальция в питании растений.

---

## РАЗДЕЛ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА УРОЖАЯ И КОРМОВ

### **Занятие 13. Методы определения различных форм азота в растительном материале**

#### **Занятие 13.1. Определение содержания нитратного азота в растительной продукции**

**Цель занятия:** изучить методики определения нитратов в растительной продукции; освоить метод определения сырого белка в растениях расчётным способом и белкового азота с трихлоруксусной кислотой (ТХУ) по методу Плешкова.

**Теоретические сведения.** Применение азотных удобрений, особенно в повышенных дозах, способствует изменению не только выноса азота растениями, но и накоплению и изменению состава образующихся в тканях растений азотистых веществ, в том числе небелковых – нитратов и нитритов.

Повышенное накопление нитратов в растениях может быть не только при высоких дозах минеральных азотных удобрений, но и при внесении высоких доз органических удобрений, а также на высоко гумусированных почвах, если создаются благоприятные условия для минерализации органического вещества и мобилизации почвенного азота.

Нитраты и нитриты являются естественными компонентами растений, начальным звеном в биосинтезе белка. Использование нитратного азота в метаболизме органических веществ возможно лишь после восстановления нитратов до аммония. Первым промежуточным продуктом восстановления нитратов являются нитриты. Растения, накапливая нитраты и нитриты в больших количествах, не страдают от их избытка, но эти соединения весьма токсичны

для человека и животных. Особенно опасны нитриты, токсичность которых в десять раз выше, чем нитратов.

Нитриты в организме человека и животных переводят двухвалентное железо гемоглобина в трехвалентное. Образующийся при этом метгемоглобин не способен переносить кислород. Нитриты могут вступать в необратимую реакцию с гемоглобином, образуя нитрозогемоглобин, который тоже не способен переносить кислород, в результате чего наблюдается кислородное голодание тканей живого организма. Кроме того, нитриты в кислой среде реагируют со вторичными аминами, образуя нитрозоамины. Эти соединения наиболее опасны для человека и животных, так как обладают канцерогенными, мутагенными и эмбриотропными действиями на организм. На восстановление нитратов в растениях влияют не столько дозы азота, сколько освещение, агротехника, соотношение питательных веществ, погодные условия, преобладание азота над фосфором и калием в почве.

Уровень накопления нитратов и нитритов в растениях также зависит от форм применяемых азотных удобрений, биологических особенностей растений и фазы их развития. В процессе вегетации содержание нитратов в растениях, как правило, снижается. Поэтому убирать продукцию, особенно овощные культуры, необходимо в оптимальные сроки.

Снижению содержания нитратов способствует также оптимальный световой режим, выбор доз, форм, сроков и способов применения удобрений, а также сбалансированное минеральное питание растений. Так, калий, магний, молибден, сера, марганец, бор и железо в значительной мере способствуют усиленному использованию нитратов в азотном обмене и снижают их количество в растениях.

Повышенное содержание нитратов в овощах и кормах препятствует их использованию в пищу человека и животным. Поэтому необходим строгий

контроль за содержанием нитратов и нитритов в растениеводческой продукции.

Для нитратов и нитритов установлены предельно допустимые концентрации в растениях – в плодах, овощах и кормах (табл. 3.1, 3.2).

**Таблица 3.1 – Предельно допустимые концентрации нитрат-ионов и нитрит-ионов в кормах для животных**

**В миллиграммах на один килограмм сырой продукции**

| <b>Вид корма</b>                                 | <b>Нитрат-ион</b> | <b>Нитрит-ион</b> |
|--------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Картофель                                        | 300               | 10                |
| Свекла                                           | 800               | 10                |
| Силос, сенаж                                     | 200               | 10                |
| Комбикорма для свиней и птицы                    | 200               | 5                 |
| Комбикорма для мелкого и крупного рогатого скота | 500               | 10                |
| Зелёные корма                                    | 200               | 10                |
| Сено, солома                                     | 500               | 10                |
| Зернофураж                                       | 200               | 10                |

**Таблица 3.2 – Допустимое содержание нитратов в растениях**

**В миллиграммах на один килограмм сырой продукции**

| <b>Продукт</b>                         | <b>Допустимое содержание нитратов</b> |                         |
|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
|                                        | <b>открытый грунт</b>                 | <b>защищённый грунт</b> |
| Картофель                              | 250                                   | –                       |
| Капуста белокочанная, ранняя           | 900                                   | –                       |
| Капуста белокочанная, поздняя          | 500                                   | –                       |
| Морковь ранняя                         | 400                                   | –                       |
| Морковь поздняя                        | 250                                   | –                       |
| Томаты                                 | 150                                   | 300                     |
| Огурцы                                 | 150                                   | 400                     |
| Тыква                                  | 200                                   | –                       |
| Зеленные культуры (салат, укроп и др.) | 2 000                                 | 3 000                   |
| Свекла столовая                        | 1 400                                 | –                       |
| Лук репчатый                           | 80                                    | 800                     |
| Лук на перо                            | 600                                   | –                       |
| Дыни                                   | 90                                    | –                       |
| Арбузы                                 | 60                                    | –                       |
| Перец сладкий                          | 200                                   | 400                     |
| Кабачки                                | 400                                   | 400                     |
| Виноград                               | 60                                    | –                       |
| Яблоки                                 | 60                                    | –                       |
| Груши                                  | 60                                    | –                       |

Для определения содержания нитратов в растениях разработан ряд методов. Наибольшее распространение получил ионометрический экспресс-метод.

### 13.1.1 Ионометрический метод определения нитратов

**Принцип метода.** Ионометрический метод определения нитратов позволяет проводить экспресс-анализ овощей, зелёных кормов, сена, силоса, сенажа, витаминной муки, корнеплодов и т. д.

*Нитраты извлекают раствором алюмокалиевых квасцов с последующим измерением концентрации нитратов в растворе с помощью ион-селективного электрода. Данный метод не пригоден для анализа при содержании в анализируемом материале хлоридов в концентрации, в 50 раз превышающей концентрацию нитратов. Чувствительность метода составляет 6 мг/дм<sup>3</sup>. Предел определения нитратов в сухом образце 300 см<sup>-3</sup>, в сыром – 24–30 см<sup>-3</sup>. Ошибка метода равна ±12 %.*

#### **Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Алюмокалиевые квасцы.
2. Нитрат калия (KNO<sub>3</sub>).
3. Калий хлористый (ГОСТ 4234–77).
4. Дистиллированная вода.
5. Весы лабораторные (до 500 г).
6. Колбы мерные на 50 и 100 мл.
7. Скальпель.
8. Ротатор.
9. Терка.
10. Фарфоровая ступка.
11. Иономер типа ЭВ-74, рН-милливольтметр рН-340, рН-121, рН-150 или аналогичные приборы с погрешностью измерения 5 мВ/0,06 рС<sub>NO<sub>3</sub></sub>.

---

12. Электроды: ионселективные типа ELIT 021 (и аналогичные) и электрод сравнения – хлорсеребряный, насыщенный образцовый второго разряда (ГОСТ 17792–72).

**Приготовление растворов:**

**1. Однопроцентный раствор алюмокалиевых квасцов (экстрагирующий раствор).**  $10,0 \pm 0,01$  г алюмокалиевых квасцов (ГОСТ 4329–77) помещают в колбу ёмкостью один литр, растворяют и доводят до метки дистиллированной водой. Раствор хранят в банке с притёртой пробкой не более одного года. При появлении осадка или мути раствор заменяют новым.

**2. Основной раствор концентрации 0,1 моль/л (раствор 1).** Нитрат калия в количестве  $10,11 \pm 0,001$  г (ГОСТ 4217–77), высушенный при температуре 100–105 °С до постоянной массы, растворяют в растворе алюмокалиевых квасцов в мерной колбе на один литр и доводят до метки. Хранят в склянке с плотно притёртой пробкой не более одного года.

**3. Растворы сравнения.** Готовят из основного раствора нитрата калия в день проведения анализа, используя для разбавления однопроцентный раствор алюмокалиевых квасцов.

Раствор с концентрацией  $C(\text{NO}_3)$  равной 0,01 моль/л ( $pC_{\text{NO}_3} = 2$ ) готовят десятикратным разбавлением основного раствора (1).

Раствор с концентрацией  $C(\text{NO}_3)$  равной 0,001 моль/л ( $pC_{\text{NO}_3} = 3$ ) готовят десятикратным разбавлением раствора (2).

Раствор с концентрацией  $C(\text{NO}_3)$  равной 0,0001 моль/л ( $pC_{\text{NO}_3} = 4$ ) готовят десятикратным разбавлением раствора (3).

Полученные растворы используют для градуировки иономера, проверки электродов и построения градуированного графика.

**4. Калий хлористый (ГОСТ 4234–77).**

**5. Дистиллированная вода.**

**Подготовка мембранного ион-селективного нитратного электрода и вспомогательного электрода к работе. Мембранный электрод ЭМ-NO<sub>3</sub>-01.**

Внутреннюю полость электрода дважды промыть дистиллированной водой, затем дважды промыть приэлектродным раствором с концентрацией хлорида калия (0,1 и 0,005 моль/дм<sup>3</sup>).

Снять чехол и установить мембрану, предварительно залив в корпус свежеприготовленный раствор нитрата калия (0,1 моль/дм<sup>3</sup>) в объёме 1,5 см<sup>3</sup>.

Вымочить мембрану в корпусе электрода в течение суток в растворе нитрата калия с концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

В перерывах между работой нитратный электрод хранить в растворе нитрата калия с концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

**Вспомогательный электрод.** Залить внутрь электрода насыщенный при температуре 20 °С раствор хлорида калия и выдержать его в этом растворе в течение суток.

**Ход анализа.** Сухой растительный материал предварительно размалывают на лабораторной мельнице до полного прохождения через сито с диаметром отверстий один миллиметр. Навеску материала массой  $1 \pm 0,01$  г помещают в колбу объёмом 100–200 мл, приливают 50 мл однопроцентного раствора алюмокалиевых квасцов и взбалтывают на ротаторе в течение 3 минут. В полученной суспензии определяют концентрацию нитрат-ионов.

При анализе сырого материала образец предварительно измельчают до размера частиц не более один сантиметр. Навеску материала 10 г с точностью 0,1 г помещают в стакан гомогенизатора, приливают 50 мл однопроцентного раствора алюмокалиевых квасцов (соотношение – 1:5) и гомогенизируют в течение одной минуты при скорости 6 тысяч оборотов в минуту. При отсутствии гомогенизатора, сырой материал, содержащий твердые ткани, растирают в ступке с прокалённым песком или с битым стеклом до однородной массы, переносят с помощью 50 мл однопроцентного раствора алюмокалиевых квасцов

---

в коническую колбу на 100–200 мл и встряхивают на ротаторе в течение трёх минут. В полученной суспензии определяют содержание нитратов.

При определении нитратов в растениях семейства крестоцветных при  $pC_{NO_3}$  в суспензиях менее 2,5 необходимо разведение в 20 раз, а при  $pC_{NO_3}$  от 2,5 до 3,0 – в десять раз. Для этого суспензию фильтруют через бумажный фильтр, берут 2 мл фильтрата и добавляют 38 мл однопроцентного раствора алюмокалиевых квасцов при двадцатикратном разбавлении и соответственно 4 и 36 мл – при десятикратном. В разбавленном фильтрате измеряют концентрацию нитратов.

Измерение концентрации нитрат-ионов проводится в единицах  $pC_{NO_3}$  ( $pC_{NO_3} = -\log(C_{NO_3})$ ) по шкале иономера, предварительно отградуированной по растворам сравнения или в милливольтх с последующим определением величины  $pC_{NO_3}$  по градуированному графику, построенному по результатам измерения электродвижущей силы электронной пары в растворах сравнения. Перед измерением нитратный ион-селективный электрод тщательно ополаскивают дистиллированной водой и выдерживают в ней в течение десяти минут.

**Измерение концентрации иона нитрата в единицах  $pC_{NO_3}$  по шкале прибора.** При непосредственном измерении  $pC_{NO_3}$  прибор ежедневно настраивают в режиме «рХ» по растворам сравнения с  $pC_{NO_3}$ , равным двум и четырём, используя соответствующие ручки прибора. Раствор с  $pC_{NO_3}$ , равным трём используют для контроля настройки. Отклонение значений  $pC_{NO_3}$  от указанных не должно превышать 0,02. После градуировки прибора электроды тщательно ополаскивают дистиллированной водой, осушают фильтровальной бумагой и погружают в испытуемый раствор. Показания прибора считывают через одну минуту после прекращения заметного дрейфа стрелки прибора. При переходе от одной пробы к другой, электроды ополаскивают дистиллиро-

ванной водой и промокают фильтровальной бумагой. Температура анализируемых растворов и растворов сравнения должна быть одинаковой. Настройку прибора проверяют по растворам сравнения не менее трёх раз в течение рабочего дня, используя каждый раз свежие порции растворов.

**Измерение концентрации иона нитрата в милливольтгах.** При измерении в милливольтгах тумблер «Род работы» ставят в положение «мВ» и проводят измерение электродвижущей силы в растворах сравнения, начиная с низшей концентрации. Электрод имеет линейную функцию в диапазоне от 1,0 до 4,0  $pC_{NO_3}$  с наклоном  $(56 \pm 3)$  мВ на единицу  $pC_{NO_3}$ . Если характеристика электрода отличается от заданной, электрод не пригоден для работы.

Величину  $pC_{NO_3}$  в анализируемых пробах рассчитывают по градуированному графику, построенному по результатам измерения электродвижущей силы в растворах сравнения с  $pC_{NO_3}$ , равным 1, 2, 3, и 4.

**Обработка результатов.** Массовую долю нитратов в миллиграммах на один килограмм продукции находят по величине  $pC_{NO_3}$  с помощью вспомогательных таблиц 3.3–3.5, включающих данные для анализа сухого материала; для анализа материала, содержащего 80–90 % воды (огурцы, томаты, арбузы, дыни, капуста, лук на перо) и для анализа материала, содержащего 70–80 % воды (картофель, морковь, столовая свекла, лук-репка).

**Таблица 3.3 – Перевод величин  $pC_{NO_3}$  в массовую долю нитрата при анализе материала с содержанием воды 80–90 %**

| $pC_{NO_3}$ | Сотые доли $pC_{NO_3}$        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 0,00                          | 0,01  | 0,02  | 0,03  | 0,04  | 0,05  | 0,06  | 0,07  | 0,08  | 0,09  |
|             | Массовая доля нитратов, мг/кг |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1           | 2                             | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
| 1,6         | 9 188                         | 8 979 | 8 575 | 8 375 | 8 383 | 8 189 | 8 003 | 7 821 | 7 643 | 7 469 |
| 1,7         | 7 299                         | 7 133 | 6 970 | 6 812 | 6 656 | 6 505 | 6 357 | 6 212 | 6 071 | 5 933 |
| 1,8         | 5 798                         | 5 666 | 5 537 | 5 411 | 5 287 | 5 267 | 5 049 | 4 935 | 4 822 | 4 712 |
| 1,9         | 6 405                         | 4 500 | 4 398 | 4 298 | 4 200 | 4 104 | 4 011 | 3 920 | 3 830 | 3 743 |
| 2,0         | 3 658                         | 3 575 | 3 493 | 3 414 | 3 336 | 3 260 | 3 186 | 3 113 | 3 043 | 2 973 |

### Раздел 3. Определение качества урожая и кормов

Продолжение таблицы 3.3

| $pC_{NO_3}$ | Сотые доли $pC_{NO_3}$        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 0,00                          | 0,01  | 0,02  | 0,03  | 0,04  | 0,05  | 0,06  | 0,07  | 0,08  | 0,09  |
|             | Массовая доля нитратов, мг/кг |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1           | 2                             | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
| 2,1         | 2 906                         | 2 840 | 2 775 | 2 712 | 2 650 | 2 590 | 2 531 | 2 474 | 2 417 | 2 362 |
| 2,2         | 2 308                         | 2 256 | 2 204 | 2 154 | 2 105 | 2 057 | 2 010 | 1 964 | 1 920 | 1 876 |
| 2,3         | 1 833                         | 1 792 | 1 751 | 1 711 | 1 672 | 1 634 | 1 597 | 1 560 | 1 525 | 1 490 |
| 2,4         | 1 456                         | 1 423 | 1 391 | 1 359 | 1 328 | 1 298 | 1 268 | 1 239 | 1 211 | 1 184 |
| 2,5         | 1 157                         | 1 130 | 1 105 | 1 080 | 1 055 | 1 031 | 1 007 | 985   | 962   | 940   |
| 2,6         | 919                           | 898   | 877   | 858   | 838   | 819   | 800   | 782   | 764   | 747   |
| 2,7         | 730                           | 713   | 697   | 681   | 666   | 650   | 636   | 621   | 607   | 593   |
| 2,8         | 580                           | 567   | 544   | 541   | 529   | 517   | 505   | 493   | 482   | 471   |
| 2,9         | 461                           | 450   | 440   | 430   | 420   | 410   | 401   | 392   | 383   | 374   |
| 3,0         | 366                           | 387   | 349   | 341   | 334   | 326   | 319   | 311   | 304   | 297   |
| 3,1         | 291                           | 284   | 277   | 271   | 265   | 259   | 253   | 247   | 242   | 236   |
| 3,2         | 231                           | 226   | 220   | 215   | 210   | 206   | 201   | 196   | 192   | 188   |
| 3,3         | 183                           | 179   | 170   | 171   | 167   | 163   | 160   | 156   | 152   | 149   |
| 3,4         | 146                           | 142   | 139   | 136   | 137   | 130   | 127   | 124   | 121   | 118   |
| 3,5         | 116                           | 113   | 110   | 108   | 105   | 103   | 101   | 98,0  | 96,6  | 94,0  |
| 3,6         | 91,9                          | 89,8  | 87,7  | 85,8  | 83,3  | 81,9  | 80,0  | 78,2  | 76,4  | 74,7  |
| 3,7         | 73,0                          | 71,0  | 69,7  | 68,1  | 66,6  | 65,0  | 63,6  | 61,1  | 60,7  | 59,3  |
| 3,8         | 58,0                          | 56,7  | 55,4  | 54,1  | 52,9  | 51,7  | 50,5  | 49,3  | 48,2  | 47,1  |
| 3,9         | 46,1                          | 45,0  | 44,0  | 43,0  | 42,0  | 41,0  | 40,1  | 39,3  | 38,3  | 37,4  |
| 4,0         | 36,1                          | 35,7  | 34,9  | 34,1  | 33,4  | 32,6  | 30,9  | 31,1  | 30,4  | 29,7  |

