

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова  
Кафедра ботаники и микробиологии

**О. А. Маракаев**

# **ЭКОЛОГИЯ ОРГАНИЗМОВ**

*Методические указания  
к разделу «Экология растений»*

*Рекомендовано  
Научно-методическим советом университета  
для студентов, обучающихся по направлению  
Экология и природопользование*

Ярославль 2012

УДК 502.171(072)

ББК Б1я73

М 25

*Рекомендовано  
редакционно-издательским советом ЯрГУ  
в качестве учебного издания. План 2012 года*

Рецензент

кафедра ботаники и микробиологии

Ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова

**Маракаев, О. А. Экология организмов:** методические указания к разделу «Экология растений» / О. А. Маракаев; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. – Ярославль : ЯрГУ, 2012. – 56 с.

М 25

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) и включают содержание лабораторных работ по разделу «Экология растений», вопросы для обсуждения, списки основной и дополнительной литературы по темам занятий. В приложении приведены справочные материалы, необходимые студентам на лабораторных занятиях.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям 022000.62 Экология и природопользование, 020800.62 Экология и природопользование (дисциплина «Экология организмов», цикл БЗ, блок ОПД) очной формы обучения.

Ил. 3. Табл. 16. Библиогр. 38.

УДК 502.171(072)

ББК Б1я73

© Ярославский государственный  
университет им. П. Г. Демидова, 2012

## Введение

Экология растений – один из разделов классической экологии (от греч. *oikos* – дом, жилище, местообитание и *logos* – слово, учение), рассматривающей отношения живых организмов и образуемых ими сообществ между собой и с окружающей средой. Экология растений раскрывает процессы взаимодействия растений и их совокупностей со средой, а также факторы, влияющие на эти процессы. Раздел «Экология растений» является обязательной частью дисциплины «Экология организмов», реализуемой в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению 022000 «Экология и природопользование» по профилю «Экология». Результатом освоения дисциплины должно стать формирование у студента профессиональных компетенций, связанных с развитием способностей к пониманию, изложению и критическому анализу базовой информации в области экологии (ПК-6), а также с приобретением знаний теоретических основ биогеографии, экологии животных, растений и микроорганизмов (ПК-8).

Согласно Примерной основной образовательной программе высшего профессионального образования по направлению подготовки 022000 «Экология и природопользование» основной целью дисциплины является формирование представлений о взаимодействии окружающей среды и растений, влиянии различных абиотических и биотических факторов на растительные организмы и растительность. Задачи дисциплины: 1) изучение влияния экологических факторов среды на жизнь растений; 2) получение представлений об адаптациях растений к условиям среды обитания; 3) изучение влияния растений и их сообществ на экологический режим местообитаний; 4) освоение методов исследования растений, необходимых для решения актуальных экологических задач.

Программа раздела «Экология растений» предусматривает рассмотрение влияния абиотических и биотических факторов среды на растительные организмы и их сообщества. Подробно изучаются экологические группы растений, их адаптации к факторам среды. Приспособления растений рассматриваются на организменном (молекулярном, клеточном, тканевом, органном), популяционном, фитоценоотическом и биогеоценоотическом уровнях. На лаборатор-

ных занятиях решаются четыре основные задачи – обсуждаются вопросы по теме занятия, осуществляется текущий контроль успеваемости, студенты осваивают методы исследований и изучают влияние экологических факторов на растения.

Обсуждение вопросов по теме занятия сопровождается анализом разнообразной теоретической информации, полученной студентами на лекциях и найденной самостоятельно, в том числе в сети Интернет. Целью обсуждения является экстраполяция общих вопросов экологии растений на конкретные экологические ситуации, растительные объекты и их адаптации. Используются активные формы проведения занятий: дискуссии, работа в малых группах, творческие задания, деловые и ролевые игры, разбор ситуаций, структурирование проблем с помощью метаплана. В настоящих методических указаниях для оптимизации подготовки студентов к лабораторным занятиям приведены вопросы для обсуждения по темам, основная и дополнительная литература.

Текущий контроль успеваемости включает оценку знаний, умений и навыков студентов, необходимых для формирования обеспечиваемых дисциплиной элементов компетенций. Проверка знаний осуществляется с помощью тестирования, в том числе с использованием программных средств, а также при фронтальном опросе, проводимом по вопросам темы занятия. Умения и навыки оцениваются по результатам самостоятельной работы студентов, которая заключается в подготовке реферата и его защите. Исследовательские навыки оцениваются по результатам проверки лабораторного журнала и собеседования, в котором студенты должны уметь сопоставить собственные экспериментальные результаты с имеющимися теоретическими данными.

Освоение методов исследования обеспечивается выполнением лабораторных работ. Их содержание в основном посвящено изучению структурных и физиологических адаптаций растительных организмов. На лабораторных занятиях студенты осваивают методы анатомических, морфологических, физиологических и биохимических исследований растений. Особое внимание уделяется методам статистической обработки данных по экологии растений. Интерактивные занятия проводятся в виде отработки навыков самостоятельного определения степени влияния на растения абиотических и биотических факторов среды, описания адап-

тационных возможностей представителей различных экологических групп. Занятия, связанные с освоением методов исследования, проводятся в лаборатории с использованием специального оборудования и материально-технического обеспечения.

Изучение влияния экологических факторов на растительные организмы осуществляется студентами в рамках выполнения экспериментальных исследований на лабораторных занятиях. Рассматриваются абиотические и биотические факторы среды. В качестве объектов исследования используются представители разных экологических групп растений. Работы проводятся как с живым (растения, собранные в естественных местообитаниях; выращенные в теплице, лаборатории, условиях вегетационного опыта; полученные в культуре *in vitro* и др.), так и с фиксированным растительным материалом. Используются тематический гербарий, постоянные микро- и макроскопические препараты, данные полевых экологических исследований растений и др. Предметом изучения являются анатомические, морфологические, физиологические, биохимические и общебиологические адаптации растений.

## Тема 1. Свет как экологический фактор

Свет играет особенно важную роль в жизнедеятельности растений и занимает центральное место в регуляции фотосинтеза. Энергия света является движущей силой фотосинтеза и запасается в продуктах его реакций. Свет обусловил появление и развитие царства растений, так как используется растительными организмами в процессе питания как источник энергии. Растения в ходе длительной эволюции максимально приспособились для поглощения света и его использования. Действие светового фактора определяет рост и развитие растительных организмов на всех уровнях их организации – организменном, органном, тканевом, клеточном и молекулярном.

### **Работа № 1. Экологические группы растений по отношению к свету**

**Цель работы:** выявить анатомо-морфологические особенности растений в связи с их адаптациями к световому режиму местообитаний.

**Объекты исследований:** растения разных экологических групп – гелиофиты, теневыносливые и сциофиты.

**Материалы и оборудование:** гербарные образцы, определители, справочная литература.

По положению светового оптимума и кардинальных точек светового довольствия различают три экологические группы растений – *гелиофиты* (световые, или светолюбы), *теневыносливые* и *сциофиты* (теневые, или тенелюбы). *Гелиофиты* (от греч. *helios* – солнце) встречаются почти исключительно на открытых местообитаниях, их световое довольствие  $L_{opt}$  составляет примерно 100%. Выделяют *факультативные гелиофиты* – виды, лучше растущие при некотором затенении, и *облигатные гелиофиты* – виды, которые не могут расти при затенении. *Теневыносливые виды* растут при полном дневном свете, но несколько лучше развиваются при некотором затенении. Их  $L_{max}$  всегда равно 100%, а  $L_{min}$  в зависимости от видовой принадлежности может находиться на разном уровне. *Сциофиты* (от греч. *skia* – тень) в естест-

венных условиях не растут на полном свете. Их  $L_{\max}$  всегда меньше 100%, а  $L_{\min}$  всегда ниже, чем у теневыносливых видов. По способности расти на свету или в тени среди сциофитов различают *факультативные* и *облигатные* виды.

### ***Ход работы***

Изучают видовое разнообразие гелиофитов, теневыносливых видов и сциофитов по гербарным материалам. Характеризуют их внешний облик, выделяют основные анатомо-морфологические особенности в связи с адаптациями к световому режиму (недостатку и избытку света). Результаты оформляют в виде табл. 1.

В первой графе указывают русское и латинское названия вида, во второй – его потребность в свете, в третьей – продолжительность жизни (одно-, дву- или многолетник), в четвертой – жизненную форму по классификации К. Раункиера (приложение А), в пятой – анатомо-морфологические особенности. При выявлении последних целесообразно придерживаться следующего плана:

- тип подземных органов (корни, корневища, метаморфозы и т. д.);
- строение стебля (положение в пространстве, ветвление, форма, характер поверхности, окраска, опушение, метаморфозы и т. д.);
- почки, их расположение и строение (величина, форма, окраска, чешуи, характер прикрепления к стеблю и т. д.);
- листорасположение и особенности листьев (простые или сложные, форма листовой пластинки, край, жилкование, цвет, размер, наличие волосков, кутикулы, метаморфозы и т. д.);
- соцветие или одиночные цветки (их строение, окраска, размер и т. д.);
- плод (тип, форма, цвет, размер, способы распространения и т. д.).

Таблица 1

Название вида (русское и латинское)	Характери- стика место- обитания	Продолжитель- ность жизни	Жизненная форма по Раункиеру	Анатомо-мор- фологические особенности
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>

Проводят характеристику не менее трех видов растений из каждой экологической группы. Делают вывод о влиянии светового режима местообитаний на анатомо-морфологические особенности растений.

## ***Работа № 2. Влияние уровня освещения на площадь поверхности листьев растений***

***Цель работы:*** определить изменение площади листовой поверхности у растений в зависимости от интенсивности освещения.