Таблица 3.4 – Перевод величин  $pC_{NO_3}$  в массовую долю нитрата при анализе материала с содержанием воды 70–80%

| $pC_{NO_3}$ | Сотые доли $pC_{NO_3}$        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 0,00                          | 0,01  | 0,02  | 0,03  | 0,04  | 0,05  | 0,06  | 0,07  | 0,08  | 0,09  |
|             | Массовая доля нитратов, мг/кг |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1,6         | 9 033                         | 8 827 | 8 626 | 8 430 | 8 238 | 8 003 | 7 867 | 7 688 | 7 513 | 7 342 |
| 1,7         | 7 175                         | 7 012 | 6 852 | 6 696 | 6 544 | 6 357 | 6 249 | 6 107 | 5 968 | 5 832 |
| 1,8         | 5 699                         | 5 570 | 5 443 | 5 319 | 5 198 | 5 079 | 4 964 | 4 851 | 4 740 | 4 633 |
| 1,9         | 4 527                         | 4 424 | 4 323 | 4 225 | 4 129 | 4 035 | 3 943 | 3 853 | 3 665 | 3 680 |
| 2,0         | 3 596                         | 3 514 | 3 434 | 3 356 | 3 280 | 3 205 | 3 132 | 3 061 | 2 991 | 2 923 |
| 2,1         | 2 856                         | 2 791 | 2 728 | 2 666 | 2 605 | 2 546 | 2 488 | 2 431 | 2 376 | 2 322 |
| 2,2         | 2 269                         | 2 217 | 2 167 | 2 117 | 2 069 | 2 022 | 1 976 | 1 931 | 1 887 | 1 844 |
| 2,3         | 1 802                         | 1 761 | 1 721 | 1 682 | 1 644 | 1 606 | 1 570 | 1 534 | 1 499 | 1 465 |
| 2,4         | 1 432                         | 1 399 | 1 367 | 1 366 | 1 306 | 1 276 | 1 247 | 1 218 | 1 191 | 1 164 |
| 2,5         | 1 137                         | 1 111 | 1 087 | 1 061 | 1 037 | 1 013 | 990   | 968   | 946   | 924   |
| 2,6         | 903                           | 883   | 863   | 843   | 824   | 805   | 787   | 769   | 751   | 734   |
| 2,7         | 717                           | 701   | 685   | 670   | 654   | 639   | 625   | 611   | 597   | 583   |
| 2,8         | 570                           | 557   | 544   | 532   | 520   | 508   | 495   | 485   | 474   | 463   |
| 2,9         | 453                           | 442   | 432   | 422   | 413   | 403   | 394   | 385   | 377   | 368   |
| 3,0         | 360                           | 351   | 343   | 336   | 328   | 320   | 313   | 306   | 299   | 292   |

Продолжение таблицы 3.4

| $pC_{NO_3}$ | Сотые доли $pC_{NO_3}$        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | 0,00                          | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
|             | Массовая доля нитратов, мг/кг |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3,1         | 286                           | 279  | 273  | 267  | 261  | 255  | 249  | 243  | 238  | 232  |
| 3,2         | 227                           | 222  | 217  | 212  | 207  | 202  | 198  | 193  | 189  | 184  |
| 3,3         | 180                           | 176  | 172  | 168  | 164  | 161  | 157  | 153  | 150  | 146  |
| 3,4         | 143                           | 140  | 137  | 134  | 131  | 128  | 125  | 122  | 119  | 116  |
| 3,5         | 114                           | 111  | 109  | 106  | 104  | 101  | 99   | 97   | 95   | 92   |
| 3,6         | 90,3                          | 88,7 | 86,3 | 84,3 | 82,4 | 80,5 | 78,7 | 76,9 | 75,1 | 74,4 |
| 3,7         | 71,7                          | 70,1 | 68,5 | 67,0 | 65,4 | 63,9 | 62,5 | 61,1 | 59,7 | 58,3 |
| 3,8         | 57,0                          | 55,7 | 54,4 | 53,2 | 52,0 | 50,8 | 49,6 | 48,5 | 47,4 | 46,3 |
| 3,9         | 45,3                          | 44,2 | 43,2 | 42,2 | 41,3 | 40,3 | 39,4 | 38,5 | 37,7 | 36,8 |
| 4,0         | 36,0                          | 35,1 | 34,3 | 33,6 | 32,8 | 32,0 | 31,3 | 30,6 | 29,9 | 29,2 |

**Таблица 3.5 – Перевод величин  $pC_{NO_3}$  в массовую долю нитрата при анализе материала (соотношение массы проба и объёма экстрагирующего раствора 1:50)**

| $pC_{NO_3}$ | Сотые доли $pC_{NO_3}$        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|             | 0,00                          | 0,01   | 0,02   | 0,03   | 0,04   | 0,05   | 0,06   | 0,07   | 0,08   | 0,09   |
|             | Массовая доля нитратов, мг/кг |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 2,0         | 30 900                        | 30 200 | 29 510 | 28 840 | 28 180 | 27 540 | 26 920 | 26 300 | 25 700 | 25 220 |
| 2,1         | 24 550                        | 23 990 | 23 440 | 22 910 | 22 390 | 21 880 | 21 380 | 20 890 | 20 420 | 19 950 |
| 2,2         | 19 500                        | 19 050 | 18 620 | 18 200 | 17 780 | 17 380 | 16 980 | 16 600 | 16 220 | 15 850 |
| 2,3         | 15 490                        | 15 140 | 14 790 | 14 450 | 14 130 | 13 800 | 13 490 | 13 180 | 12 880 | 12 590 |
| 2,4         | 12 300                        | 12 020 | 11 750 | 11 480 | 11 220 | 10 960 | 10 720 | 10 470 | 10 230 | 10 000 |
| 2,5         | 9 772                         | 9 550  | 9 333  | 9 120  | 8 913  | 8 820  | 8 511  | 8 318  | 8 128  | 7 943  |
| 2,6         | 7 762                         | 7 586  | 7 413  | 7 244  | 7 079  | 6 918  | 6 761  | 6 607  | 6 457  | 6 310  |
| 2,7         | 6 166                         | 6 026  | 5 888  | 5 754  | 5 623  | 5 495  | 5 370  | 5 248  | 5 129  | 5 012  |
| 2,8         | 4 898                         | 4 786  | 4 677  | 4 571  | 4 467  | 4 365  | 4 266  | 4 169  | 4 074  | 3 984  |
| 2,9         | 3 980                         | 3 802  | 3 715  | 3 631  | 3 548  | 3 467  | 3 388  | 3 311  | 3 236  | 3 182  |
| 3,0         | 3 090                         | 3 020  | 2 951  | 2 884  | 2 818  | 2 754  | 2 692  | 2 630  | 2 570  | 2 512  |
| 3,1         | 2 455                         | 2 399  | 2 344  | 2 291  | 2 239  | 2 188  | 2 138  | 2 089  | 2 042  | 1 995  |
| 3,2         | 1 950                         | 1 905  | 1 862  | 1 820  | 1 778  | 1 739  | 1 698  | 1 660  | 1 622  | 1 585  |
| 3,3         | 1 549                         | 1 514  | 1 479  | 1 445  | 1 413  | 1 380  | 1 349  | 1 318  | 1 288  | 1 259  |
| 3,4         | 1 230                         | 1 202  | 1 175  | 1 148  | 1 122  | 1 095  | 1 072  | 1 047  | 1 023  | 1 000  |
| 3,5         | 977                           | 955    | 933    | 912    | 891    | 871    | 851    | 832    | 813    | 794    |
| 3,6         | 775                           | 759    | 741    | 724    | 708    | 692    | 676    | 661    | 646    | 631    |
| 3,7         | 617                           | 603    | 589    | 575    | 562    | 549    | 537    | 525    | 513    | 501    |
| 3,8         | 490                           | 479    | 468    | 457    | 447    | 437    | 427    | 417    | 407    | 398    |
| 3,9         | 389                           | 380    | 317    | 363    | 355    | 347    | 339    | 331    | 324    | 316    |
| 4,0         | 309                           | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      |

---

### Определение содержания нитратов с помощью нитратомера НМ-002

Нитратомер НМ-002 предназначен для экспресс-анализа нитратов азота в водных растворах проб почвы, воды и растительной продукции методом прямой потенциометрии с помощью электродной системы, включающей ион-селективный и вспомогательный электроды.

Подготовка к анализу материалов, реактивов и электродов производится в описанном выше порядке.

Нитратомер может работать в режиме измерения концентрации нитратов азота от 1,5 до 1 999 мг/кг, а также в режиме определения абсолютного значения электродвижущей силы от 0 до 1 000 мВ, либо приращения электродвижущей силы электродной системы от минус 199 до 199 мВ.

Измерительный преобразователь нитратомера НМ-002 преобразует электродвижущую силу электродной системы в измеряемой пробе в значение концентрации нитратов азота в соответствии с формулами (3.1) – (3.2):

$$C = K \cdot 10 \cdot \frac{E - E_1}{S}, \quad (3.1)$$

$$E_1 = E_0 + pC_{NO_3} \quad (3.2)$$

где  $C$  – концентрация азота, мг/кг;

$K$  – коэффициент пропорциональности, устанавливаемый методикой подготовки пробы и учитываемый при калибровке прибора, составляющий от единицы до 15 мг/кг;

$E$  – электродвижущая сила электродной системы в калибровочном растворе, соответствующем известной концентрации нитратов азота  $C_1$ ,  $E_1 = (0 \pm \pm 1\,000)$  мВ;

$E_1$  – характеристика электродной системы;

$S$  – крутизна характеристики электродной системы, принимающая значения от  $\pm 5,6$  до  $\pm 6$  мВ при температуре 20 °С;

$E_0$  – электродвижущая сила электродной системы при  $pC_{NO_3}$ , равной нулю; величина, зависящая от данного измерительного и вспомогательного электродов  $(0 \pm 1\,000)$  мВ.

При анализе почвы, пересчёт величины  $pC_{NO_3}$  в массовую долю нитратов азота, используют коэффициент пропорциональности равный 3,5 мг/кг.

При анализе растений устанавливается пересчётный коэффициент пропорциональности на уровне 3,6 мг/кг при анализе продукции с содержанием воды 70–80 % и на уровне 3,66 мг/кг при анализе продукции с содержанием воды 80–90 %.

Для расчета концентрации нитратов в пробе растений результат измерения следует умножить на десять.

**Калибровка прибора включает следующие действия:**

1. Калибровку прибора начинают с раствора с наименьшей концентрацией при  $pC_{NO_3}$ , равной четырём.
2. Промытые дистиллированной водой и протертые фильтровальной бумагой электроды помещают в раствор с  $pC_{NO_3}$ , равной четырём.
3. Через одну – две минуты при нажатой кнопке «>0<» устанавливают на жидкокристаллическом индикаторе «0.00 мВ» и отжимают кнопку «>0<».
4. Регулировкой «К1» устанавливают на жидкокристаллическом индикаторе «03.6» при анализе растительной пробы или «03.5» при анализе почвы.
5. Вынимают электроды из раствора, промывают дистиллированной водой, протирают и помещают в раствор с  $pC_{NO_3}$ , равной двум. Нажимают кнопку «>0<».
6. Через одну – две минуты записывают приращение электродвижущей силы электродной системы в растворе с  $pC_{NO_3}$ , равной двум.
7. Отжимают кнопку «>0<».
8. Регулировкой «К2» устанавливают на жидкокристаллическом индикаторе 360 или 366 при анализе растительной пробы, в зависимости от характера исследуемого материала, или 350 – при анализе почвы. Вынимают электроды из раствора, помещают в дистиллированную воду, объёмом не менее 50 мл и промывают в ней до показаний иономера менее «01,0». При необходимости

---

сменяют воду и повторяют промывку. Электроды протирают и помещают в раствор с  $pC_{NO_3}$ , равной трём. Нажимают кнопку «>0<».

9. Через 1,5–2 минуты записывают приращение электродвижущей силы системы в растворе с  $pC_{NO_3}$ , равной трём. Нажимают кнопку «>0<». Записывают показания иономера.

10. В контрольном растворе с  $pC_{NO_3}$ , равной трём, после калибровки прибора на жидкокристаллическом индикаторе должно высветиться « $36,0 \pm 4,2$ » или « $36,6 \pm 4,2$ » при анализе растений, или « $35,0 \pm 4,2$ » при анализе почвы. Приращение электродвижущей силы при переходе от раствора  $pC_{NO_3}$  с четырёх к трём должно составлять не менее 53 мВ при температуре 25 °С. После калибровки прибора электроды ополаскивают в дистиллированной воде и промокают фильтровальной бумагой. Затем проводят определение в исследуемых растворах. При перерывах в работе более одного часа электроды хранят в 0,0001 н. растворе нитрата калия.

### **13.1.2 Определение содержания нитратов в тканях, мезге и соке растительной продукции с помощью нитратного ионоселективного датчика (модификация ЦИНАО)**

**Теоретические сведения.** Метод основан на определении концентрации нитратов в продукции растениеводства при непосредственном их измерении в тканях растений и плодах или в мезге (измельчённой массе) с помощью нитратного ионоселективного датчика. Нижний предел обнаружения нитратов составляет 6 миллиграммов на 1 дм<sup>3</sup> анализируемого раствора. Предел надёжного определения нитратов в анализируемой пробе – 12 млн.<sup>-1</sup> (мг/кг).

### **Приборы и материалы:**

1. Электрод ионоселективный нитратный твердоконтактный или другие датчики для измерения нитратов с линейной функцией в диапазоне 1–4,5 единиц  $pC_{NO_3}$ .
2. Электрод сравнения хлорсеребряный типа ЭВМ-1М или твердоконтактный.
3. Электрод комбинированный для измерения нитратов.
4. Нитратомеры различных типов с погрешностью не более 5 мВ.

**Подготовка электродов к анализу.** Мембранный ионоселективный нитратный электрод и хлорсеребряный электрод сравнения готовят к работе в соответствии с инструкциями, прилагаемыми к ним.

В промежутках между измерениями нитратный ионоселективный электрод погружают в раствор с  $pC_{NO_3}$ , равной четырём. Если перерывы в работе составляют сутки и более, электрод хранят в растворе азотнокислого калия с концентрацией на уровне 0,001 моль/дм<sup>3</sup>. При длительных перерывах в работе (более 5 дней), электрод хранят на воздухе, а перед началом работ его вымачивают в растворе азотнокислого калия с концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>. В обоих случаях перед началом измерений электрод промывают в дистиллированной воде не менее трёх раз.

Хлорсеребряный электрод сравнения в перерывах между исследованиями погружают в стакан с дистиллированной водой или хранят в соответствии с инструкцией к датчику.

*Основной раствор и растворы сравнения, используемые для определения нитратов непосредственно в тканях и мезге растений, готовят на дистиллированной воде аналогично растворам, описание приготовления которых изложено в подпункте 13.1.1, без алюмокалиевых квасцов.*

---

**Подготовка проб к анализу.** Для анализа берётся представительная проба. Рекомендуется от реализуемой партии 5–50 кг брать из одной точки пробу арбуза, дыни, капусты, кабачков (I группа) до 3 кг; свеклы, моркови, картофеля, баклажана, перца, огурца, яблока (II группа) до одного килограмма; редиса, петрушки, салата, лука, укропа (III группа) до 0,25 кг; ягод до 0,050 кг. Если реализуемая партия продукции составляет 50–500 кг, то соответственно отбирают пробу для I группы из трёх точек в количестве 3–5 кг, для II группы из 5–8 точек – 7 кг, для III группы из 20 точек – 0,5 кг, ягод – до 0,100 кг и т. д.

Картофель, корнеплоды, плоды и овощи, отобранные для анализа, должны быть отмыты от почвы, обсушены фильтровальной бумагой или сухой мягкой тканью.

Для непосредственного измерения нитратов в продукции растениеводства пробы для анализа готовят в зависимости от вида растений, их консистенции и распределения нитратов в различных частях растений и плодов.

Для ряда культур непосредственное измерение нитратов в измельчённой массе не представляется возможным в связи с завышением результатов при данном способе определения. К таким культурам относятся слива, вишня, персики, груши, яблоки и крыжовник. Для этих культур с невысоким содержанием нитратов с целью повышения точности измерений предлагается проводить определение в суспензии с алюмокалиевыми квасцами при отношении пробы к экстрагенту (1:1).

**Подготовка проб для непосредственного измерения нитратов в тканях или мезге.** В культурах с мягкой консистенцией округлой формы, где нитраты распределены равномерно по всей ткани, их измерение следует проводить следующим образом:

1) в томатах на продольном разрезе в перемешанную мякоть погружают нитратный датчик (ионоселективный электрод) и проводят измерение в единицах, предусмотренных инструкцией к прибору;

2) в ягодных культурах (земляника, виноград, красная смородина) следует раздавить ягоды, перемешать и сделать замеры в мезге с помощью нитратного датчика;

3) в плодах семейства тыквенных (тыква, огурцы, дыни, арбузы, кабачки, патиссоны), баклажанах содержание нитратов распределено послойно, повышаясь от центра к периферии и достигая максимума около кожуры и в самой кожуре; неравномерное распределение нитратов наблюдается и по продольной оси, снижаясь от места прикрепления плода к противоположному концу; поэтому, измерение нитратов следует проводить в продольном разрезе;

4) у арбуза продольный разрез делается с учётом того, чтобы для анализа использовалась, как затемненная, так и бывшая на солнце сторона арбуза; теркой или ножом делается соскоб по всей поверхности съедобной части арбуза (без корки), масса разминается, перемешивается, и в мезгу помещается нитратный датчик для измерения;

5) у дыни и тыквы удаляются внутренняя семенная часть и несъедобная корка и делается соскоб вдоль всей длины одной четвертой части продольного разреза;

6) у огурцов, кабачков, баклажанов и патиссонов соскоб теркой или ножом делается со всей поверхности продольного разреза по центру; в полученной от соскоба предварительно перемешанной мезге, проводят измерение нитратов.

В корнеплодах (морковь, свекла) нитраты распределены неравномерно. Наибольшее содержание нитратов наблюдается в тканях проводящей системы, то есть в сердцевине корнеплода, а максимум приходится на кончик

---

корнеплода с постепенным снижением к верхушке (листовой розетке). Максимальное число нитратов также наблюдается в нижней части черешков листьев. Для измерения нитратов используется мезга, полученная при равномерном соскобе тёркой на продольном разрезе корнеплода по центру. Полученная мезга перемешивается, и нитраты измеряют, используя нитратный датчик.