***Объекты исследований:*** растения, выросшие в условиях высокой и низкой интенсивности освещения.

***Материалы и оборудование:*** электронные весы, ножницы, пинцет, линейка, маркер, карандаш, марля, фильтровальная бумага, плотная бумага, пробочные сверла диаметром 5–10 мм, бюксы.

Важным фактором, определяющим фотосинтетическую продуктивность растений, является площадь поверхности листьев. Этот показатель используется для характеристики светопоглощения и позволяет оценивать интенсивность фотосинтеза на единицу листовой поверхности в расчете на растение или фитоценоз. Площадь поверхности листьев используется при вычислении важнейшей экологической характеристики – индекса листовой поверхности (ИЛП). Он показывает отношение общей площади листьев к площади поверхности почвы, над которой они находятся. Обычно ИЛП выражают в квадратных метрах площади листьев на 1 м<sup>2</sup> поверхности почвы. Используемые в работе методы определения площади поверхности листьев наиболее доступны, просты и производительны, что делает их особенно ценными при проведении экологических исследований.

### ***Ход работы***

***1-й метод.*** Отбирают среднюю пробу листьев и определяют их массу. Затем из каждого листа выбивают сверлом определенного диаметра несколько высечек, объединяют вместе и устанавливают их массу. Диаметр сверла выбирают в зависимости от размеров листовой пластинки и ее поверхностной плотности. Зная площадь одной высечки ( $S = \pi r^2$ ), вычисляют площадь всех высечек. Определяют площадь листьев растений из пропорции:



$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{s_1}{s_2}, \quad s_2 = \frac{m_2 \cdot s_1}{m_1},$$

где  $m_1$  – общая масса сырых высечек (г);  $s_1$  – общая площадь высечек ( $\text{см}^2$ );  $m_2$  – общая масса сырых листьев (г);  $s_2$  – общая площадь листьев ( $\text{см}^2$ ).

**2-й метод.** Вырезают из бумаги квадрат известной площади, например  $100 \text{ см}^2$ , и взвешивают. Накладывают на бумагу, из которой вырезали квадрат, исследуемый лист растения, аккуратно обводят карандашом листовую пластинку, вырезают и взвешивают полученную бумажную фигуру. Площадь листа вычисляют по пропорции:

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{s}, \quad s = \frac{b \cdot c}{a},$$

где  $a$  – масса квадрата (г);  $b$  – масса бумажной фигуры (г);  $c$  – площадь квадрата ( $\text{см}^2$ );  $s$  – площадь листа ( $\text{см}^2$ ).

**3-й метод.** Используют при определении площади листьев у злаковых культур. Измеряют с помощью линейки ширину листа у основания и его длину. Расчет ведут по формуле площади линейных листьев:

$$S = \frac{2}{3} \cdot a \cdot b,$$

где  $S$  – площадь листа ( $\text{см}^2$ );  $a$  – ширина листа у его основания (см);  $b$  – длина листа (см).

Этот метод не требует срезания листьев с растения для определения их площади. Измерение параметров листа можно проводить на живом растении и повторять неоднократно в течение эксперимента в целях установления изменения площади фотосинтезирующей поверхности.

Результаты работы оформляют в виде табл. 2. Вычисляют средние значения площади поверхности листьев растений в разных вариантах опыта. Оценивают точность и достоверность различий полученных данных (работа 17).

Таблица 2

Объект	Вариант опыта	Повторность	1-й метод				2-й метод				3-й метод		
			$m_1$	$m_2$	$s_1$	$S$	$a$	$b$	$c$	$S$	$a$	$b$	$S$
						листа				листа			листа

Делают вывод о влиянии уровня освещения на формирование фотосинтезирующей поверхности листьев растений в зависимости от видовой принадлежности.

### ***Работа № 3. Определение содержания хлорофилла в листьях гелиофитов и сциофитов***

***Цель работы:*** выявить различия по содержанию хлорофилла в листьях гелиофитов и сциофитов.

***Объекты исследований:*** листья гелиофитов и сциофитов, световые и теневые листья в кроне дерева или кустарника.

***Материалы и оборудование:*** электронные весы, ножницы, калька, фарфоровая ступка и пестик,  $\text{CaCO}_3$ , скальпель, штатив с пробирками, 96%-й этиловый спирт, мерный цилиндр, воронка, стеклянный фильтр, вазелин, стеклянная палочка, фотоэлектроколориметр или спектрофотометр, фильтровальная бумага, стандартный раствор Гетри (приложение В).

Световой режим является одним из определяющих факторов синтеза пигментов в листьях растений. В нормальных зеленых листьях в течение суток обновляется до 10% пигментов. Физиологическое значение процессов обновления хлорофилла состоит в обеспечении содержания в хлоропластах разных метаболитических форм пигментов, необходимых для нормального функционирования фотосинтетического аппарата. При новообразовании хлорофилла обновляется и весь хлорофилл-белковый комплекс, где молодая молекула хлорофилла связана метаболически более активным белком. Это повышает функциональную активность комплекса и предотвращает старение фотосинтетического аппарата. Адаптированные к высоким и низким интенсивностям света растения имеют разное содержание хлорофилла в листьях. В. Н. Любименко более чем на 600 видах показал, что листья теневыносливых растений содержат повышенное количество хлорофилла по сравнению со светолюбивыми. Один и тот же вид растения на свету содержит 1,5–3 мг хлорофилла на 1 г листовой пластинки, а в тени – 4–6 мг/г. Это характеризует степень адаптации растений к различным условиям освещения и определяет неодинаковую потенциальную активность фотосинтетической системы.

### *Ход работы*

Выполнять работу во избежание потерь хлорофилла необходимо быстро, в затененном помещении, желательно на холоде. Измельчают листья ножницами, отбрасывая черешки и крупные жилки, и взвешивают на куске кальки 100–300 мг. Помещают навеску в ступку, добавляют немного (на кончике скальпеля) СаСО<sub>3</sub>, приливают 4–5 мл этилового спирта и тщательно растирают. Смазывают снизу носик ступки вазелином и сливают вытяжку по палочке в воронку со стеклянным фильтром, не теряя ни одной капли. Приливают в ступку еще немного спирта, растирают и снова сливают на фильтр. Повторяют эту операцию 2–3 раза, затем переносят растертую массу на фильтр. Промывают материал спиртом до полного извлечения пигментов (растворитель, стекающий с фильтра, должен стать бесцветным). Переливают вытяжку в мерный цилиндр и доводят спиртом до 15 мл. Закрывают мерный цилиндр пробкой, тщательно перемешивают (переворачивают 3 раза вверх дном и взбалтывают) и хранят до определения в темноте на холоде.

Определяют концентрацию хлорофилла на фотоэлектроколориметре (ФЭКе) по калибровочной кривой или непосредственно на спектрофотометре с использованием формулы для расчета концентрации.

При использовании ФЭКа, его включают за 20 мин до определения, устанавливают стрелку прибора на нулевое деление и красный светофильтр (670 нм). Предварительное освещение фотоэлементов необходимо, поскольку в первые минуты после включения ФЭК может давать неустойчивые показания. Определяют оптическую плотность (D) исследуемой вытяжки пигментов относительно чистого растворителя (96%-й этиловый спирт), используя кюветы с расстоянием между гранями 10 мм. Для предотвращения испарения растворителя закрывают кюветы крышечками. Надежные результаты получаются при показаниях ФЭКа от 0,1 до 0,4. Если оптическая плотность (D) больше 0,5, то вытяжку следует разбавить, отмерив в чистую сухую пробирку определенные объемы вытяжки и этилового спирта. Если же показание ФЭКа окажется ниже 0,08, то необходимо выполнить всю работу сначала, взяв большую навеску.

Повторяют измерение и из полученных данных вычисляют среднее арифметическое. Определяют концентрацию (С, мг/мл) хлорофилла в вытяжке по калибровочному графику: находят на оси ординат соответствующую оптическую плотность, проводят от нее горизонтальную линию и от точки пересечения с калибровочным графиком опускают перпендикуляр на ось абсцисс.

Калибровочный график строят для данного ФЭКа и избранного светофильтра, используя в качестве стандарта раствор Гет-ри, окраска которого эквивалентна раствору хлорофилла концентрации 85 мг/л.

Установив концентрацию хлорофилла в вытяжке, определяют его содержание в исследуемом материале по формуле:

$$A = \frac{C \cdot V}{P \cdot 1000},$$

где А – содержание хлорофилла (мг/г сырой массы); С – концентрация хлорофилла, найденная по калибровочному графику (мг/мл); V – объем вытяжки (мл); Р – вес навески (г).

При использовании спектрофотометра (кювета 10 мм) определяют оптическую плотность (D) вытяжки пигментов при длине волны 654 нм и вычисляют концентрацию хлорофиллов (a+b) по формуле:

$$C = 25,1 \cdot D_{654} \text{ (мг/мл)}.$$

Результаты анализов и расчетов записывают в табл. 3. При необходимости содержание хлорофилла выражают в миллиграммах на единицу сырой или сухой массы, на единицу площади листа и в % от сухой (сырой) массы.

Таблица 3

Объект	Навеска (г)	Объем вытяжки (мл)	Оптическая плотность (D)	Концентрация хлорофилла (мг/мл)	Содержание хлорофилла (мг/г сырой массы)

Данные по содержанию хлорофилла в листьях изученных видов растений в разных условиях освещения обобщают в табл. 4.

Таблица 4

Объект	Экологическая группа	Условия освещения	Содержание хлорофилла (мг/г сырой массы)

В выводах сопоставляют и объясняют различное содержание хлорофилла в листьях растений в зависимости от принадлежности видов к гелиофитам и сциофитам, а также условий освещения.