В клубнеплодах (картофель) содержание нитратов распределено равномерно по ткани клубня с некоторым повышением в шкурке. Делается соскоб тёркой или ножом по всей поверхности продольного разреза по центру. В перемешанную мезгу помещают нитратный датчик для измерения нитратов.

В культурах семейства капустных (редис, редька, репа и капуста разных видов) определение непосредственно в тканях или мезге не рекомендуется, так как определению мешают тиогликозиды.

В зеленых культурах (салат, укроп, петрушка, сельдерей, кинза) максимум содержания нитратов приходится на основание листа (черешок). Поскольку измельчать зеленые представляется достаточно трудоёмким, следует из черешков выдавить сок и измерить в нём содержание нитратов нитратным датчиком. Положительную оценку качества продукции можно делать в случае, если содержание нитратов не превышает предельно допустимые концентрации.

Для предварительной оценки качества продукции на содержание нитратов в перечисленных культурах можно пользоваться индикаторными точками, где сосредоточено максимальное содержание нитратов.

Можно указать следующие индикаторные точки:

- 1) для огурца, дыни, патиссона, арбуза, кабачка, баклажана – части плода у места прикрепления к растению;
- 2) для томатов, картофеля, ягод, яблок, груш и косточковых плодов – около кожуры;

3) для корнеплодов – на кончике корнеплода и у основания розетки листьев;

4) для зеленых культур – нижняя часть основания черешка;

5) для капусты – в кочерыжке и у основания жилки верхних листьев.

В индикаторных точках с помощью ножа или тёрки делают соскоб и в полученной измельчённой массе измеряют нитраты с помощью ионоселективного датчика.

Если в индикаторных точках содержание нитратов не превышает предельно допустимых концентраций, то эти результаты можно использовать для положительной оценки качества продукции.

При анализе культур с низким содержанием нитратов (яблоки, сливы, персики, крыжовник, груши, вишни и др.), если в измельчённой массе полученные результаты содержания нитратов превышают предельно допустимые концентрации, берётся навеска измельчённой массы в количестве 20 г и заливается 20 мл алюмокалиевых квасцов (при концентрации 0,01 моль/дм<sup>3</sup>). Суспензия перемешивается в течение трёх минут на мешалке или гомогенизируется одну минуту. В полученном растворе измеряют концентрацию нитратов.

**Ход анализа.** В приготовленных для анализа пробах проводят измерение концентрации нитрат-ионов непосредственно в логарифмических единицах  $pC_{NO_3}$  ( $pC_{NO_3} = -\log(C_{NO_3})$ ) по шкале иономера, предварительно отградуированного по растворам сравнения, или в милливольтх с последующим определением величины  $pC_{NO_3}$  по градуированному графику, построенному на основе результатов измерения электродвижущей силы электродной пары в растворах сравнения или в единицах концентрации в соответствии с инструкцией к прибору.

Перед измерениями и после градуировки прибора электроды тщательно ополаскивают дистиллированной водой, промокают фильтровальной бумагой и погружают в испытуемые пробы. Показания прибора считывают не менее

чем через одну минуту после прекращения заметного дрейфа показаний прибора. При переходе от одной пробы к другой, электроды ополаскивают дистиллированной водой и промокают фильтровальной бумагой. Температура анализируемых проб и растворов сравнения должна быть одинаковой. Настройку прибора проверяют по растворам сравнения не менее трёх раз в течение рабочего дня, используя каждый раз свежие порции раствора сравнения. Перед каждой проверкой настройки иономера, нитратный ионоселективный электрод выдерживают в растворе сравнения концентрации  $pC_{NO_3}$  на уровне 0,0001 моль/дм<sup>3</sup> в течение 3–4 минут.

При непосредственном измерении концентрации нитрат-ионов в единицах  $pC_{NO_3}$  прибор ежедневно настраивают в режиме «рХ» по растворам сравнения с концентрацией 0,0001 моль/дм<sup>3</sup> ( $pC_{NO_3}$  равно четырём) и концентрацией 0,01 моль/дм<sup>3</sup> ( $pC_{NO_3}$  равно двум), используя раствор с концентрацией 0,001 моль/дм<sup>3</sup> для контроля. Отклонения значений  $pC_{NO_3}$  от номинального не должны превышать 0,02 единицы  $pC_{NO_3}$ .

Массовую долю нитрат-ионов определяют по значениям величин  $pC_{NO_3}$  растворов сравнения с помощью вспомогательных таблиц 3.6, 3.7.

При измерении концентрации иона нитрата в режиме «мВ» определение проводят, используя калибровочный график и снимая показания электродвижущей силы в милливольтках. Содержание нитратов в пробах находят, используя калибровочный график, построенный на миллиметровой бумаге. По оси абсцисс откладывают величины  $c(NO_3^-)$  соответствующие растворам сравнения азотнокислого калия в молях:

- 1) с концентрацией  $c(NO_3^-)$ , равной 0,1 моль/дм<sup>3</sup> ( $pC_{NO_3}$  равно единице);
- 2) с концентрацией  $c(NO_3^-)$ , равной 0,01 моль/дм<sup>3</sup> ( $pC_{NO_3}$  равно двум);
- 3) с концентрацией  $c(NO_3^-)$ , равной 0,001 моль/дм<sup>3</sup> ( $pC_{NO_3}$  равно трём);
- 4) с концентрацией  $c(NO_3^-)$ , равной 0,0001 моль/дм<sup>3</sup> ( $pC_{NO_3}$  равно четырём).

**Таблица 3.6 – Перевод величин  $pC_{NO_3}$  в массовую долю нитрата при анализе мезги, сока, тканей**

| $pC_{NO_3}$ | Сотые доли $pC_{NO_3}$        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 0,00                          | 0,01  | 0,02  | 0,03  | 0,04  | 0,05  | 0,06  | 0,07  | 0,08  | 0,09  |
|             | Массовая доля нитратов, мг/кг |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1,0         | 4 960                         | 4 847 | 4 737 | 4 629 | 4 524 | 4 421 | 4 320 | 4 222 | 4 126 | 4 032 |
| 1,1         | 3 940                         | 3 850 | 3 763 | 3 677 | 3 593 | 3 511 | 3 431 | 3 353 | 3 277 | 3 202 |
| 1,2         | 3 130                         | 3 058 | 2 969 | 2 921 | 2 854 | 2 789 | 2 726 | 2 664 | 2 603 | 2 544 |
| 1,3         | 2 486                         | 2 429 | 2 374 | 2 320 | 2 267 | 2 216 | 2 165 | 2 116 | 2 068 | 2 021 |
| 1,4         | 1 975                         | 1 930 | 1 886 | 1 843 | 1 801 | 1 760 | 1 720 | 1 681 | 1 642 | 1 605 |
| 1,5         | 1 568                         | 1 533 | 1 498 | 1 464 | 1 430 | 1 398 | 1 366 | 1 335 | 1 305 | 1 275 |
| 1,6         | 1 246                         | 1 218 | 1 190 | 1 163 | 1 136 | 1 110 | 1 085 | 1 060 | 1 036 | 1 013 |
| 1,7         | 990                           | 967   | 945   | 924   | 903   | 882   | 862   | 842   | 823   | 804   |
| 1,8         | 786                           | 768   | 751   | 734   | 717   | 685   | 685   | 669   | 654   | 639   |
| 1,9         | 684                           | 610   | 596   | 583   | 569   | 587   | 544   | 531   | 519   | 508   |
| 2,0         | 496                           | 485   | 474   | 463   | 452   | 448   | 432   | 422   | 413   | 403   |
| 2,1         | 394                           | 385   | 376   | 368   | 359   | 351   | 343   | 335   | 328   | 320   |
| 2,2         | 313                           | 306   | 299   | 292   | 285   | 279   | 273   | 266   | 260   | 254   |
| 2,3         | 249                           | 243   | 237   | 232   | 227   | 222   | 217   | 212   | 207   | 202   |
| 2,4         | 197                           | 193   | 189   | 184   | 180   | 176   | 172   | 168   | 164   | 161   |
| 2,5         | 157                           | 153   | 150   | 146   | 143   | 140   | 137   | 134   | 130   | 127   |
| 2,6         | 125                           | 122   | 119   | 116   | 114   | 111   | 109   | 106   | 104   | 101   |
| 2,7         | 99,0                          | 96,7  | 94,5  | 92,4  | 90,3  | 88,2  | 86,2  | 84,2  | 82,3  | 80,4  |
| 2,8         | 78,6                          | 76,8  | 76,1  | 73,4  | 71,7  | 70,1  | 68,6  | 66,9  | 65,4  | 63,9  |
| 2,9         | 62,4                          | 61,0  | 59,4  | 58,3  | 56,9  | 55,7  | 54,4  | 53,1  | 51,9  | 50,8  |
| 3,0         | 49,6                          | 48,5  | 47,4  | 46,3  | 45,2  | 44,2  | 43,8  | 42,2  | 41,3  | 40,3  |
| 3,1         | 39,4                          | 38,6  | 39,6  | 36,8  | 35,9  | 35,1  | 34,3  | 33,5  | 32,8  | 32,0  |
| 3,2         | 31,3                          | 30,6  | 29,9  | 29,2  | 28,5  | 27,9  | 27,3  | 26,6  | 26,0  | 25,4  |
| 3,3         | 24,9                          | 24,3  | 23,7  | 23,2  | 22,7  | 22,2  | 21,7  | 21,2  | 20,7  | 20,2  |
| 3,4         | 19,7                          | 19,3  | 18,9  | 18,4  | 18,0  | 17,6  | 17,2  | 16,8  | 16,4  | 16,1  |
| 3,5         | 15,7                          | 15,3  | 15,6  | 14,6  | 14,3  | 14,0  | 13,7  | 13,4  | 13,0  | 12,7  |
| 3,6         | 12,5                          | 12,2  | 11,9  | 11,6  | 11,4  | 11,1  | 10,9  | 10,6  | 10,4  | 10,1  |
| 3,7         | 9,9                           | 9,7   | 9,5   | 9,2   | 9,0   | 8,8   | 8,6   | 8,4   | 8,2   | 8,0   |
| 3,8         | 7,9                           | 7,7   | 7,5   | 7,3   | 7,2   | 7,0   | 6,8   | 6,7   | 6,5   | 6,4   |
| 3,9         | 6,2                           | 6,1   | 6,0   | 5,8   | 5,7   | 5,6   | 5,4   | 5,3   | 5,2   | 5,1   |
| 4,0         | 5,0                           | 4,8   | 4,7   | 4,6   | 4,5   | 4,4   | 4,3   | 4,2   | 4,1   | 4,0   |

**Таблица 3.7 – Перевод величин  $pC_{NO_3}$  в массовую долю нитрата при анализе винограда, земляники, косточковых**

| $pC_{NO_3}$ | Сотые доли $pC_{NO_3}$        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 0,00                          | 0,01  | 0,02  | 0,03  | 0,04  | 0,05  | 0,06  | 0,07  | 0,08  | 0,09  |
|             | Массовая доля нитратов, мг/кг |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1,1         | 9 357                         | 9 144 | 8 936 | 8 733 | 8 534 | 8 340 | 8 150 | 7 964 | 7 783 | 7 606 |
| 1,2         | 7 433                         | 7 263 | 7 098 | 6 937 | 6 779 | 6 624 | 6 474 | 6 326 | 6 182 | 6 042 |
| 1,3         | 5 904                         | 5 770 | 5 638 | 5 510 | 5 384 | 5 262 | 5 142 | 5 025 | 4 911 | 4 799 |
| 1,4         | 4 690                         | 4 583 | 4 479 | 4 377 | 4 277 | 4 180 | 4 085 | 3 982 | 3 901 | 3 812 |
| 1,5         | 3 725                         | 3 640 | 3 558 | 3 477 | 3 397 | 3 320 | 3 244 | 3 171 | 3 098 | 3 028 |
| 1,6         | 2 959                         | 2 892 | 2 826 | 2 762 | 2 699 | 2 637 | 2 577 | 2 519 | 2 461 | 2 405 |
| 1,7         | 2 350                         | 2 297 | 2 245 | 2 194 | 2 144 | 2 095 | 2 047 | 2 001 | 1 955 | 1 910 |
| 1,8         | 1 867                         | 1 820 | 1 783 | 1 742 | 1 703 | 1 664 | 1 626 | 1 588 | 1 553 | 1 518 |
| 1,9         | 1 486                         | 1 449 | 1 416 | 1 384 | 1 353 | 1 322 | 1 292 | 1 262 | 1 234 | 1 205 |
| 2,0         | 1 178                         | 1 151 | 1 125 | 1 099 | 1 074 | 1 050 | 1 026 | 1 003 | 980   | 958   |
| 2,1         | 936                           | 914   | 894   | 873   | 853   | 834   | 815   | 796   | 778   | 761   |
| 2,2         | 743                           | 726   | 710   | 694   | 678   | 662   | 647   | 633   | 618   | 604   |
| 2,3         | 590                           | 577   | 564   | 551   | 538   | 526   | 514   | 503   | 491   | 480   |
| 2,4         | 469                           | 458   | 448   | 438   | 428   | 418   | 408   | 399   | 390   | 381   |
| 2,5         | 373                           | 364   | 356   | 348   | 340   | 332   | 324   | 317   | 310   | 303   |
| 2,6         | 296                           | 289   | 283   | 276   | 270   | 264   | 258   | 252   | 246   | 241   |
| 2,7         | 235                           | 230   | 224   | 219   | 214   | 209   | 205   | 200   | 195   | 191   |
| 2,8         | 187                           | 182   | 178   | 174   | 170   | 166   | 163   | 159   | 155   | 152   |
| 2,9         | 148                           | 145   | 142   | 138   | 135   | 132   | 129   | 126   | 123   | 121   |
| 3,0         | 118                           | 115   | 112   | 110   | 107   | 105   | 103   | 100   | 98    | 96    |
| 3,1         | 93,6                          | 91,4  | 89,4  | 87,3  | 85,3  | 83,4  | 81,5  | 79,6  | 77,8  | 76,1  |
| 3,2         | 74,3                          | 72,6  | 70,0  | 69,4  | 67,8  | 66,2  | 64,7  | 63,3  | 61,8  | 60,4  |
| 3,3         | 59,0                          | 57,7  | 56,4  | 55,1  | 53,8  | 52,6  | 51,4  | 50,3  | 49,1  | 48,0  |
| 3,4         | 46,9                          | 45,8  | 44,8  | 43,8  | 42,8  | 41,8  | 40,8  | 39,9  | 39,0  | 38,1  |
| 3,5         | 37,3                          | 36,4  | 35,6  | 34,8  | 34,0  | 33,2  | 32,4  | 31,7  | 31,0  | 30,3  |
| 3,6         | 29,6                          | 28,9  | 28,3  | 27,6  | 27,0  | 26,4  | 25,8  | 25,2  | 24,6  | 24,1  |
| 3,7         | 23,5                          | 23,0  | 22,4  | 21,9  | 21,4  | 20,9  | 20,5  | 20,0  | 19,5  | 19,1  |
| 3,8         | 18,7                          | 18,2  | 17,8  | 17,4  | 17,0  | 16,6  | 16,3  | 15,9  | 15,5  | 15,2  |
| 3,9         | 14,8                          | 14,5  | 14,2  | 13,8  | 13,5  | 13,2  | 12,9  | 12,6  | 12,3  | 12,1  |
| 4,0         | 11,8                          | 11,5  | 11,2  | 11,0  | 10,7  | 10,5  | 10,3  | 10,0  | 9,8   | 9,6   |

По оси ординат откладывают величину электродвижущей силы в милливольтах. По калибровочному графику находят значения величины  $c(NO_3^-)$ , и с

помощью уравнений (3.3) – (3.4) или таблиц 3.6, 3.7 определяют содержание нитрат-ионов (в миллиграммах на один килограмм) в исследуемом объекте.

При работе с приборами, имеющими преобразователи величины  $c(NO_3^-)$  или моль/дм<sup>3</sup> в значения концентрации иона нитрата в исследуемой продукции, настройку проводят непосредственно в единицах массовой доли нитрата в миллионных долях (в миллиграммах на один килограмм) по растворам сравнения, предусмотренным в инструкции к прибору.

**Обработка результатов.** Если при анализе использовалась навеска измельчённой пробы, то массовую долю нитратов в испытываемом материале ( $X$ ) в миллионных долях (млн<sup>-1</sup>, мг/кг) рассчитывают по формуле (3.3):

$$X = \frac{\left(V + W \cdot \frac{n}{100 \cdot l}\right) \cdot 10^{pC_{NO_3}} \cdot 62 \cdot 10^6}{100 \cdot n} \quad (3.3)$$

где  $V$  – объём экстрагирующего раствора, см<sup>3</sup>;

$W$  – массовая доля воды в пробе, %;

$n$  – масса пробы, взятой для анализа, г;

$l$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>;

$10^{pC_{NO_3}}$  – концентрация нитрата в вытяжке, моль/дм<sup>3</sup>;

62 – молярная масса иона нитрата, г;

$10^6$  – коэффициент перевода долей единицы в миллионные доли (млн<sup>-1</sup>, мг/кг);

100 – коэффициент перевода процентов в доли единицы.

При непосредственном измерении нитратов в тканях растительной продукции (мезге) массовую долю нитратов рассчитывают по формуле (3.4):

$$X = x = \frac{10^{pC_{NO_3}} \cdot 62 \cdot 10^6}{1000} \quad (3.4)$$

где 1 000 – коэффициент перевода дм<sup>3</sup> в см<sup>3</sup>.

---

Расчеты по приведённым формулам можно исключить, используя таблицы 2.6 и 2.7 для перевода величин в массовую долю нитрата в анализируемой пробе. Данные таблиц составлены с учётом среднего содержания влаги в продукции различных культур.

Оценку качества продукции проводят в соответствии с допустимыми уровнями содержания нитратов в растительных продуктах (табл. 3.2). Допустимые отклонения от предельно допустимых концентраций при содержании нитратов до 100 мг/кг составляют 20 %, и свыше 100 мг/кг – 24 %.

### **Занятие 13.2. Определение сырого белка в растениях расчётным методом**

**Теоретические сведения.** Азот, поглощённый растением в процессе вегетации, распределяется по органам растения неравномерно. Более высокое содержание азота наблюдается в генеративных органах, особенно в зерне, и меньшее – в листьях, стеблях, корнях, корнеплодах, очень мало в соломе. Общий азот в растении представлен двумя формами: белковым азотом и азотом небелковых соединений. К последним относится азот, входящий в состав амидов, свободных аминокислот, нитратов и аммиака.