### Вопросы для обсуждения

1. Значение света в жизни растений. Характеристики света – спектральный состав, интенсивность, продолжительность.
2. Гелиофиты: световое довольствие, анатомо-морфологические и физиологические особенности. Примеры.
3. Теневыносливые виды растений: световое довольствие, анатомо-морфологические и физиологические особенности. Примеры.
4. Сциофиты: световое довольствие, анатомо-морфологические и физиологические особенности. Примеры.
5. Оценка параметров фотосинтетического аппарата растений в разных условиях освещенности. Индекс листовой поверхности.
6. Приспособления растений для улавливания и поглощения световой энергии. Методы исследования фотосинтетических пигментов.
7. Методы определения интенсивности фотосинтеза растений. Значение для экологических исследований.
8. Экологические подходы к изучению продуктивности растений в естественных фитоценозах и контролируемых условиях выращивания.

### Рекомендуемая литература

1. Андрианова, Ю. Е. Хлорофилл и продуктивность растений / Ю. Е. Андрианова, И. А. Тарчевский. – М. : Наука, 2000. – 135 с.
2. Беляева, О. Б. Светозависимый биосинтез хлорофилла / О. Б. Беляева. – М. : Бином, 2009. – 232 с.
3. Маракаев, О. А. Экологическая физиология растений: фотосинтез и свет / О. А. Маракаев. – Ярославль : ЯрГУ, 2005. – 95 с.

4. Минеева, Н. М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ / Н. М. Минеева. – М. : Наука, 2004. – 156 с.

5. Мокроносов, А. Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты / А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М. : Академия, 2006. – 448 с.

## **Тема 2. Тепло как экологический фактор**

Роль тепла в жизни растений многообразна. Оно влияет практически на все процессы жизнедеятельности – фотосинтез, дыхание, транспирацию, прорастание семян, рост побегов, цветение и многое другое. Разные виды нуждаются в тепле неодинаково, поэтому разнообразие тепловых условий на планете во многом определяет границы ареалов, топографическое размещение, а также зональную структуру растительного покрова. Растения как типичные пойкилотермные организмы, температура которых определяется температурой среды, способны существовать только в определенном температурном интервале. У большинства растений активная жизнь протекает в пределах от 0 до +50°C. Отдельные виды способны существовать и при более высоких (суккуленты до +60°C), и при более низких (морозостойкие растения в период покоя до –196°C) температурах. Температурные минимумы для многих растений лежат в интервале 5–10°C, оптимумы – при 15–30°C, максимумы – при 37–50°C. Основным свойством термотолерантных видов растений является способность адекватно реагировать на любые изменения температуры и сохранять в стрессовых условиях гомеостаз.

### ***Работа № 4. Экологические группы растений по отношению к теплу***

***Цель работы:*** выявить анатомо-морфологические особенности растений в связи с их адаптациями к тепловому режиму местообитаний.

***Объекты исследований:*** растения разных экологических групп – мегатермы (термофилы), микротермы (криофилы) и мезотермы.

***Материалы и оборудование:*** гербарные образцы, определители, справочная литература.

Существуют разнообразные классификации растений по отношению к теплу. Согласно А. Декандоллю, выделяют *мегистермы*, *мегагермы*, *ксерогермы*, *мезогермы*, *микрoгермы*, *гекистермы*. Классификация Г. Элленберга включает группы *крайне морозостойких*, *холодостойких*, *среднехолодостойких*, *теплолюбивых*, *очень теплолюбивых* и *индифферентных* растений. В зависимости от температурных кривых жизнедеятельности и положения их кардинальных точек различают *мегагермы*, *микрoгермы* и *мезогермы*. *Мегагермы* (термофилы) – теплолюбивые виды с оптимумом в области повышенных температур. Они обитают в тропиках и субтропиках, а в умеренных поясах – в сильно прогреваемых местах. *Микрoгермы* (криофилы) – холодолюбивые растения с оптимумом в области низких температур. Эти виды произрастают в полярных и высокогорных областях или занимают холодные местообитания. *Мезогермы* – промежуточная по отношению к первым двум группа, включающая растения умеренного климата.

### ***Ход работы***

Изучают по гербарным материалам видовое разнообразие экологических групп растений по отношению к теплу. Характеризуют их внешний облик, выделяют основные анатомо-морфологические особенности в связи с адаптациями к недостатку и избытку тепла. При этом руководствуются планом описания, приведенным в работе 1. Результаты оформляют в виде табл. 1, отмечая при характеристике местообитаний потребность растений в тепле.

Проводят характеристику не менее трех видов растений из каждой экологической группы. Делают вывод о влиянии теплового режима местообитаний на анатомо-морфологические особенности растений.