**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. Однако для каждой группы сельскохозяйственных культур существуют свои коэффициенты перевода азота в белок.**

На долю небелковых форм азота в вегетативных органах приходится от 10 до 30 % от общего азота, в зерне – не более 10 %. Содержание небелкового азота к концу вегетации снижается, поэтому в производственных условиях,

особенно при анализе кормов, долей небелкового азота пренебрегают. Определяют в этом случае общий азот (в процентах) и его содержание пересчитывают на белок. Этот показатель называется «сырой белок».

**Ход анализа.** Подготовка образцов к анализу и анализ проводится аналогично занятиям 5 и 9 раздела 2.

**Обработка результатов.** Содержание сырого белка рассчитывают умножением количества азота на коэффициент пересчета азота на белок для данной культуры (табл. 3.8).

Таблица 3.8 – Коэффициенты пересчёта азота на белок

| Семена                                               | Содержание азота в белке, % | Коэффициент |
|------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Соя                                                  | 16,0                        | 6,25        |
| Гречиха, кукуруза, фасоль                            | 16,7                        | 6,00        |
| Бобы, горох, овёс, пшеница, рожь, ячмень             | 17,6                        | 5,70        |
| Лен, конопля, арахис, подсолнечник, клещевина, люпин | 18,2                        | 5,50        |

### Занятие 13.3. Определение белкового азота с трихлоруксусной кислотой по методу Плешкова

**Теоретические сведения.** В растительных тканях содержание белков обычно ниже, чем содержание углеводов, тем не менее по значимости белки являются главным компонентом растительных клеток, так же как и клеток бактерий и животных.

Молекула белка состоит из одной или нескольких полипептидных цепочек, каждая из которых содержит не менее ста аминокислотных остатков, ковалентно связанных между собой пептидными связями. Белковые молекулы взаимодействуют с водой, с органическими и неорганическими веществами, а также с такими биополимерами, как нуклеиновые кислоты, которые выполняют в растениях множество различных функций: регуляторные, транспорт-

ные, защитные. Высокой активностью, специфичностью и лабильностью отличаются ферменты, то есть белки, которые выполняют функции биологических катализаторов. Запасные белки отличаются большей стабильностью, и их энергия в основном реализуется в процессах прорастания семян.

Содержание и свойства белков в различных растительных объектах подчиняются ряду общих закономерностей. Так известно, что содержание белка в зерне увеличивается с повышением температуры и снижением относительной влажности воздуха, то есть в районах юго-востока содержание белка всегда выше, чем в аналогичных видах и сортах растений, выращенных в условиях северо-западных регионов. Содержание белка обычно отрицательно коррелирует с продуктивностью растений за счет явления «ростового разбавления», если дополнительно в почву не вносят азотные удобрения. Такой агротехнический приём, как орошение, связанный с интенсивным синтезом биомассы, приводит к некоторому снижению белка в зерне.

Увеличение содержания белка связано в основном с применением определённых доз азотных удобрений в сочетании с фосфорными и калийными, а для зернобобовых культур – с внесением молибдена и известкованием почвы. Фосфорные удобрения положительно влияют на синтез белка в вегетативных органах. Влияние агротехнических приемов на синтез белка часто превышает разницу в содержании белка, которая проявляется за счёт видовых и сортовых различий.

На долю белкового азота приходится основная часть азота растений. Методы определения содержания белкового азота широко используются для расчёта количества белков и оценки качества растительной продукции в пищевой промышленности, для составления рационов кормления в зоотехнии, для разработки лечебных диет в медицине, а также для оценки влияния удобрений и других агротехнических приемов на качество получаемой продукции в селекции и агрохимии.

---

**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, при этом получают следующие продукты окисления: вода, оксиды углерода и серы из сульфгидрильных групп белка, а  $\text{NH}_2$  превращается в  $\text{NH}_4$ , 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 следующих реактивов: уксуснокислым свинцом  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ ; натрием сульфосалициловым, трихлоруксусной кислотой, медным купоросом  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; фосфорновольфрамовой кислотой и др. В зависимости от осадителя различают и методы анализа.*

**Метод Барнштейна основан на осаждении белков медным купоросом в щелочной среде.** Этот метод применяется как основной при экспертной оценке. Практика показывает, что при применении данного метода получаются несколько завышенные результаты, так как осаждаются не только белки, но и азот нуклеиновых кислот, азотистых оснований, алкалоидов. **При массовых определениях используется менее трудоёмкий метод Плешкова, где осаждение белков проводят трихлоруксусной кислотой.**

Определение белкового азота можно проводить в сыром и воздушно-сухом растительном материале. Для анализа семян берут навеску 0,2–0,3 г, а для вегетативных органов в воздушно-сухом состоянии – около 0,5 г. При анализе растений в свежем состоянии клубни, корни, листья, стебли предварительно измельчают и берут на аналитических весах 5–7 г материала. Навески свежего

---

материала берут на часовом стекле и смывают содержимое в стакан с дистиллированной водой. Одновременно в бюкс берут навеску 3–5 г материала для определения влажности.

**Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. 50-процентный раствор трихлоруксусной кислоты, 2-процентный раствор трихлоруксусной кислоты.
2. Реактив Гроака, смешанный индикатор, при рН 5,5 – чёткое изменение фиолетового цвета на зелёный.
3. Катализаторы: а) металлический порошок селена – 0,05 г; б) сернокислый калий, сернокислая медь и др.

**Ход анализа.** Навеску 3–5 г свежего измельчённого растительного материала или 0,3–0,5 г фиксированного материала переносят в стакан ёмкостью 150 мл. Добавляют 25 мл дистиллированной воды, помешивая стеклянной палочкой с резиновым наконечником, нагревают до кипения и, не охлаждая раствора, прибавляют 5 мл 50-процентной трихлоруксусной кислоты, тщательно перемешивают. Растительный материал с высоким содержанием крахмала нагревают на водяной бане при температуре 40–50 °С в течение 10 минут.

Осаждённый белок оставляют на 0,5–1 часа, затем фильтруют через беззольный рыхлый фильтр методом декантации, промывая осадок в стакане и на фильтре небольшими порциями 2-процентной трихлоруксусной кислоты. Общий объём промывного раствора составляет 200 мл. Осадок полностью переносят на фильтр.

Отмытый белок на фильтре прямо с воронкой подсушивают в термостате при температуре 50–60 °С примерно один час. Когда фильтр начнёт отставать от воронки, его осторожно сворачивают в трубочку и опускают на дно колбы Кьельдаля. Приливают, в зависимости от размера навески и величины фильтра, 10–20 мл концентрированной серной кислоты цилиндром или автомати-

ческой пипеткой. Горло колбы закрывают стеклянной круглой пробкой, которая предохраняет кислоту от выкипания. При этом за счёт процесса дегидратации под влиянием концентрированной серной кислоты происходит «обугливание» фильтра и белкового остатка. Чёрная пористая масса в колбе постепенно разжижается при нагревании. Если этого не происходит, в колбу следует добавить ещё 5–7 мл концентрированной серной кислоты.

Первоначально озоление ведут при комнатной температуре до полного разрушения фильтра, слегка подогревая колбу на электроплитке, пока её содержимое не приобретёт однородную густо-масляную консистенцию коричнево-бурого цвета. Для равномерного озоления колбу, залитую кислотой, лучше оставить на ночь.

Колбу помещают на электроплитку или в специальный электронагреватель. Вначале процесс озоления ведут на слабом огне, используя регулировку печи реостатом или подкладывая под колбу асбест. Нельзя допускать, чтобы вспенивающаяся масса поднималась вверх по горлу колбы. Если на горле колбы оказались углистые частицы или возникло небольшое вспенивание, колбу охлаждают и смывают частицы осторожно каплями серой кислоты из пипетки. В колбу добавляют один из катализаторов после того, как раствор в колбе станет однородным. Озоление следует проводить при равномерном, но не бурном кипении серной кислоты. Чтобы избежать потерь азота следует периодически осторожно взбалтывать колбу.

Сжигание ведут до тех пор, пока раствор в колбе совершенно не обесцветится. Обычно озоление органического вещества происходит за 3–8 часов в зависимости от вида материала, навески и интенсивности нагревания. Содержимое колбы Кьельдаля после окончания сжигания переносят количественно в отгонную колбу аппарата Кьельдаля и проводят отгон аммиака.

**Обработка результатов.** Расчёт содержания белкового азота в растительном материале ( $N$ ) проводят по формуле (3.5):

---

$$N = \frac{(a \cdot n_{\text{к}} - b \cdot n_{\text{щ}}) \cdot 14 \cdot 100}{H \cdot 1000} \quad (3.5)$$

где  $a$  – объём серной кислоты в приёмнике, мл;

$n_{\text{к}}$  – нормальность серной кислоты, мг-экв;

$b$  – объём щёлочи, израсходованный на титрование, мл;

$n_{\text{щ}}$  – нормальность щёлочи, мг-экв;

14 – атомная масса азота;

$H$  – навеска, г;

1 000 – коэффициент пересчёта миллиграммов в граммы.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие изменения происходят в растении при применении повышенных доз азотных удобрений?
2. Что такое нитраты и нитриты?
3. Назовите методы определения содержания нитратов в растениях.
4. На каких приборах определяют нитраты и нитриты в растениях?
5. Раскройте принцип ионометрического метода определения нитратов.
6. Изложите основной принцип подготовки проб к анализу.
7. Какие виды электродов применяются при проведении анализа?
8. Расскажите, как поглощённый растением в процессе вегетации азот, распределяется по органам растений?
9. Как определяется содержание белка в растениях?
10. Что такое «сырой белок»?
11. От каких закономерностей зависит содержание и свойство белков в различных растительных объектах?
12. От чего зависит увеличение содержания белка в растениях?
13. Сколько белкового азота содержится в растениях?
14. Назовите методы определения содержания белкового азота.

## Занятие 14. Определение крахмала в растениях

**Цель занятия:** ознакомиться и освоить методики определения содержания крахмала в зерне по Эверсу на поляриметре; в картофеле – по удельной массе клубней; в мякоти плодов и корнеплодов – по окраске с раствором йода.

**Теоретические сведения.** Крахмал ( $n(C_6H_{10}O_5)$ ) – углевод, входящий в группу полисахаридов второго порядка. Представляет собой вещество с большим молекулярным весом, нерастворим в воде, но дает коллоидные растворы.

Крахмал, который образуется в вегетативных органах растений в процессе фотосинтеза, называется ассимиляционным, его количество измеряется несколькими процентами. Основная же масса крахмала откладывается в запас в некоторых органах: в семенах, клубнях, корнеклубнеплодах, и называется запасной. Особенно богаты крахмалом семена злаков (50–70 % сухого веса) и некоторые корнеплоды (10–30 % сырого веса).

Крахмал не является химически индивидуальным веществом. Кроме полисахаридов, в его состав входят минеральные вещества, в основном, фосфор и жирные кислоты. Примерный состав крахмала: полисахариды – 96 %, минеральные вещества – 0,2–0,7 %, жирные кислоты – 1 %.

Для определения крахмала используют методы кислотного гидролиза, которые основаны на разложении крахмала до декстринов, а затем до глюкозы. Полученная глюкоза впоследствии количественно учитывается химическим методом Бертрана или определяется на поляриметре.

Первый метод пригоден для определения крахмала в листьях, стеблях и корнях, то есть в экстрактах, окрашенных растительными пигментами. На по-

---

ляриметре определяют глюкозу в бесцветных вытяжках, полученных при анализе зерна или слабопигментированных корнеплодов. Этот метод является наиболее быстрым из многих, предложенных ранее, и широко применяется в настоящее время.

### **Занятие 14.1. Определение крахмала в зерне на поляриметре по Эверсу**

**Принцип метода.** *Принцип метода состоит в гидролизе крахмала слабой кислотой и в определении угла вращения гидролизата на поляриметре. Удельное вращение гидролизатов  $[\alpha]_D$  из семян различных культур в среднем принимают равным 181. Для очень точных расчетов этот показатель уточняют по специальным руководствам для определенной культуры: пшеницы, ржи, риса, проса и т. д. Зерно размалывают на мельнице и просеивают через сито с диаметром отверстий один миллиметр. Отруби тщательно растирают в ступке и смешивают с мукой, если определение крахмала ведется в эндосперме.*

#### **Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Однопроцентный раствор концентрированной соляной кислоты (объём 22,6 мл, плотность 1,19 г/мл) вливают в мерную колбу ёмкостью один литр, предварительно налив туда 500 мл воды и доводят до метки дистиллированной водой.
2. 10-процентный раствор фосфорно-вольфрамовой кислоты.
3. Мерные колбы на 50 или 100 мл.
4. Поляриметр (сахариметр) СУ-5.
5. Торсионные весы.
6. Штатив или приспособление для встряхивания мерных колб.
7. Электрическая плитка.
8. Водяная баня.

**Ход анализа.** На аналитических весах берут навеску размолотого зерна или муки ( $2,5 \pm 0,001$  г) на кальке и пересыпают через сухую воронку в сухую мерную колбу на 100 мл. В колбу приливают 25 мл однопроцентной соляной кислоты, всю навеску смачивают кислотой. Если окажется, что часть муки прочно пристала к стенкам колбы и не смачивается, навеску необходимо взять снова. Добавляют еще 25 мл раствора кислоты и ставят на водяную баню. Гидролиз проводят в течение 15 минут на бурно кипящей бане, периодически перемешивая содержимое колб. Сначала масса в колбе густеет из-за клейстеризации крахмала, а затем разжижается.

Колбы охлаждают на водяной бане до комнатной температуры. В них доливают 30 мл дистиллированной воды, перемешивают и проводят осаждение белков в растворе. Для этого в колбы приливают 5 мл 10-процентной фосфорно-вольфрамовой кислоты и после перемешивания доводят раствор до метки соляной кислотой. Осаждение белков проходит достаточно быстро, в течение одного часа. При массовых анализах растворы можно оставить на ночь.

Гидролизат профильтровывают через рыхлый фильтр в сухой химический стакан с оттянутым носиком, откуда удобнее наполнять поляризационную трубку.

Проводят определение угла вращения на поляриметре.

**Обработка результатов.** Расчёт содержания крахмала проводят по формуле (3.6):

$$\text{Содержание крахмала} = \frac{\alpha \cdot V \cdot 100}{[\alpha] D \cdot H \cdot l \cdot 1000} \quad (3.6)$$

где  $\alpha$  – угол вращения прибора в градусах шкалы;

$V$  – объём гидролизата, мл;

$[\alpha]D$  – удельное вращение крахмала;

$H$  – навеска воздушно-сухого материала, г;

$l$  – длина поляризационной трубки, дм.

Удельное вращение для различных углеводов  $[\alpha]_D$  имеет следующие значения: глюкоза 52,8; сахароза 66,5; мальтоза 138,3; фруктоза 92,8; для крахмала пшеницы 182,7, риса 184,0, ржи 184,0.

Результаты работы оформляют в таблицу 3.9.

**Таблица 3.9 – Результаты расчёта содержания крахмала**

| Номер образца | Навеска, г | Объём гидролизата, мл | Отсчёт на поляриметре, град. | Среднее на поляриметре, град. | Длина трубки, дм | $[\alpha]_D$ | Крахмал, % |
|---------------|------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------|------------|
|               |            |                       |                              |                               |                  |              |            |
|               |            |                       |                              |                               |                  |              |            |
| ...           | ...        | ...                   | ...                          | ...                           | ...              | ...          | ...        |

#### **Занятие 14.2. Определение содержания крахмала в картофеле по удельной массе клубней**

**Принцип метода.** При оценке пищевой и кормовой ценности картофеля необходимо учитывать содержание крахмала в клубнях. *Наиболее простой, но недостаточно точный метод анализа содержания крахмала состоит в определении удельной массы клубней. Удельная масса определяется по разнице взвешивания картофеля в воздухе и при погружении в воду.*

**Ход анализа.** Среднюю пробу картофеля отбирают из клубней различной величины и формы в соотношении, отвечающем наличию их в исследуемой партии картофеля. Клубни тщательно моют и просушивают на воздухе. В воздушной корзинке весов отвешивают точно 5 кг клубней. Затем их пересыпают в корзинку, находящуюся в воде, и снова взвешивают. Масса клубней в воде будет меньше первой на количество вытесненного клубнями объёма воды. Удельная масса клубней будет равна разности 5 кг клубней и полученной массы пробы клубней в воде.

**Обработка результатов.** Содержание крахмала в клубнях при определенной удельной массе клубней находят по данным таблицы 3.10.

**Таблица 3.10 – Определение содержания крахмала по удельной массе клубней**

| Удельная масса | Содержание крахмала, % | Удельная масса | Содержание крахмала, % | Удельная масса | Содержание крахмала, % | Удельная масса | Содержание крахмала, % |
|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------------|
| 1,080          | 13,9                   | 1,100          | 18,0                   | 1,120          | 22,5                   | 1,140          | 26,5                   |
| 1,081          | 14,1                   | 1,101          | 18,4                   | 1,121          | 22,7                   | 1,141          | 27,0                   |
| 1,082          | 14,3                   | 1,102          | 18,6                   | 1,122          | 22,9                   | 1,142          | 27,2                   |
| 1,083          | 14,5                   | 1,103          | 18,8                   | 1,123          | 23,1                   | 1,143          | 27,4                   |
| 1,084          | 14,7                   | 1,104          | 19,0                   | 1,124          | 23,3                   | 1,144          | 27,6                   |
| 1,085          | 14,9                   | 1,105          | 19,2                   | 1,125          | 23,4                   | 1,145          | 27,8                   |
| 1,086          | 15,1                   | 1,106          | 19,4                   | 1,126          | 23,6                   | 1,146          | 28,0                   |
| 1,087          | 15,4                   | 1,107          | 19,7                   | 1,127          | 23,8                   | 1,147          | 28,3                   |
| 1,088          | 15,6                   | 1,108          | 19,9                   | 1,128          | 24,0                   | 1,148          | 28,5                   |
| 1,089          | 15,8                   | 1,109          | 20,1                   | 1,129          | 24,2                   | 1,149          | 28,7                   |
| 1,090          | 16,0                   | 1,110          | 20,3                   | 1,130          | 24,4                   | 1,150          | 28,9                   |
| 1,091          | 16,2                   | 1,111          | 20,5                   | 1,131          | 24,6                   | 1,151          | 29,1                   |
| 1,092          | 16,4                   | 1,112          | 20,7                   | 1,132          | 24,8                   | 1,152          | 29,3                   |
| 1,093          | 16,6                   | 1,113          | 20,9                   | 1,133          | 25,0                   | 1,153          | 29,6                   |
| 1,094          | 16,9                   | 1,114          | 21,1                   | 1,134          | 25,2                   | 1,154          | 29,8                   |
| 1,095          | 17,1                   | 1,115          | 21,4                   | 1,135          | 25,5                   | 1,155          | 30,0                   |
| 1,096          | 17,3                   | 1,116          | 21,6                   | 1,136          | 25,7                   | 1,156          | 30,2                   |
| 1,097          | 17,5                   | 1,117          | 21,8                   | 1,137          | 25,9                   | 1,157          | 30,4                   |
| 1,098          | 17,7                   | 1,118          | 22,0                   | 1,138          | 26,1                   | 1,158          | 30,6                   |
| 1,099          | 17,9                   | 1,119          | 22,2                   | 1,139          | 26,3                   | 1,159          | 30,8                   |

Определение содержания крахмала проводят в двух повторениях. Если расхождение между первым и вторым определениями превышает 0,6 %, то анализ проводят еще два раза.