### ***Работа № 5. Влияние температуры на интенсивность транспирации листьев***

***Цель работы:*** выявить влияние температуры на интенсивность транспирации.

***Объекты исследований:*** листья растений разных экологических групп.

**Материалы и оборудование:** электронные весы, ножницы, скальпель, парафин, чашки Петри, нитки, миллиметровая и фильтровальная бумага, водяная баня, термостат.

Факторы среды регулируют степень открытости устьиц и оказывают влияние на процесс транспирации – потерю воды надземными органами растения. С повышением температуры значительно увеличивается количество паров воды, которое насыщает данное пространство. Это приводит к повышению дефицита влажности и, как следствие, увеличению транспирации. Интенсивность транспирации – это количество воды, которое тратится единицей листовой поверхности в единицу времени. Отношение интенсивности транспирации к интенсивности эвапорации – испарения со свободной водной поверхности, при тех же условиях, – называется относительной транспирацией. Этот показатель характеризует способность растений регулировать транспирацию. Простым и точным методом учета транспирации является метод быстрого взвешивания. Побег или отдельный лист срезают и дважды взвешивают с интервалом во времени. Установленное этим методом уменьшение массы органов соответствует количеству потраченной воды.

### ***Ход работы***

Кончики черешков листьев опускают в расплавленный на водяной бане парафин для предотвращения потери воды через сосуды и взвешивают ( $m_0$ ). Определяют площадь поверхности листьев согласно работе 2 (2-й метод). После этого листья помещают в термостаты с разной температурой: +20 и +30°C. Последующие взвешивания листьев проводят через 1 и 2 часа. Результаты оформляют в виде табл. 5.

Таблица 5

Объект	Температура	Масса листьев (г)			Потеря воды (г)		Потеря воды от исходной массы (%)		Площадь листа (см <sup>2</sup> )
		$m_0$	1 ч	2 ч	1 ч	2 ч	1 ч	2 ч	

Одновременно определяют интенсивность эвапорации – свободного испарения. Для этого взвешивают две чашки Петри, на-



полненные почти до краев водой. При этом наружная поверхность чашек должна быть совершенно сухой. Чашки Петри помещают в термостаты с температурами +20 и +30°C. Через 1 и 2 часа делают повторные взвешивания. Определяют испаряющую поверхность, измеряя внутренний диаметр чашки Петри.

Интенсивность транспирации  $I_T$  (г/м<sup>2</sup> · ч) вычисляют по формуле:

$$I_T = \frac{n \cdot 10000 \cdot 60}{s \cdot t},$$

где  $n$  – количество испарившейся воды (г);  $s$  – площадь (см<sup>2</sup>);  $t$  – экспозиция (мин); 10000 – коэффициент перевода см<sup>2</sup> в м<sup>2</sup>; 60 – коэффициент перевода минут в часы.

Интенсивность эвапорации  $I_{\text{э}}$  (г/м<sup>2</sup> · ч) вычисляют по этой же формуле. Рассчитывают относительную транспирацию:

$$I_T = \frac{I_T}{I_{\text{э}}}.$$

Величина относительной транспирации менее 0,5 считается низкой. Результаты по разным видам растений и вариантам температуры обобщают в табл. 6.

Таблица 6

Объект	Температура	Повторность	$I_T$ (г/м <sup>2</sup> · ч)	$I_{\text{э}}$ (г/м <sup>2</sup> · ч)	$I_T / I_{\text{э}}$

Результаты работы представляют графически. На основании величины относительной транспирации делают вывод о регуляции листьями разных видов растений процесса транспирации в зависимости от температурных условий.

### **Работа № 6. Определение температурного порога жаростойкости растений плазмолитическим методом**

**Цель работы:** выявить устойчивость клеток растений к высокой температуре по показателю плазмолиза.

**Объекты исследований:** листья растений разных экологических групп.

**Материалы и оборудование:** 1 М раствор сахарозы в капельнице, 0,02%-й раствор нейтрального красного (приложение В), стаканы химические большие, пробирки, большая колба,

электроплитка, термометр, лезвие бритвы, препаровальная игла, кисточка, микроскоп, предметные и покровные стекла, кусочки фильтровальной бумаги, маркер по стеклу.