### **Занятие 14.3. Приближённое определение крахмала в мякоти плодов и в корнеплодах**

#### **Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Мясорубка или кухонный комбайн.
2. Аналитические весы.
3. Измельчитель.
4. Мерный цилиндр на 10 мл.
5. Конические колбы вместимостью 250 мл.
6. Электрическая плитка.
7. Пробирки.

8. 0,3-процентный раствор йода.

9. Пипетка или капельница.

**Ход анализа.** После размельчения проб в мясорубке или кухонном комбайне отвешивают навески по  $10 \pm 0,01$  граммов мякоти тыквы (для петрушки, сельдерея, брюквы навески следует увеличить). Навески помещают в сосуд измельчителя, туда же приливают 9 мл воды и размельчают в течение пяти минут с перерывами. Полученную суспензию переносят в колбу на 200 мл для клейстеризации крахмала и кипятят пять минут с обратным холодильником.

После охлаждения набирают 5 мл «болтушки» в пробирку и прибавляют туда три капли 0,3-процентного раствора йода. Интенсивность появившейся окраски зависит от содержания и состава крахмала, а также от количества раствора йода и взвешенных частиц мякоти. Ввиду этого необходимо сохранять единообразие в приемах анализа. Образцы, содержащие в свежей мякоти около 1 % крахмала дают светло-голубую окраску, 2 % – светло-синюю, 2,5 % – синее окрашивание, 3,5 % – тёмно-синее окрашивание. Окраска образцов, содержащих более 4,5 % крахмала, трудно различима на глаз.

Для приближённого количественного определения следует составить шкалу, пользуясь навеской (10 г) корнеплодов, не содержащих крахмала (морковь, свекла сахарная), к которой добавить препарат крахмала из такого расчёта, чтобы иметь шкалу, соответствующую содержанию крахмала на сырой вес от 1 до 7 %, с интервалом в 0,5 %. Этот метод может быть использован для отбора корнеплодов на повышение крахмалистости.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое крахмал?
2. Назовите формулу крахмала.
3. Отчего зависит содержание крахмала в растениях?
4. Приведите примерный состав крахмала.
5. Назовите методы определения крахмала.

## **Занятие 15. Определение жира**

### **в растениях методом обезжиренного остатка**

**Цель занятия:** изучить и освоить методику определения жира в растительном материале методом обезжиренного остатка.

**Теоретические сведения.** Жиры и липиды (жироподобные вещества), содержащиеся в растениях, выполняют ряд важнейших функций. Различают запасные и цитоплазматические жиры.

Из липидов и липопротеидов построены мембранные слои на поверхности клеток и клеточных структур: митохондрий, пластид, ядер. Цитоплазматические липиды регулируют проницаемость клеточных мембран для различных веществ. Содержание их в растениях невелико и составляет 0,1–0,5 % от массы сырой растительной ткани.

Запасные жиры содержатся в основном в семенах. Известно, что многие виды растений накапливают как основной продукт жизнедеятельности семян жиры, а не углеводы, поскольку при окислении жиров в процессе прорастания семян накапливается в два раза больше энергии, чем при окислении крахмала. Меньше содержится жиров в семенах зерновых культур: 2–3 % у ржи, ячменя, пшеницы. Масличные культуры содержат значительно больше жиров: подсолнечник 30–50 %, соя 20–30 %, клещевина 50–60 %. Растительные жиры – ценный продукт питания человека и животных. Также значительная часть жиров используется в лакокрасочной и других отраслях промышленности.

Пигменты, содержащиеся в жирах, обуславливают их окраску: желтоватый цвет связан с наличием каротина, зеленоватый – хлорофилла.

В зависимости от условий выращивания растений изменяется количество жиров и состав жирных кислот в масле. В жирах растений чаще других встречаются такие ненасыщенные жирные кислоты, как олеиновая ( $C_{17}H_{33}COOH$ ),

---

линолевая ( $C_{17}H_{31}COOH$ ), линоленовая ( $C_{17}H_{29}COOH$ ), среди насыщенных – стеариновая ( $C_{17}H_{35}COOH$ ) и пальмитиновая ( $C_{15}H_{33}COOH$ ) кислоты.

Содержание жиров у видов растений заметно выше при выращивании в условиях северных широт. Внесение азотных удобрений, усиливая синтез белка, несколько снижает содержание жиров. Процесс образования масла стимулируется использованием фосфорных, калийных удобрений и применением орошения.

Качество жиров изменяется и в процессе хранения: под действием кислорода воздуха и ряда ферментов, особенно на свету, жиры портятся, прогорают. Свободные жирные кислоты, которые выделяются при этом, вызывают неприятный вкус и запах.

Кислотное число жиров при этом повышается. Для оценки качества жиров используют следующие показатели: кислотное число, йодное число, число омыления, перекисное число, показатель преломления или рефракции.

Определение содержания жира проводят в процессе селекции и сортоиспытания, при сдаче урожая масличных культур на перерабатывающие предприятия.

**Принцип метода.** Жиры и их производные хорошо растворяются в таких органических веществах, как хлороформ, бензол, бензин, диоксан, этиловый и петролейный эфир. Метод основан на растворении и удалении жиров из пробы растительного материала известной массы эфиром. Обезжиренную растительную навеску высушивают и взвешивают. По убыли массы растительного материала вычисляют содержание в нём жира. Обезжиривание проводят в аппаратах Сокслета или Еременко.

**Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Лабораторная мельница типа «Пируэт» или фарфоровая ступка и пестик в зависимости от растительного материала.
2. Сито диаметром 1 мм.

3. Сушильный шкаф.
4. Стекланные бюксы.
5. Аналитические весы.
6. Плотная обезжиренная фильтровальная бумага.
7. Шпатель.
8. Аппарат Сокслета.
9. Эксикатор.
10. Сухой чистый эфир.
11. Круглодонные колбы.

#### **Приготовление реактива:**

Обычно серный эфир, используемый для экстракции, содержит примеси в виде воды, спирта и ацетона. Для очистки от спирта и ацетона эфир промывают дистиллированной водой: в делительную воронку ёмкостью 0,5 мл добавляют 200 мл эфира и 50 мл воды, всё взбалтывают. Пары эфира выпускают через стеклянную пробку, а воду сливают через кран. Операцию повторяют 2–3 раза.

Отмытый эфир сушат, добавляя в тёмную склянку с эфиром зернистый хлористый кальций до тех пор, пока часть гранул не перестанет растекаться и мазаться. Оставляют раствор на двое суток в склянке, закрытой корковой пробкой с хлоркальциевой трубкой. Затем эфир осторожно отгоняют на водяной бане.

При работе с эфиром следует соблюдать меры предосторожности. Очистку эфира производить в прохладном помещении и не нагревать воронку руками. Отгонку эфира выполнять при температуре не более 60 °С, избегая близости огня. Защищать эфир от действия света, так как возможен взрыв его паров.

**Ход анализа.** Из обезжиренной плотной фильтровальной бумаги изготавливают пакетики такого размера, чтобы в них можно было поместить навеску

---

растительного материала массой около одного грамма. Пакетики нумеруют простым карандашом и высушивают в термостате в стеклянном бюксе при температуре 105 °С в течение одного часа. Затем каждый пакетик взвешивают на аналитических весах. В пакетики загружают шпателем тонко измельчённый воздушно-сухой растительный материал.

Для ускорения процесса экстракции жира из растительной пробы необходимо измельчение материала, но не очень тонкое. Обычно материал с содержанием жиров до 10 % (зерновые и вегетативные органы) – размалывают на мельнице «Пируэт» и пропускают через сито в один миллиметр без остатка. Измельчение семян с высоким содержанием жиров производить таким образом нельзя из-за больших потерь масла при размоле. Поэтому соответствующие пробы тщательно растираются в фарфоровой ступке.

Семена масличных культур измельчают непосредственно перед взятием навески, так как заблаговременное их измельчение приводит к искажению результатов. Пакетики плотно закрывают и взвешивают на аналитических весах.

Аппарат Сокслета состоит из трёх основных частей: колбы, из которой испаряется эфир; экстрактора, в который помещают пакетики с анализируемым материалом для экстракции; холодильника, где конденсируются пары эфира и стекают на пакеты в экстракторе.

Пакетики с навесками растительного материала помещают в экстрактор аппарата Сокслета. Экстрактор плотно соединяют с холодильником. Затем в испарительную колбу наливают такое количество эфира, чтобы его было больше вместимости экстрактора.

Испарительную колбу с эфиром и присоединённым экстрактором устанавливают на обогреватель и проверяют плотность соединения шлифов. Затем в холодильник пускают холодную воду. Через нижнюю трубку холодильника вода впускается в него, а из верхней – выливается. Сверху конец холодильника

закрывают хлоркальциевой стеклянной трубкой, предохраняющей эфир от паров воды из воздуха.

Все части аппарата Сокслета укрепляют на штативе, затем под испарительную колбу подводят электрическую плитку и включают её в сеть. Пары эфира, испаряясь из колбы при нагревании, через широкое отверстие поступают в экстрактор, а затем в шариковый холодильник и там, сгущаясь, по каплям стекают вниз на пакетики с растительным материалом. Постепенно экстрактор с пакетиками заполняется эфиром до уровня изгиба сифона, и эфир вместе с извлечённым жиром переливается обратно в испарительную колбу. Процесс многократно повторяется. Экстракцию ведут в течение 24 часов. При низком содержании жира время экстракции сокращается до 12 часов.

В тот момент, когда эфир в последний раз перетечёт из экстрактора в отгонную колбу, выключают электроплитку и после окончания кипения эфира в колбе отсоединяют холодильник от экстрактора, а экстрактор от отгонной колбы. Далее пинцетом вынимают пакеты с обезжиренным остатком. Рыхло складывают их под тягой в стеклянный бюкс или фарфоровую чашку.

После основательного проветривания пакетов с обезжиренным остатком, их помещают в термостат и сушат при температуре 105 °С в течение полутора часов. После охлаждения в эксикаторе пакетики взвешивают на аналитических весах.

**Обработка результатов.** Вычитая результаты взвешивания пустого пакета из массы пакета с растительным материалом, определяют массу растительного материала, взятого на анализ. Количество жира рассчитывают по формуле (3.7):

$$\text{Содержание сырого жира} = \frac{a \cdot 100}{H \cdot (100 - y)} \quad (3.7)$$

где  $a$  – масса сырого жира, г;

$H$  – навеска, г;

$y$  – содержание влаги в образце, %.

---

**Вопросы для самоконтроля**

1. Приведите состав и виды жиров.
2. Что регулируют цитоплазматические жиры? Укажите их содержание в растении.
3. Где преимущественно содержатся запасные жиры?
4. В каких сельскохозяйственных культурах содержание жиров больше, а в каких меньше?
5. Где используются растительные жиры?
6. Дайте характеристику устройства аппарата Сокслета.

## Занятие 16. Определение клетчатки в растениях

**Цель занятия:** ознакомиться и освоить методики определения клетчатки по Х. Н. Починку, по Кюршнеру и Гапеку в модификации А. В. Петербургского, весовым методом.

**Теоретические сведения.** Клетчатка – высокомолекулярный полисахарид  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , образующий главную составную часть оболочек растительных клеток. Чистая клетчатка – белое вещество, без вкуса и запаха, волокнистого строения. Она не растворима в воде, разбавленных кислотах и щелочах, а также в органических растворителях.

Кроме клетчатки в состав клеточных стенок входят гемицеллюлозы, лигнин, а также в малых количествах смолы, жиры, дубильные и красящие вещества. При определении клетчатки указанные вещества необходимо удалить с целью получения клетчатки в чистом виде.

### Занятие 16.1. Определение клетчатки по Х. Н. Починку

**Принцип метода.** Исследуемое вещество обрабатывают смесью уксусной и азотной кислот при нагревании. При этом растворяется межклеточное вещество и клетчатка распадается на отдельные волокна. Происходит также удаление лигнина, гемицеллюлозы и др. веществ. Наблюдается гидролиз крахмала, пентозанов и др. веществ. После удаления примесей промыванием водой клетчатка окисляется бихроматом калия в серно-кислой среде до углекислоты и воды:  $C_6H_{10}O_5 + 4K_2Cr_2O_7 + 16H_2SO_4 = 6CO_2 + 4Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + 21H_2O$ . Избыток бихромата определяется титрованием солью Мора или йодометрически.

Грамм-эквивалент клетчатки  $\frac{C_6H_{10}O_5}{24}$  составляет 6,75.

---

**Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Сушильный шкаф.
2. Лабораторная мельница.
3. Сито с отверстиями 1 мм<sup>2</sup>.
4. Аналитические весы.
5. Центрифуга с пробирками на 15 мл со стеклянной шариковой пробкой.
6. Стеклянные палочки.
7. Колбы конические на 250 мл.
8. Бюретка на 25 мл.
9. Пипетка на 25 мл.
10. Фарфоровые ступки с пестиком.

**Приготовление реактивов:**

**1. Смесь азотной и уксусной кислот.** На 100 мл 80-процентной уксусной кислоты берут 10 мл азотной кислоты (плотностью 1,4). Хорошо перемешивают и сохраняют в склянке с притёртой стеклянной пробкой.

**2. 0,5 н. раствор бихромата калия в серной кислоте.**  $25 \pm 0,01$  г бихромата калия ( $K_2Cr_2O_7$ ) растворяют в 250 мл дистиллированной воды в колбе ёмкостью не менее двух литров. Постепенно при охлаждении приливают 800 мл концентрированной серной кислоты (плотностью 1,84). Тщательно перемешивают и после охлаждения переливают в склянку с притёртой стеклянной пробкой. Хранят в тёмном месте.

**3. 0,1 н. раствор соли Мора.** 40 г соли Мора растворяют в дистиллированной воде. Приливают 20 мл концентрированной серной кислоты, разбавляют водой до одного литра и перемешивают. Раствор готовят на неделю, проверив титр в день определения. Нормальность раствора соли Мора устанавливают по 0,1 н. раствору бихромата калия.

Для этого набирают пипеткой 25 мл 0,1 н. раствора бихромата калия, переносят в колбу для титрования, прибавляют 5 мл концентрированной серной

кислоты, 3–5 капель раствора фенилантраниловой кислоты и титруют раствором соли Мора до перехода окраски из вишнёво-фиолетовой в зелёную. Нормальность раствора соли Мора ( $K$ ) находят по формуле (3.8):

$$K = \frac{25 \cdot 0,1}{a} \quad (3.8)$$

где  $a$  – объём раствора соли Мора, затраченный на титрование бихромата калия, мл.

**4. 0,2-процентный раствор фенилантраниловой кислоты.** 0,1 г фенилантраниловой кислоты ( $C_6H_5-NH-C_6H_4COOH$ ) растирают в ступке с 5 мл 0,1 н. раствора гидроксида натрия. Переносят раствор в мерную колбу или цилиндр на 50 мл, споласкивают ступку дистиллированной водой. Раствор доводят до 50 мл и перемешивают. Хранят в тёмной склянке.

**Ход анализа.** Исследуемый материал сушат, измельчают и просеивают через сито с отверстиями 1 мм<sup>2</sup>. Из полученного порошка берут навеску с таким расчётом, чтобы в ней находилось от 3 до 25 мг чистой клетчатки (0,05 г листьев и стеблей + 0,4 г зерна).

Навеску взвешивают на аналитических весах, переносят в центрифужную пробирку и приливают смесь уксусной и азотной кислоты. При навеске менее 0,1 г берут 5 мл смеси, а при навеске выше 0,1 г – 10 мл смеси уксусной и азотной кислоты. Пробирку закрывают стеклянной шариковой пробкой с палочкой и помещают в кипящую воду на 25 минут, периодически размешивая.

После этого центрифугируют. Прозрачный раствор осторожно сливают по палочке насколько это возможно, а к остатку приливают 10 мл дистиллированной воды, перемешивают, центрифугируют и раствор сливают. Промывают водой три раза порциями по 10 мл.

К промытому осадку клетчатки приливают пипеткой 10 мл 0,5 н. раствора бихромата калия в серной кислоте, перемешивая стеклянной палочкой. Пробирку помещают в кипящую воду на десять минут, периодически помешивая содержимое. После этого раствор охлаждают и выливают в колбу ёмкостью 250 мл для титрования, смывая остаток 10–15 мл дистиллированной воды. Раствор охлаждают, прибавляют пять капель 0,2-процентного раствора фенилантраниловой кислоты и титруют 0,1 н. раствором соли Мора до перехода вишнево-фиолетовой окраски в зелёную. Отдельно титруют 10 мл 0,5 н. раствора бихромата калия, разбавив его 15 мл дистиллированной воды и охладив. Остаток бихромата можно определить йодометрическим методом так, как при определении крахмала.

**Обработка результатов.** На основании полученных результатов находят содержание клетчатки (x) по формуле (3.9):

$$x = \frac{0,675 \cdot k \cdot (a - b)}{n} \quad (3.9)$$

где 0,675 – нормальный титр клетчатки, умноженный на сто;

k – нормальность титрованного раствора соли Мора;

a – объём 0,1 н. раствора соли Мора, затраченный при контрольном титровании 10 см<sup>3</sup> бихромата калия, мл;

b – объём 0,1 н. раствора соли Мора, затраченный при определении клетчатки, мл;

n – навеска исследуемого вещества, г.

### **Занятие 16.2. Определение клетчатки по Кюршнеру и Гапеку в модификации А. В. Петербургского**

**Принцип метода.** Проводимая модификация может быть рекомендована в качестве универсального метода. Последний основан на окислении, разрушении и растворении различных химических соединений, входящих в состав

растений, смесью уксусной и азотной кислоты. При этом клетчатка практически не растворяется, отфильтровывается и взвешивается.

**Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Колбы на 100–150 мл с притёртыми холодильными трубками.
2. Тигли Гуча или стеклянные тигли с пористым дном.
3. Аналитические весы.
4. Водяная баня.
5. Электрическая плитка.
6. Смесью по объёму (1:10) азотной кислоты (плотность 1,4 г/см<sup>3</sup>) и 80-процентной уксусной кислоты.
7. Этиловый эфир и спирт.

**Ход анализа.** На аналитических весах берут навеску одного грамма воздушно-сухого материала (при анализе сочных кормов и силоса навеска составляет 4–5 г), измельчённого до 3–4 мм и помещают в коническую колбу вместимостью 100–150 мл с пришлифованным шариковым обратным холодильником. Приливают 25–30 мл смеси кислот и, закрыв колбу обратным холодильником, нагревают на водяной бане в течение одного часа. Затем отфильтровывают белый, слегка кремовый осадок через стеклянный тигель или тигель Гуча с асбестовым фильтром.

Если осадок после отсасывания экстракта кремового цвета, то его промывают несколько раз небольшими порциями дистиллированной воды и в заключении – 10 мл спирта с эфиром.

При этом следят, чтобы растворители хорошо отмыли стенки тиглей (при анализе масличных семян на них может остаться маслянистая жидкость). Тигли с чисто белым осадком высушивают до постоянного веса при температуре 105 °С.

При анализе кормовых и овощных растений навески сухого материала увеличивают до 1,5 г и заливают 50 мл смеси кислот и также нагревают в течение одного часа.

**Обработка результатов.** Содержание клетчатки в процентах в анализируемом растительном материале ( $x$ ) вычисляют по формуле (3.10):

$$x = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 100}{m} \quad (3.10)$$

где  $m_2$  – масса фильтра (тигля) с высушенным осадком (клетчаткой), г;

$m_1$  – масса тигля (фильтра) без клетчатки (тара), г;

100 – коэффициент для выражения результатов анализа;

$m$  – масса растительного материала, взятого для анализа, г.

Для перевода результатов анализа на абсолютно сухое вещество вычисленное содержание клетчатки в исходном материале умножают на сто и делят на массовую долю в процентах сухого вещества в исследуемом материале.

### Занятие 16.3. Определение клетчатки весовым методом

#### Реактивы, материалы, посуда и оборудование:

1. Смесь кислот по объёму концентрированной азотной кислоты (одна часть) и 80-процентной уксусной кислоты (20 частей) (готовится непосредственно перед работой).
2. 0,2 моли раствор спиртовой щелочи: 4 г щелочи предварительно растворить в небольшом объёме воды и добавить спирт до 500 мл.
3. Аналитические весы.
4. Водяная баня.
5. Электрическая плитка.

**Ход анализа.** Навеску воздушно-сухого материала, грубого размола, предварительно пропущенного через сито с диаметром отверстий 2 мм, берут

на аналитических весах ( $1 \pm 0,0001$  г), помещают в сухую коническую колбу на 300 мл. В колбу приливают 30 мл смеси концентрированной азотной и уксусной кислоты (1:20), плотно закрывают резиновой пробкой с обратным холодильником. Предварительно пробки покрывают фольгой или целлофаном, так как резина в этих условиях разрушается.

Колбу помещают на кипящую баню в течение одного – двух часов, периодически перемешивая содержимое. Над осадочная жидкость в процессе выщелачивания и окисления органики приобретает красно-бурую окраску, а навеска осветляется.

Рыхлый бумажный фильтр подбирают по диаметру воронки Бюхнера и вырезают так, чтобы диаметр фильтра был больше неё на 2 см. Фильтры доводят до постоянного веса при температуре 105 °С, взвешивают с точностью до 0,0002 г и помещают в эксикатор.

Готовят воронку Бюхнера для горячего фильтрования. Бумажный фильтр осторожно укладывают на дно воронки, формируя «блюдце» с загнутыми краями. Воронку вставляют в колбу Бунзена.

Для плотного прилегания к воронке, фильтр слегка смачивают горячей водой. Пропускают сначала кипящую воду, чтобы нагрелась воронка. Затем фильтруют горячую суспензию из конической колбы. Для отсасывания над осадочной жидкости подключают водоструйный насос.

Осадок клетчатки количественно переносят на фильтр, на котором промывают 4–5 раз горячей дистиллированной водой. Воду тщательно отсасывают. Затем отключают насос и клетчатку промывают два раза, используя по 10 мл раствора горячей 0,2 моль спиртовой щелочи, которая извлекает смолы, дубильные вещества, остатки жира, воска, частично белок.

Осадок после этого еще 4–5 раз промывают горячей дистиллированной водой, тщательно отсасывают воду, подключая насос. После этого чистую клетчатку обрабатывают 10 мл этилового спирта для обезвоживания.

---

Фильтр с осадком осторожно вынимают из воронки, помещают на часовое стекло, высушивают в шкафу при температуре 105 °С до постоянного веса, помещают в эксикатор и взвешивают. Обычно проводят два – три взвешивания.

**Обработка результатов.** Содержание клетчатки в процентах в анализируемом растительном материале ( $x$ ) вычисляют по формуле (3.11):

$$x = \frac{(a - b) \cdot 100}{H} \quad (3.11)$$

где  $a$  – масса фильтра с осадком, г;

$b$  – масса фильтра, г;

$H$  – масса навески, г

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое клетчатка?
2. Определите содержание и роль клетчатки для растений.
3. Назовите методики определения клетчатки в растениях.

## **Занятие 17. Определение сахаров в овощах, ягодах и плодах**

**Цель занятия:** изучить и освоить цианидный и оптический методы определения сахаров в растениях.

**Теоретические сведения.** Качество и пищевая ценность овощей, плодов и ягод определяются содержанием в них простых легкорастворимых углеводов, представленных дисахаридами (сахарозой) и моносахаридами (фруктозой и глюкозой). Соотношение между содержанием дисахаридов, моносахаридов и органических кислот в овощной и плодово-ягодной продукции колеблется в широких пределах и обуславливается биологическими особенностями культур и стадией созревания плодов и ягод. В корнеплодах преобладает сахароза, в плодовых и ягодных культурах – моносахариды (глюкоза и фруктоза).

Содержание сахаров и их отдельных компонентов в значительной мере зависит от условий минерального питания овощных, ягодных и плодовых культур, зоны выращивания и агротехники. При хранении овощей, плодов и ягод углеводы расходуются на дыхание, особенно интенсивно при неблагоприятных условиях хранения. Регулярное определение сахаров позволяет контролировать соблюдение режима правильного хранения и тем самым снизить потери. Изучение содержания углеводов в определённый промежуток времени в плодах, овощах и ягодах позволяет установить динамику накопления сахаров и закономерности обмена этих веществ как при созревании урожая, так и в процессе хранения.

Содержание сахарозы, фруктозы и глюкозы часто определяют, как в виде суммарного их количества, так и в каждой отдельной их группе химическими и инструментальными методами.

---

### Занятие 17.1. Цианидный метод определения сахаров в растениях

**Значение анализа.** Цианидный метод с точки зрения используемых реактивов является быстрым и простым. При соблюдении рекомендуемой техники анализа он даёт вполне удовлетворительные результаты. Метод используют для определения сахаров в овощах, сочных плодах и корнеплодах.

**Принцип метода.** Метод основан на способности железосинеродистого калия  $K_3[Fe(CN)_6]$  (красная кровяная соль, гексацианоферрат (III) калия) в щелочной среде окислять редуцирующие сахара, и восстанавливаться до гексацианоферрата (II) калия –  $K_4[Fe(CN)_6]$ . Реакцию осуществляют путем титрования раствором исследуемого сахара кипящего щелочного раствора железосинеродистого калия в присутствии метиленовой сини в качестве индикатора окислительно-восстановительных условий среды. До тех пор пока в растворе присутствует окислитель гексацианоферрат (III) калия, метиленовая синь находится в окислённой форме, окрашивая раствор в синий цвет. После того как гексацианоферрат (III) калия будет полностью восстановлен редуцирующими сахарами (глюкозой и фруктозой) в гексацианоферрат (II) калия, метиленовая синь, восстановлением небольшим избытком сахара, обесцвечивается, что свидетельствует об окончании титрования.

Содержание моносахаридов (редуцирующих сахаров) вычисляют по количеству титрованного раствора железосинеродистого калия и объёму расходуемого на его титрование раствора сахара неизвестной концентрации.

**Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Весы технические или аналитические.
2. Мельница лабораторная.
3. Гомогенизатор или фарфоровые ступки.
4. Вакуумный насос.
5. Водяная баня.

6. Ножи, разделочные доски.
7. Термометры.
8. Колбы конические или химические стаканы вместимостью 150–200 мл.
9. Колбы мерные на 100, 250 и 1 000 мл.
10. Воронки, бюретки, пипетки на 5, 10 и 25 мл.
11. Мерные цилиндры на 10 мл.
12. 8-процентный раствор щелочи гидроксида натрия: 80 г химически чистого гидроксида натрия растворяют в 920 мл воды.
13. 10-процентный раствор ацетата свинца: 100 г ацетата свинца ( $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ ) растворяют в 900 мл дистиллированной воды.
14. Насыщенный раствор сульфата натрия: 160 г сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) растворяют в одном литре дистиллированной воды.
15. Насыщенный водный раствор карбоната натрия: 200 г карбоната натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) растворяют в одном литре дистиллированной воды.
16. Однопроцентный титрованный раствор железосинеродистого калия: 10 г химически чистого железосинеродистого калия ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  (красная кровяная соль, гексацианоферрат (III) калия)) растворяют в колбе вместимостью один миллилитр и доводят объём до метки дистиллированной водой. Титр проверяют по раствору глюкозы известной концентрации.
17. 2,5 н. раствор гидроксида натрия: 100 г гидроксида натрия растворяют в фарфоровой кружке под тягой в 400–500 мл дистиллированной воды, переносят в мерную колбу на один литр, доводят водой до метки и перемешивают.
18. 20-процентный раствор соляной кислоты: 496 мл концентрированной соляной кислоты (плотностью  $1,19 \text{ г/см}^3$ ) приливают в мерную колбу вместимостью один литр с предварительно налитой в неё 200–250 мл дистиллированной воды и доводят водой объём до метки.
19. Индикаторы: однопроцентный водный раствор метиленовой сини, 0,2-процентный спиртовой раствор метилового красного.

---

**Ход анализа.** Свежие овощи, корнеплоды, фрукты измельчают на тёрках или мелко шинкуют, а затем растирают в ступке. На технических весах при помощи тонкостенной фарфоровой чашки берут навеску 15–25 г исследуемого материала и количественно переносят в широкогорлую мерную колбу вместимостью 250 мл, многократно смывая из фарфоровой чашки дистиллированной водой в колбу. Дистиллированной водой доводят объём в колбе с навеской примерно до половины (120–140 мл) и перемешивают. Если для анализа берут растительный материал, характеризующийся высокой кислотностью (смородина, крыжовник, малина, яблоки и др.), то содержимое колбы нейтрализуют раствором гидроксида натрия по кусочкам лакмусовой бумажки. Слабокислые вытяжки нейтрализовать не следует.

Колбу устанавливают на полчаса на водяную баню с температурой 80 °С. Температуру контролируют по термометру, опущенному в аналогичную колбу с водой. В процессе проведения экстракции углеводов содержимое колбы многократно перемешивают. Затем в колбу добавляют 5–10 мл ацетата свинца для осаждения белка. Содержимое колбы перемешивают и избыток ацетата свинца, мешающий дальнейшему анализу, осаждают насыщенным раствором сульфата натрия, приливая его при встряхивании колбы небольшими порциями (общий объём 5–10 мл) до прекращения образования мути. Затем объём в колбе после охлаждения доводят дистиллированной водой до метки, закрывают колбу пробкой, тщательно перемешивают и пропускают через складчатый фильтр в коническую или мерную колбу № 1.

В полученном фильтрате определяют редуцирующие моносахариды (глюкозу и фруктозу), которые обладают восстанавливающей способностью, то есть способностью окисляться, отнимая кислород у других соединений. Фильтратом, содержащим сахара, заполняют бюретку с оттянутым кончиком, а в коническую колбочку вместимостью 100–150 мл наливают из бюретки или

пипеткой 10–20 мл однопроцентного (титрованного) раствора железосинеродистого калия и к нему приливают пипеткой 5 мл 2,5 н. раствора гидроксида натрия.

Колбочку устанавливают на асбестовой сетке над газовой горелкой или электроплите и, когда раствор закипит, к нему прибавляют одну каплю метиленовой сини ( $C_{16}H_{18}N_3Cl$ ). Поддерживая слабое кипение, содержимое колбы титруют раствором сахара из бюретки до обесцвечивания индикатора. Раствор сахара приливают маленькими порциями, постоянно перемешивая содержимое колбочки. Наиболее достоверные результаты определения получают, если на титрование расходуется 6–8 мл раствора сахара. За пределами этого объёма точность определения снижается. При большем (малом) расходе раствора сахара на титрование количество железосинеродистого калия и раствора щелочи уменьшают (увеличивают) в два раза.

Следует отметить, что после остывания оттитрованного раствора может появиться фиолетовое окрашивание, которое образуется при окислении метиленовой сини кислородом воздуха и в расчёт не принимается.

**Обработка результатов.** Содержание моносахаридов в процентах ( $X$ ) вычисляют по формуле (3.12):

$$X = \frac{a \cdot T \cdot (1,006 + 0,00175 \cdot b) \cdot 100}{m \cdot b_1} \quad (3.12)$$

где  $a$  — количество однопроцентного раствора железосинеродистого калия, взятого для титрования исследуемым раствором сахара, мл;

$T$  — поправка к титру раствора железосинеродистого калия, в данном случае  $(1,006 + 0,00175 \cdot b) \cdot 100$ ;

$b$  — количество сахара, отвечающее одному миллилитру однопроцентного раствора железосинеродистого калия, мг;

$m$  — навеска анализируемого вещества, соответствующая одному миллилитру раствора сахара, которым титровали железосинеродистый калий, мг;

$b_1$  — количество раствора сахара, пошедшего на титрование, мл.

---

Например, для анализа взято 20 г растительного материала. Следовательно, 20 000 мг растительного материала содержится в 250 мл, а в 1 мл входит 80 мг ( $20000/250$ ). Эту величину подставляют в формулу.

**Определение сахарозы.** Наряду с моносахаридами (глюкозой и фруктозой), в овощах, ягодах и плодах содержится некоторое количество дисахаридов – сахарозы. У сахарозы нет альдегидных и кетонных групп, следовательно, она не обладает восстанавливающей способностью. В связи с этим сахарозу непосредственно нельзя определить данным методом. Её необходимо расщепить на составные части – глюкозу и фруктозу, и уже тогда можно использовать цианидный метод.

Для определения сахарозы из колбы № 1 берут пипеткой 50 мл фильтрата и переносят в мерную колбу на 100 мл. Колбу с фильтратом устанавливают на водяную баню, нагретую до 80 °С, и доводят температуру в колбе с исследуемым фильтратом до 80 °С. Затем в подогретый испытуемый раствор мерным цилиндром приливают или 3 мл соляной кислоты (плотностью 1,19 г/см<sup>3</sup>), или 6 мл 20-процентной соляной кислоты.

Содержимое колбы перемешивают и устанавливают на водяную баню, где проводят гидролиз сахарозы в течение 10 минут при температуре 80 °С. Затем колбу снимают с бани, содержимое охлаждают под холодной водой, добавляют 3–4 капли индикатора метилового красного и нейтрализуют насыщенным раствором соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) до перехода красной окраски раствора в золотистую. После этого раствор в колбе доводят дистиллированной водой до метки, закрывают пробкой и перемешивают. Из этой колбы заполняют бюретку раствором сахара и титруют кипящий раствор железосинеродистого калия, как указано ранее.

Содержание моносахаридов после гидролиза вычисляют по формуле (3.12). Полученный результат (процент инвертированного сахара) умножают на два, в связи с разбавлением раствора вдвое в процессе инверсии.

Из рассчитанной суммы сахаров (не инвертированный + инвертированный) вычисляют содержание сахарозы по разности между вторым и первым определениями.

## **Занятие 17.2. Оптический метод определения сахарозы**

**Принцип метода.** *Оптический метод определения сахарозы основан на способности сахарозы в водных растворах вращать плоскость поляризации световых лучей. Отличие поляризованного луча света от обычного заключается в том, что в поляризованном луче колебания световой волны совершаются в одной плоскости, в то время как в обычном световом потоке – по всем направлениям в плоскости, перпендикулярной к направлению хода луча. Поляризованный луч, проходя через раствор сахара, поворачивается вокруг своей оси в пределах 90 градусов. Приборы для измерения угла поворота плоскости поляризации называются поляриметрами.*

Многие органические соединения (углеводы, глюкозиды, алкалоиды, эфирные масла и др.) обладают свойством вращать поляризованный луч света. Это свойство характерно для веществ, у которых один или несколько асимметричных атомов углерода.

В природе существуют вещества, способные как к правому, так и к левому вращению поляризованного луча света. Направление и угол вращения поляризованного света являются строго характерными для конкретных соединений и их концентраций в растворе. Количественный учет сахара основан на зависимости величины угла вращения от концентрации сахара в растворе.

*При определении содержания сахарозы в анализируемом веществе используют сахариметр, который показывает непосредственное содержание сахара в процентах.*

---

**Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Поляриметр.
2. Весы технические и аналитические.
3. Гомогенизатор или фарфоровые ступки.
4. Водяная баня.
5. Колбы мерные на 100, 200 и 1 000 мл.
6. Воронки, бюретки и пипетки на 5, 10 и 25 мл.
7. Мерные цилиндры на 10 мл.
8. 10-процентный раствор ацетата свинца: 100 грамм ацетата свинца ( $\text{CH}_3\text{COO}_2\text{Pb}$ ) растворяют в 900 мл дистиллированной воды.

**Ход анализа.** Растительный материал, содержащий сахарозу (корни сахарной и кормовой свеклы, сочные плоды), измельчают, руководствуясь общепринятыми методами. После перемешивания измельчённого вещества, на теххимических весах при помощи часового стекла или фарфоровой чашки берут 20–30 г мезги и переносят её, используя стеклянную палочку, в широкогорлую колбу (колбу Штифта) вместимостью 200 мл. Остатки навески на чашке и стеклянной палочке смывают дистиллированной водой в ту же колбу.

После доведения объёма в колбе Штифта дистиллированной водой примерно до 150–160 мл в неё приливают 7 мл 10-процентного раствора ацетата свинца. Колбу устанавливают на 30 минут на водяную баню, нагретую до температуры 80 °С. Температуру водяной бани все время поддерживают на этом уровне, контролируя ее термометром.

Через каждые 5 минут содержимое колбы взбалтывают. Затем (после тридцати минут прогрева) объём в колбе доводят подогретой до температуры 80 °С дистиллированной водой до метки, и опять устанавливают колбу на 15 минут на водяную баню. После этого колбу с содержимым охлаждают до 20 °С в проточной водопроводной воде, и объём в колбе доводят дистиллированной водой до метки. Колбу закрывают пробкой, содержимое тщательно

перемешивают и фильтруют через плотный складчатый фильтр в сухой и чистый стакан или колбу.

После того как наберется 50–60 мл прозрачного фильтрата (мутный раствор для анализа не годится), им сначала споласкивают вымытую до этого дистиллированной водой поляриметрическую трубку, а затем наливают в неё столько фильтрата, чтобы сверх краёв трубки был высокий мениск, и закрывают трубку стёклышком, подвигая его для срезания мениска. Необходимо следить, чтобы в кювете (трубке) не остались пузырьки воздуха. Затем трубку закрывают завинчивающейся металлической крышкой, но не слишком туго, так как это ведёт к искажению результатов анализа из-за искривления луча света пережатым стеклом.

Заполненную раствором сахара поляриметрическую трубку помещают в сахариметр. Вначале прибор устанавливают на нулевое положение по дистиллированной воде. Наблюдая поле зрения прибора, вращают рукоятку компенсатора до тех пор, пока оба поля (правое и левое) не окрасятся в одинаковый цвет. Отсчёт производят по шкале, записывая сначала целые числа процентов между нулём основной шкалы и нулём нониуса, а затем десятые доли.

Поляриметрическую трубку после каждого определения моют дистиллированной водой и ополаскивают очередным анализируемым раствором сахара.

**Расчёт содержания сахарозы.** Найденное содержание сахара по шкале прибора умножают на два. Это необходимо, так как навеску растительного материала помещали для экстракции в колбу вместимостью не 100, а 200 мл и поляриметрирование проводили в трубке длиной 200 мм.

При использовании поляриметрической трубки длиной 400 мм результаты отсчёта не удваивают.

**Обработка результатов.** Содержание сахарозы в процентах вычисляют по формуле (3.13):

---

$$\text{Сахароза} = \frac{a \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 100}{m} \quad (3.13)$$

где  $a$  – отсчёт по шкале поляриметра;

2 – поправочный коэффициент на объём раствора;

0,75 – содержание сахара в 100 мл, отвечающее одному градусу поляриметра, г;

$m$  – навеска материала, г.

### Вопросы для самоконтроля

1. Чем определяется качество и пищевая ценность овощей, плодов и ягод?
2. От чего зависит соотношение между содержанием дисахаридов, моносахаридов и органических кислот в овощной и плодово-ягодной продукции?
3. Какие углеводы преобладают в корнеплодах и какие в плодовых и ягодных культурах?
4. Как определяют содержание сахарозы, фруктозы и глюкозы в овощах, плодах и ягодах?
5. Какие методики применяют при определении сахаров?
6. Раскройте содержание принципа цианидного метода определения сахаров в растениях.
7. Рассмотрите принцип оптического метода определения сахарозы.

## Занятие 18. Определение общей кислотности плодов и овощей

**Цель занятия:** изучить и освоить метод определения общей кислотности плодов и овощей.

**Теоретические сведения.** Условия выращивания оказывают существенное влияние на содержание органических кислот в свежих плодах и овощах, что имеет важное значение при их непосредственном использовании и консервировании.

**Принцип метода.** В основу метода положено извлечение органических кислот из растений дистиллированной водой при нагревании. Экстрагированные таким образом и отфильтрованные органические кислоты учитывают титрованием 0,1 н. раствором щелочи. Результаты определения суммарного содержания органических кислот пересчитывают на яблочную кислоту, умножая количество 0,1 н. гидроксида натрия, пошедшего на нейтрализацию, на коэффициент 0,0067. Содержание органических кислот выражают в миллиграммах на 100 грамм растительного материала.

### **Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Весы технические и аналитические.
2. Гомогенизатор или фарфоровые ступки.
3. Водяная баня.
4. Термометры.
5. Колбы мерные на 250 и 1 000 мл.
6. Воронки, бюретки и пипетки на 5, 10 и 25 мл.
7. Мерные цилиндры на 10 мл.
8. 0,1 н. раствор гидроксида натрия.
9. Фенолфталеин.
10. Лакмусовая бумага.

---

**Ход анализа.** Свежие или консервированные плоды, ягоды и овощи измельчают на терке и после тщательного перемешивания берут на технических весах в тарированной фарфоровой чашке 25 г мезги. Навеску без потерь смывают дистиллированной водой в мерную колбу вместимостью 250 мл. Удобнее всего пользоваться колбой Штифта, имеющей расширение в верхней части горла. Объем жидкости в колбе доводят дистиллированной водой примерно до 150 мл, колбу устанавливают на водяную баню и температуру поддерживают на уровне 80 °С.

Экстракцию органических кислот проводят выдерживанием колбы на водяной бане в течение 30 минут при перемешивании содержимого через каждые 5 минут. Затем содержимое колбы охлаждают под струёй холодной воды, и объём раствора доводят дистиллированной водой до метки. Колбу закрывают пробкой, содержимое тщательно перемешивают и фильтруют через фильтр или вату.

Затем берут пипеткой 50 мл фильтрата, переносят в стакан или коническую колбу вместимостью 200–250 мл и титруют в присутствии трёх – четырёх капель индикатора (фенолфталеина или смешанного индикатора) до изменения окраски. Фенолфталеин при кислотности выше 8,2 единиц приобретает красно-фиолетовое окрашивание, а смешанный индикатор при кислотности, составляющей 7 единиц, – фиолетово-синее с переходом при щелочной реакции титруемого раствора в зелёное окрашивание.

При титровании тёмноокрашенных растворов завершение титрования устанавливают по изменению окраски синей лакмусовой бумаги от капли титруемого раствора. Если лакмусовая бумага не окрасится в красный цвет от капли фильтрата, титрование считают законченным. В кислой среде синяя лакмусовая бумага окрашивается в красный цвет.

**Обработка результатов.** Содержание органических кислот в миллиграммах на 100 грамм плодов и овощей ( $X$ ) находят по формуле (3.14):

$$X = \frac{a \cdot T \cdot 6,7 \cdot V \cdot 100}{m \cdot V_1} \quad (3.14)$$

где  $a$  – количество 0,1 н. щелочи, пошедшей на титрование, мл;

$T$  – титр 0,1 н. щелочи;

6,7 – коэффициент для перевода кислот в яблочную;

$V$  – общий объём вытяжки, мл;

100 – коэффициент пересчёта на 100 г растительного материала;

$m$  – навеска исследуемого материала, г;

$V_1$  – объём фильтрата, пошедшего на титрование, мл.

Для выражения в массовых долях (в процентах) результаты, полученные в миллиграммах на 100 грамм продукта необходимо разделить на тысячу.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какое влияние оказывают органические кислоты в свежих плодах и овощах на консервирование?
2. Влияют ли условия выращивания на содержание органических кислот в свежих плодах и овощах?
3. Расскажите принцип определения общей кислотности в плодах и овощах.

---

**Занятие 19. Определение аскорбиновой кислоты  
(витамина С) методом И. Мурри**

**Цель занятия:** изучить и освоить метод определения аскорбиновой кислоты (витамина С) методом И. Мурри.

**Теоретические сведения.** Аскорбиновая кислота в организме человека участвует в окислительно-восстановительных процессах, активизирует ферментные системы, необходима для поддержания целостности кровеносных сосудов, обеспечения иммунологической устойчивости организма к вирусным инфекциям и стрессу. В этой связи, её недостаток в пище приводит к развитию целого ряда заболеваний. Суточная потребность человека в витамине С составляет примерно один миллиграмм на килограмм массы тела.

В растениях аскорбиновая кислота синтезируется, главным образом, из глюкозы. Она содержится во всех органах зелёных растений. Больше всего витамина С в плодах шиповника – 1 000–4 000 мг (1–4 %), в чёрной смородине и красном перце – 100–300 мг, цветной капусте, петрушке и укропе – 80–180 мг; молодом картофеле, яблоках (северных), томатах, цитрусах, луке – 20–40 мг. Зерновые культуры не содержат аскорбиновой кислоты.

Определение содержания витамина С в урожае сельскохозяйственных культур, и прежде всего в плодах и овощах, имеет важное значение для качественной оценки растительных продуктов питания. Количество витамина С в растениях зависит от почвенно-климатических условий выращивания и агротехники. В северных районах его содержание в плодово-ягодных и овощных культурах в два – три раза выше, чем в южных. При хранении плодово-ягодных культур и овощей содержание в них витамина С ежемесячно снижается на 10–20 %.

**Принцип метода.** Метод определения аскорбиновой кислоты, разработанный И. Мурри, и основан на её способности восстанавливать целый ряд органических соединений, в том числе краситель 2,6-дихлорфенолиндофенол. В присутствии аскорбиновой кислоты окрашенный в синий цвет 2,6-дихлорфенолиндофенол переходит в бесцветное соединение. Количество обесцвеченной краски соответствует количеству аскорбиновой кислоты в анализируемом материале.

**Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Нож.
2. Пластмассовая тёрка или гомогенизатор.
3. Технические или аналитические весы.
4. Часовое стекло.
5. Фарфоровые ступки и пестики.
6. Мерный цилиндр на 10 и 20 мл.
7. Воронки.
8. Мерные колбы на 100 мл.
9. Стаканы или конические колбы на 100 или 150 мл.
10. Пипетки.
11. Микробюретка.
12. Широкогорлые пробирки.
13. Однопроцентный раствор соляной кислоты: 22,6 мл концентрированной соляной кислоты (плотность 1,19 г/см<sup>3</sup>) растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе вместимостью один литр.
14. 2-процентный раствор метафосфорной кислоты (HPO<sub>3</sub>): 20 г кристаллической кислоты растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе вместимостью один литр. Хранят в холодильнике в течение трёх месяцев.

---

15. 2-процентный раствор щавелевой кислоты ( $C_2O_4H_2$ ): 20 г кристаллической кислоты растворяют в дистиллированной воде в мерной колбе на один литр.

16. 10-процентный раствор сульфата меди.

17. 0,001 н. раствор иодата калия ( $KIO_3$ ): 0,214 г иодата, высушенного в течение двух часов при температуре 102 °С, берут на аналитических весах, растворяют и доводят водой до одного литра.

18. 0,001 н. раствор 2,6-дихлорфенолиндофенола: на аналитических весах берут 60 мг сухой краски и переносят без потерь в мерную колбу вместимостью 200 мл. Прибавляют 100–150 мл теплой дистиллированной воды и четыре – пять капель 0,01 н. гидроксида натрия. Колбу энергично взбалтывают в течение 10 минут. Затем доливают до метки водой, перемешивают и фильтруют через плотный фильтр в сухую колбу. Раствор хранят в холодильнике не более 10 дней, так как при более длительном хранении он теряет свои свойства.

19. 2-процентная серная кислота.

20. Аскорбиновая кислота кристаллическая.

21. Иодид калия кристаллический.

22. Крахмал, однопроцентный раствор.

**Ход анализа.** Овощи, фрукты и ягоды хорошо промывают в проточной воде и просушивают на воздухе. Из средней пробы отбирают 5–10 типичных проб, объективно характеризующих урожай клубней картофеля, корнеплодов, кочанов капусты, плодов томата, яблок и др. Их разрезают вдоль осевой линии на 4–8 симметричных частей таким образом, чтобы взятые для дальнейшего анализа сегменты или дольки пропорционально включали в себя все части анализируемого органа. Отобранные части измельчают на тёрке из пластмассы или в гомогенизаторе. Аскорбиновая кислота является очень неустойчивым

соединением. При контакте измельчённого растительного материала с кислородом воздуха, железом и особенно с медью происходят инактивация и разрушение витамина С. Поэтому следует обращать внимание на скорость подготовки растительного материала к анализу и его проведению.

Листовые овощи шинкуют ножом и тщательно перемешивают. Мелкие плоды и ягоды измельчают полностью, предварительно освободив от косточек плоды косточковых культур. Измельчённый растительный материал хорошо перемешивают. В зависимости от экстрагирующего растворителя возможно определить параллельно две формы аскорбиновой кислоты – свободную и связанную.

Для этого на технических весах при помощи часового стекла берут две навески: по 10–15 г для черной смородины, красного перца; по 2 г для листовых овощей, петрушки, укропа с содержанием в них 1–3 мг аскорбиновой кислоты. Навески переносят в фарфоровые ступки, и при помощи мерного цилиндра в одну из них приливают 20 мл однопроцентного раствора соляной кислоты (HCl), во вторую – 20 мл 2-процентного раствора метафосфорной (HPO<sub>3</sub>) или щавелевой (C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>H<sub>2</sub>) кислоты. Соляная кислота извлекает свободную и связанную в протоплазме клеток аскорбиновую кислоту, метафосфорная и щавелевая кислота – лишь свободную аскорбиновую кислоту. Кроме того, метафосфорная кислота повышает стойкость аскорбиновой кислоты к разложению и осаждает белки в экстрактах.

Растительное вещество в ступках быстро растирают пестиком до образования однородной массы. Процесс измельчения от начала до окончания гомогенизации не должен превышать 10 минут. Более длительный контакт гомогенизируемого растительного вещества с кислородом воздуха приводит к инактивации витамина С.

---

При определении аскорбиновой кислоты в грубых растительных образцах их растирают пестиком с добавлением небольшого количества (1–2 г) отмытого соляной кислотой от следов железа кварцевого песка. После растирания полученную массу количественно (без потерь) переносят через воронки без фильтра в мерные колбы вместимостью 100 мл.

В колбе № 1 собирают солянокислую вытяжку, в которой определяют суммарную аскорбиновую кислоту, в колбе № 2 – экстракт метафосфорной (щавелевой) кислоты, в котором устанавливают свободную аскорбиновую кислоту. Ступки два – три раза ополаскивают небольшими порциями 2-процентной метафосфорной (щавелевой) кислоты, собирая смывные растворы в соответствующие мерные колбы. После этого объёмы в колбах доводят до метки 2-процентной метафосфорной кислотой, колбы закрывают пробками и содержимое энергично перемешивают. После пяти минут отстаивания, содержимое колб фильтруют в сухие стаканы или конические колбы.

Когда профильтруется примерно по 50 мл, из каждого полученного фильтрата пипеткой берут две параллельные пробы по 10–20 мл, переносят в химические стаканы на 100–150 мл и титруют из микробюретки 0,001 н. раствором 2,6-дихлорфенолиндифенола до появления ярко-розового окрашивания, не исчезающего в течение 30 секунд. Из параллельных титрований вычисляют среднее значение, которое используют в расчётах.

2,6-дихлорфенолиндифенол в процессе титрования вытяжек может восстанавливаться не только аскорбиновой кислотой, но и другими органическими донорами ионов водорода. Поэтому результаты анализа могут быть завышенными. Для получения достоверных результатов проводят контрольное титрование экстрактов. В чистый стаканчик вместимостью 50–100 мл вносят 10 мл солянокислой вытяжки, прибавляют 0,1 мл 10-процентного раствора сульфата меди и нагревают в термостате при температуре 110 °С в течение

десяти минут. За это время при нагревании солянокислого экстракта в присутствии меди происходит полное разрушение аскорбиновой кислоты. Инактивация аскорбиновой кислоты медью метафосфорнокислой (щавелевокислой) вытяжки происходит не полностью. Поэтому контрольного титрования с этой вытяжкой не проводят.

После проведения охлаждения раствор в стаканчике титруют 0,001 н. раствором 2,6-дихлорфеиолиндофенола. Затраченное количество краски на контрольном титровании вычитают из результатов титрования исследуемых растворов.

Если определение аскорбиновой кислоты проводят в окрашенных вытяжках (смородина, столовая свекла), то поступают следующим образом. К 10 мл фильтрата, помещённого в широкую пробирку, прибавляют 2–3 мл дихлорэтана, который нерастворим в воде и собирается на дне пробирки. Титруемый раствор периодически несильно, во избежание образования эмульсии, встряхивают. Появление розового окрашивания отстоявшегося на дне пробирки дихлорэтана указывает на окончание титрования.

**Обработка результатов.** Содержание аскорбиновой кислоты в миллиграммах на 100 грамм исследуемого материала ( $X$ ) вычисляют по формуле (3.15):

$$X = \frac{a \cdot T \cdot 0,088 \cdot V \cdot 100}{m \cdot V_1} \quad (3.15)$$

где  $a$  – количество 2,6-дихлорфеиолиндофенола (с вычетом контрольного определения), пошедшего на титрование экстракта (среднее из двух титрований), мл;

$T$  – поправка к титру 0,001 н. краски;

0,088 – коэффициент;

$V$  – общий объём полученного экстракта из навески, мл;

100 – коэффициент пересчёта на 100 г растительного материала;

$m$  – масса навески растительного материала, г;

$V_1$  – количество экстракта, взятого для титрования (обычно 10 мл), мл.

Коэффициент 0,088 получают, с учётом следующего. На титрование 1 мг аскорбиновой кислоты идет 11,4 мл 0,001 н. раствора точно 2,6-дихлорфенолиндофенола. Следовательно, 1 мл точно 0,001 н. раствора этой краски отвечает 0,088 мг аскорбиновой кислоты.

**Определение поправки к титру краски.** 2,6-дихлорфенолиндофенол – относительно лабильное соединение и приготовить точно 0,001 н. раствор довольно сложно. Поэтому определяют поправку к титру краски по раствору аскорбиновой кислоты известной концентрации или сопоставляя расход краски с титрованным раствором иодата калия.

Для этого берут примерно 2–4 мг аскорбиновой кислоты, растворяют в мерной колбе на 100 мл в однопроцентной соляной кислоте и доводят до метки. Затем в две конические колбочки берут по 10–15 мл приготовленного раствора аскорбиновой кислоты. В одной из них раствор кислоты титруют 0,001 н. раствором краски до светло-розового цвета, в другой – 0,001 н. раствором иодата калия ( $KIO_3$ ) с добавлением 5–10 мг иодида калия ( $KI$ ) (2–3 кристаллика) и 5–6 капель крахмала. Как только вся глюкоза будет окислена иодат-ионом ( $IO_3^-$ ), иодид-ион ( $I^-$ ) восстанавливается до йода ( $I_2$ ), окрашивая крахмал в синий цвет, что указывает на конец титрования:  $5I^- + IO_3^- + 6H^+ = 3I_2 + 3H_2O$ .