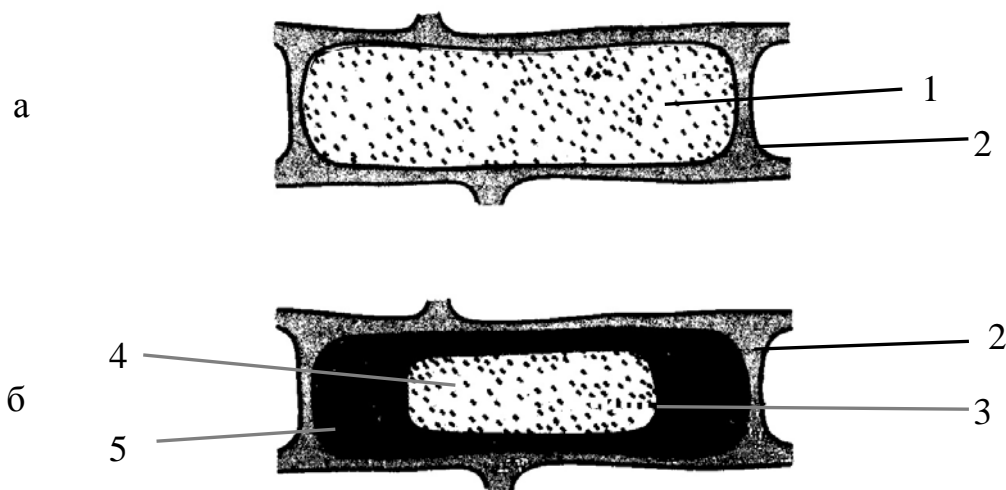
Длительное и регулярное воздействие крайне неблагоприятных температур растения выдерживают, если цитоплазма их клеток обладает жаро- или морозоустойчивостью. Эти свойства связаны с синтезом белка и протекторных веществ, что обусловлено генетически и поэтому у разных видов выражено неодинаково. По температурным максимумам выделяют следующие термотолерантные группы: 38,5–41,5°C – водные растения (лотос желтый *Nelumbo lutea*), 40,5–42,5°C – теневые наземные растения (кислица *Oxalis sp.*, бальзамин *Impatiens sp.*), 45–46°C – растения затененных мест (гравилат *Geum sp.*, чистотел *Chelidonium sp.*), до 48°C – растения солнечных и сухих местообитаний (гвоздика *Dianthus sp.*, коровяк *Verbascum sp.*), 50–54°C – суккуленты (очиток *Sedum sp.*). Для определения первичной теплоустойчивости часто используют регистрацию остановки движения цитоплазмы, подавление способности к плазмолизу и др. Температура, при которой в течение 10 мин полностью коагулируют белки цитоплазмы, считается условной границей жаростойкости растений. Гибель клеток устанавливают по потере ими способности плазмолизироваться.

### **Ход работы**

Приготавливают 12 срезов эпидермиса листа исследуемого растения и помещают по два среза в пробирки с небольшим количеством водопроводной воды.

Нагревают в большой колбе воду. Смешивая горячую воду с холодной, в шести химических стаканах готовят водяные бани с температурами 48, 50, 52, 54, 56 и 58°C. На каждом стакане с помощью маркера по стеклу указывают соответствующую температуру. В водяные бани погружают пробирки со срезами, поддерживают установленную температуру путем осторожного подливания в стаканы горячей воды. Через 10 мин из пробирок кисточкой извлекают срезы и переносят на предметные стекла, на которых предварительно следует указать соответствующую температуру. Если клетки не содержат пигментов, то их окрашивают, вы-

держивая в течение 5–10 мин в растворе нейтрального красного. Затем раствор красителя убирают фильтровальной бумагой и наносят на срезы по капле 1 М раствора сахарозы. Срезы накрывают покровными стеклами и через 15–20 мин рассматривают под микроскопом. Отмечают наличие и отсутствие плазмолиза в клетках исследуемых видов растений (рис. 1).



*Рис. 1. Плазмолиз в клетке:*

*а – тургоресцентная клетка, б – плазмолизированная клетка  
(1 – протопласт прижат к клеточной стенке давлением, создаваемым центральной вакуолью, 2 – клеточная стенка, 3 – клеточная мембрана, 4 – сжавшийся протопласт, 5 – раствор сахарозы)*

Результаты оформляют в виде табл. 7, обозначая знаком «+» наличие и знаком «–» отсутствие плазмолиза.

Таблица 7

Объект	Температура (°C)					
	48	50	52	54	56	58

Делают выводы, сопоставляя температурный порог коагуляции белков цитоплазмы у разных видов растений, объясняют полученные результаты.

### Вопросы для обсуждения

1. Роль температуры как экологического фактора в жизни растений и их сообществ. Тепло и температура. Единицы измерения.

2. Холодостойкость. Приспособления растений к пониженной температуре. Способы повышения устойчивости.

3. Морозостойкость. Приспособления растений к низким отрицательным температурам. Искусственное закаливание растений.

4. Зимостойкость. Механические повреждения морозом, его иссушающее действие. Роль снежного покрова в регулировке теплового режима.

5. Жаростойкость. Приспособления растений к высокой температуре: анатомо-морфологические, физиологические, онтогенетические. Способы повышения устойчивости.

6. Влияние температуры на процессы жизнедеятельности растений – фотосинтез, дыхание, водный обмен, минеральное питание.

7. Защитные приспособления растений: снижение транспирации, листопад, зимний покой. Стратификация. Яровизация.

8. Длительность вегетационного периода и ритмика вегетации, их обусловленность температурами. Суммы тепла. Фенологические явления.