Так как один миллилитр точно 0,001 н. раствора краски соответствует 0,088 мг аскорбиновой кислоты, то поправочный коэффициент рассчитывают по формуле (3.16):

$$T = a - \frac{0,088}{b} \quad (3.16)$$

где  $a$  – количество 0,001 н. раствора иодата калия ( $KIO_3$ ), пошедшего на титрование;

0,088 – коэффициент;

$b$  – количество краски, пошедшей на титрование приготовленного раствора аскорбиновой кислоты.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Какое участие принимает аскорбиновая кислота в организме человека?
2. Какая суточная потребность человека в витамине С?
3. Из чего синтезируется и в чём содержится в растениях аскорбиновая кислота?
4. В каких плодах и овощах больше всего содержится витамина С?
5. В каких культурах не содержится витамин С?
6. От чего зависит количество витамина С в растениях?
7. Снижается ли содержание витамина С при хранении плодово-ягодных культур и овощей?

---

## Занятие 20. Определение провитамина А (каротина)

**Цель занятия:** изучить и освоить методы определения провитамина А (каротина).

**Теоретические сведения.** Каротин (общая формула  $C_{40}H_{56}$ ) относится к большой группе каротиноидов – жёлтых и оранжево-красных природных пигментов, которые синтезируются в растениях. В организме животных и человека из каротинов, поступающих с пищей, образуется витамин А (ретинол). Наибольшей биологической активностью обладает  $\beta$ -каротин. В тоже время  $\alpha$ - и  $\gamma$ -каротины имеют меньшую активность. Витамины группы А образуются из каротина (провитамина А) исключительно в тканях животных, в растениях они отсутствуют. При недостатке витамина А у человека и животных происходит ослабление зрения (ксерофтальмия), снижается сопротивляемость к инфекционным заболеваниям, наблюдается задержка роста. Суточная потребность взрослого человека в витамине А составляет 1–1,5 мг.

**Принцип метода.** Каротин хорошо растворяется в жирах и органических растворителях, таких, как ацетон, бензин, диоксан, эфир и других, и не растворяется в воде. Его экстрагируют из растений бензином, а затем методом распределительной хроматографии отделяют от других красящих веществ (хлорофилла и ксантофилла). Количественно определяют это вещество на фотоэлектроколориметре по интенсивности жёлтой окраски путём сравнения с раствором бихромата калия, имитирующим чистый каротин.

### Реактивы, материалы, посуда и оборудование:

1. Весы технические и аналитические.
2. Мельница лабораторная.
3. Фотоэлектроколориметр.
4. Гомогенизатор или фарфоровые ступки.

5. Водяная баня.
6. Термометры.
7. Ножи.
8. Разделочные доски.
9. Колбы конические или банки бытовые вместимостью 150–200 мл.
10. Трубки Аллина и колбы Бунзена.
11. Колбы мерные на 100 и 1 000 мл.
12. Воронки, бюретки и пипетки на 10 и 25 мл.
13. Мерные цилиндры на 100 мл.
14. Бензин авиационный. Автомобильный бензин перегоняют, отбирая фракцию, кипящую при 60–100 °С. Бензин можно заменить петролевым эфиром.
15. Оксид кальция ( $\text{CaO}$ ).
16. Оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Предварительно просеивают через сито с отверстиями 0,25 мм.
17. Бихромат калия ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ ). Используют реактивы марки ч. (чистый) или ч. д. а. (чистый для анализа).

### **Приготовление растворов:**

**1. Основной (стандартный) раствор бихромата калия.** Для приготовления раствора 0,720 г бихромата калия ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ ), взвешенного с погрешностью  $\pm 0,001$  г, растворяют дистиллированной водой в мерной колбе вместимостью один литр. Объем раствора доводят до метки и тщательно перемешивают. Оптическая плотность полученного раствора соответствует оптической плотности раствора каротина концентрации 0,00416 мг/см<sup>3</sup>. Раствор хранят в течение одного года.

**2. Рабочие растворы сравнения.** В мерные колбы вместимостью 100 мл из бюретки приливают по 10, 20, 30, 40 и 50 мл основного раствора бихромата

калия. Объём раствора доводят до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают. Срок хранения растворов сравнения не более трёх месяцев.

Фотометрирование растворов сравнения проводят в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 5, 10 или 20 мм при длине волны 420–450 нанометров. Оптическую плотность растворов бихромата калия измеряют относительно дистиллированной воды.

Для построения градуированного графика на оси абсцисс откладывают значения объёмов основного раствора бихромата калия, взятых для приготовления растворов сравнения, на вертикальной оси – соответствующую оптическую плотность растворов.

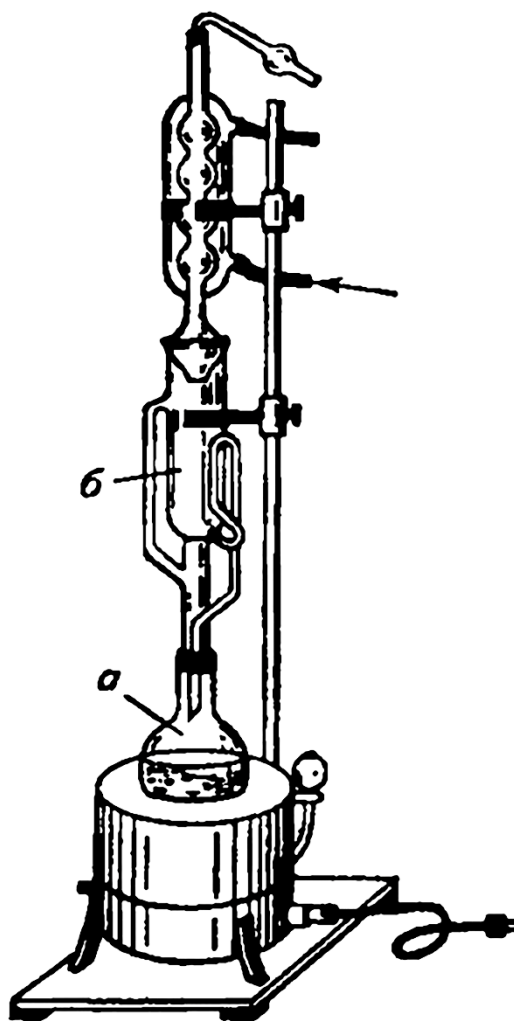
Проверку градуированного графика проводят в день проведения испытаний по второму и пятому растворам сравнения. При нестабильной работе прибора фотометрируют все растворы сравнения и строят новый график.

**Ход анализа.** При помощи часового стекла или фарфоровой чашки берут навеску 5–10 г свежего измельчённого растительного материала, переносят в фарфоровую ступку и быстро растирают с небольшим количеством кварцевого песка.

Каротин в кислой среде распадается, поэтому в ступку прибавляют для нейтрализации кислотности полученной смеси и обезвоживания примерно тройное по сравнению с навеской анализируемого вещества количество оксида кальция. После добавления оксида кальция содержимое ступки тщательно перемешивают и продолжают растирать пестиком до образования тонкого сухого порошка (добавленный оксид кальция отнимает воду и превращается в известь ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), а последняя частично поглощает хлорофилл и ксантофилл).

После тщательного растирания вещества ступку с содержимым оставляют в тёмном месте на 20–30 минут. В это время готовят хроматографическое

устройство (аппарат Сокслета) (рис. 3.1), состоящее из трубки Аллина и колбы Бунзена. На дно трубки Аллина помещают две – три стеклянные бусины, поверх них кладут ватный тампон толщиной около одного сантиметра. Сверху тампона насыпают слой оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) толщиной около 5 см, служащего адсорбентом хлорофилла и ксантофилла при фильтровании бензинового экстракта из растительного материала.



а – колба, выполняющая функции испарителя эфира и приёмника экстрагированного жира; б – экстрактор

**Рисунок 3.1 – Хроматографическое устройство (аппарат Сокслета)**

Для равномерного уплотнения оксида алюминия в момент наполнения колонки необходимо слегка постукивать деревянной или стеклянной палочкой

по стенке трубки Аллина. Трубку укрепляют посредством каучуковой пробки в колбе Бунзена и подключают к вакуумному насосу. Затем из ступки в хроматографическую колонку без потерь переносят сухой порошок растительного вещества. Ступку несколько раз ополаскивают небольшим количеством бензина, сливая жидкость в колонку.

Включают вакуумный насос и при слабом разрежении фильтруют (скорость фильтрации не должна превышать 50–60 капель в минуту), постоянно добавляя в колонку небольшие порции бензина до тех пор, пока вытекающий в колбу Бунзена фильтрат перестанет быть окрашенным в жёлтый цвет. Необходимо постоянно следить за тем, чтобы над поверхностью оксида алюминия в колонке все время находился слой бензина во избежание окисления каротина кислородом воздуха.

Работу с бензином по возможности необходимо проводить в вытяжном шкафу.

Закончив хроматографическое отделение каротина от сопутствующих пигментов, мерным цилиндром измеряют объём раствора, собранного в колбе Бунзена (предварительно тщательно перемешав его) и приступают к определению содержания каротина.

Содержание каротина определяют на фотоэлектроколориметре при синем светофильтре с длиной волны 420–450 нанометров. В качестве стандартного раствора служит бихромат калия, близкий по оптическим параметрам к каротину, один миллилитр которого отвечает по окраске 0,00416 мг каротина.

**Обработка результатов.** Количество каротина, выраженного в миллиграммах на 100 грамм свежего растительного материала ( $X$ ) вычисляют по формуле (3.17):

$$X = \frac{0,00416 \cdot D_1 \cdot V \cdot 100}{m \cdot D_2} \quad (3.17)$$

где 0,00416 – количество каротина в одном миллилитре, которому соответствует стандартный раствор бихромата калия, мг/см<sup>3</sup>;

$D_1$  – оптическая плотность исследуемого раствора;

$V$  – объём бензинового экстракта, мл;

$m$  – масса навески исследуемого вещества, г;

$D_2$  – оптическая плотность стандартного раствора бихромата калия.

### **Фотометрический метод определения каротина (ГОСТ 13496.17–2019)**

**Принцип метода.** *Сущность метода состоит в растворении каротина в петролейном эфире или бензине и фотометрическом измерении окраски, интенсивность которой зависит от содержания каротина.*

#### **Реактивы, материалы, посуда и оборудование:**

1. Весы технические и аналитические.
2. Мельница лабораторная.
3. Фотоэлектроколориметр.
4. Гомогенизатор или фарфоровые ступки.
5. Ножи.
6. Разделочные доски.
7. Термометры.
8. Колбы конические или банки бытовые вместимостью 150–200 мл.
9. Колбы мерные на 100 и 1 000 мл.
10. Воронки, бюретки и пипетки на 10 и 25 мл.
11. Мерные цилиндры на 100 мл.
12. Оксид кальция безводный (CaO).
13. Оксид алюминия безводный (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).
14. Сульфат натрия безводный (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
15. Бикарбонат натрия (NaHCO<sub>3</sub>).
16. Бихромат калия (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>).

---

17. Эфир петролейный. Фракция с температурой кипения 40–70 или 70–100 °С или бензин. Используемые реактивы должны быть марки чистые или чистые для анализа.

Приготовление основного (стандартного) и рабочего растворов бихромата калия и построение градуированного графика описаны выше. Все операции с петролейным эфиром и бензином проводят и вытяжном шкафу, соблюдая правила техники безопасности при работе с легковоспламеняющимися веществами.

**Ход анализа.** Пробу зелёной массы растений, силоса, сенажа измельчают на лабораторной мельнице или ножницами до размера 1–3 см. Измельчённую пробу хорошо перемешивают на плёнке и методом квартования выделяют часть пробы массой 150–200 г, которую размалывают на мельнице в течение 2–4 минут. Кормовые корнеплоды измельчают в гомогенизаторе или на тёрке.

Пробу сена измельчают на лабораторной мельнице или ножницами до отрезков длиной 1–3 см. Пробу травяной или витаминной муки из древесной зелени, гранул или брикетов тщательно перемешивают на полиэтиленовой плёнке и методом квартования выделяют часть пробы массой 100–200 г, которую размалывают на мельнице. Травяную муку с размером частиц 1–2 мм анализируют без предварительного размола.

Навеску тонкоизмельченного сухого растительного материала массой 3–5 г (свежего 10 г) помещают в стакан гомогенизатора или фарфоровую ступку, добавляют 15 г сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) и на кончике ножа (0,1–0,2 г) бикарбоната натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ). Затем в мерный цилиндр наливают 100 мл петролейного эфира, и из цилиндра 30–40 мл приливают к навеске в ступку (гомогенизатор). Содержимое в ступке растирают 4–5 минут (гомогенизируют 1–2 минуты при 5 000 оборотов в минуту).

Суспензию количественно переносят в коническую колбу на 150 мл, смывая оставшимся экстрагентом ступку, пестик или стакан гомогенизатора. В

суспензию добавляют 10 г оксида алюминия и 0,5 г оксида кальция. Содержимое колбы хорошо перемешивают стеклянной палочкой. Колбу закрывают пробкой и содержимое отстаивают в течение 18–20 часов. Затем, не взмучивая суспензию, отбирают прозрачный отстоявшийся раствор петролейного эфира, переносят в кювету фотоколориметра и измеряют его оптическую плотность. Фотометрирование растворов проводят в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 5, 10 или 20 мм при длине волны 420–450 нанометров. Оптическую плотность растворов бихромата калия измеряют относительно дистиллированной воды.

**Обработка результатов.** Содержание каротина в процентах в растительном материале ( $X$ ) рассчитывают по формуле (3.18):

$$X = \frac{0,00416 \cdot V \cdot 100}{m \cdot 1000} \quad (3.18)$$

где 0,00416 – коэффициент перевода основного раствора бихромата калия в эквивалентное количество каротина;

$V$  – объём основного раствора, найденного по графику, мл;

$m$  – масса навески, г;

1 000 – коэффициент пересчёта на один килограмм исследуемого материала.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое каротин?
2. Что образуется в организме животных и человека из каротинов, поступающих с пищей?
3. Что происходит у человека и животных при недостатке витамина А?
4. Назовите суточную потребность взрослого человека в витамине А.
5. В чём хорошо растворяется каротин?

---

## РАЗДЕЛ 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

### Занятие 21. Сводный расчёт данных химического анализа растительного материала

**Цель занятия:** рассчитать вынос элементов питания с основной продукцией, а также сбор белка и жира на основании результатов химического анализа растительного материала.

**Обработка результатов.** Результаты химического анализа растительного материала необходимо занести в таблицу 4.1.

**Таблица 4.1 – Химический состав растений**

| Показатель                   | Культура           |                    |
|------------------------------|--------------------|--------------------|
|                              | Основная продукция | Побочная продукция |
| Урожайность, т/га            |                    |                    |
| Влага, %                     |                    |                    |
| Сухое вещество, %            |                    |                    |
| Содержание сырой золы, %     |                    |                    |
| Содержание азота, %          |                    |                    |
| Содержание сырого белка, %   |                    |                    |
| Вынос азота урожаем, кг/га   |                    |                    |
| Содержание фосфора, %        |                    |                    |
| Вынос фосфора урожаем, кг/га |                    |                    |
| Содержание калия, %          |                    |                    |
| Вынос калия урожаем, кг/га   |                    |                    |
| Содержание кальция, %        |                    |                    |
| Содержание магния, %         |                    |                    |
| Содержание белка, %          |                    |                    |
| Сбор белка, кг/га            |                    |                    |
| Содержание жира, %           |                    |                    |
| Сбор жира, кг/га             |                    |                    |

При этом вынос элементов питания с основной продукцией рассчитать по формуле (4.1):

$$B = \frac{Y \cdot C \cdot K}{100} \quad (4.1)$$

где В – вынос элементов питания, кг/га;

У – урожай, т/га;

С – сухое вещество в урожае, %;

К – содержание элемента питания в урожае, %;

100 – коэффициент пересчета.

Результаты анализа овощных и кормовых культур требуется привести в таблице 4.2.

**Таблица 4.2 – Качественные показатели урожая овощных и кормовых культур**

| Показатель         | Культура, вид корма |  |  |  |
|--------------------|---------------------|--|--|--|
|                    |                     |  |  |  |
| Нитраты, мг/кг     |                     |  |  |  |
| Крахмал, %         |                     |  |  |  |
| Клетчатка, %       |                     |  |  |  |
| Сахар, %           |                     |  |  |  |
| Кислотность, мг/кг |                     |  |  |  |
| Витамин С, мг/кг   |                     |  |  |  |
| Каротин, мг/кг     |                     |  |  |  |

Дать оценку продукции растениеводства по качественным показателям.  
Сравнить отдельные культуры между собой по химическому составу.

---

**СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Дурынина, Е. П. Агрохимический анализ почв, растений и удобрений / Е. П. Дурынина, В. С. Егоров. – М. : Изд-во Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 1998. – 113 с.
2. Лабораторный практикум по агрохимии для агрономических специальностей : учебное пособие / А. Н. Есаулко, В. В. Агеев, А. И. Подколзин [и др.]. – Ставрополь. : АГРУС, 2010 – 276 с.
3. Практикум по агрохимии : учебное пособие / под ред. В. В. Кидина. – М. : КолосС, 2008. – 599 с.
4. Практикум по агрохимии : учебное пособие / под ред. В. Г. Минеева. – М. : Изд-во Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 2001. – 689 с.
5. Практикум по агрохимии : учебное пособие / под ред. Б. А. Ягодина. – М. : Агропромиздат, 1987. – 512 с.
6. Сборник методов исследования почв и растений / В. П. Ковальчук, В. Г. Васильев, Л. В. Бойко [и др.]. – Киев. : Труд-ГриПол – XXI вік, 2010. – 252 с.
7. Учебное пособие по экологической агрохимии / О. Ю. Лобанкова, А. Н. Есаулко, В. В. Агеев [и др.]. – Ставрополь. : АГРУС, 2012. – 173 с.
8. Фокин, С. А. Химический состав растений и определение потребности в питательных веществах : методические указания / С. А. Фокин. – Благовещенск. : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2012. – 66 с.

*Учебное издание*

*Фокин Сергей Алексеевич, кандидат сельскохозяйственных наук*

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, КАЧЕСТВО УРОЖАЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ПОТРЕБНОСТИ РАСТЕНИЙ В ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВАХ**

Практикум

Подписано в печать 27.12.2021 г.  
Формат 60х90/16. Уч.-изд. л – 5,26. Усл. печ. л. – 8,8.  
Печать по требованию. Заказ 6.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»

---

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии  
Дальневосточного государственного  
аграрного университета  
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86