### **Рекомендуемая литература**

1. Колесниченко, А. В. Белки низкотемпературного стресса растений / А. В. Колесниченко, В. К. Войников. – Иркутск : Арт-Пресс, 2003. – 196 с.

2. Устойчивость растений в начальный период действия неблагоприятных температур / А. Ф. Титов, Т. В. Акимова, В. В. Таланова, Л. В. Топчиева. – Петрозаводск : Институт леса КарНЦ РАН, 2006. – 144 с.

3. Чиркова, Т. В. Физиологические основы устойчивости растений / Т. В. Чиркова – СПб. : СПбГУ, 2002. – 244 с.

### **Тема 3. Вода как экологический фактор**

Процессы водоснабжения – центральная экологическая проблема наземных растений. Пойкилогидрические растения не способны регулировать свой водообмен. Это многие эпифитные и почвенные водоросли, лишайники, некоторые мхи, папоротниковобразные и некоторые покрытосеменные растения. Гомойогидрические растения – это покрытосеменные высшие растения, ко-

которые регулируют свой водный режим. Некоторые из них способны выносить значительное обезвоживание, но оно не доходит до воздушно-сухого состояния, и эти растения не способны впадать в анабиоз. Этой способностью обладают только семена. Водные местообитания, где растения не испытывают затруднений в водоснабжении, очень разнообразны, но они создают для растений ряд экологических проблем, связанных с тепловым режимом, газообменом, химизмом, освещением и др. Все растения на 50–98% состоят из воды. Даже сухие части их в состоянии анабиоза (почвенные водоросли, семена, споры) содержат воду. Без воды невозможен ни один физиологический процесс.

### ***Работа № 7. Экологические группы растений по отношению к водному режиму***

***Цель работы:*** выявить анатомо-морфологические особенности растений в связи с их адаптациями к водному режиму местообитаний.

***Объекты исследований:*** растения разных экологических групп – гидрофиты, гигрофиты, мезофиты, ксерофиты.

***Материалы и оборудование:*** гербарные образцы, определители, справочная литература.

*Гидрофиты* (от греч. *hydror* – вода) – растения водных местообитаний, включая водоросли и высшие водные растения (макрофиты). В морях макрофитов мало, а пресноводная флора их очень разнообразна. Согласно Г. И. Поплавской, выделяют *гидатофиты* (полностью погруженные растения – неукореняющиеся и укореняющиеся), *аэрогидатофиты* (растения с плавающими листьями – неукореняющиеся и укореняющиеся), собственно *гидрофиты* (растения с листьями, расположенными над водой). *Гигрофиты* (от греч. *hygros* – влажный) – растения влажных местообитаний. Среди них выделяют *тенивые гигрофиты*, обитающие в сырых и тенистых лесах, и *световые гигрофиты*, растущие в местообитаниях с высоким увлажнением и освещением. В отдельную группу относят растения болот – *гелофиты* (от греч. *helos* – болото). Их местообитания характеризуются обильным застойным увлажнением с низким уровнем кислорода. *Мезофиты* – растения умеренно увлажненных место-

обитаний. Эту группу составляют растения как с «типичным» мезоморфным строением, так и с разными отклонениями в сторону гигро- или ксероморфной организации. В связи с этим различают *типичные мезофиты*, *ксеромезофиты*, *гигромезофиты*, *психромезофиты* и т. д. *Ксерофиты* (от греч. *xeroh* – сухой) – растения, приспособившиеся к жизни в засушливых местах. По анатомо-морфологическому строению и характеру адаптаций к засухе среди них выделяют *суккуленты* (от лат. *succulentus* – сочный) – растения с сильно развитой водозапасающей паренхимой, и *склерофиты* (от греч. *scleros* – твердый) – растения с сухими жесткими листьями, имеющими толстую кутикулу и развитые механические ткани.

### ***Ход работы***

Изучают видовое разнообразие гидрофитов, гигрофитов, мезофитов и ксерофитов по гербарным материалам. Характеризуют их внешний облик, выделяют основные анатомо-морфологические особенности в связи с адаптациями к водному режиму местообитаний (недостатку и избытку воды) и жизни в водной среде. При этом руководствуются планом описания, приведенным в работе 1. Результаты оформляют в виде табл. 1, отмечая при характеристике местообитаний потребность растений в воде.

Проводят характеристику не менее трех видов растений из каждой экологической группы. Делают вывод о влиянии водного режима местообитаний на анатомо-морфологические особенности растений.

### ***Работа № 8. Структурно-функциональные особенности устьичного аппарата растений разных экологических групп***

***Цель работы:*** выявить структурно-функциональные особенности устьичного аппарата у гигрофитов, мезофитов и ксерофитов.

***Объекты исследования:*** листья растений разных экологических групп.

***Материалы и оборудование:*** лезвие бритвы, препаровальная игла, микроскоп, окуляр- и объектмикромметр, цифровой микроскоп, компьютер, программа для анализа изображений, секундомер, предметные и покровные стекла, стакан с водой, стеклянная

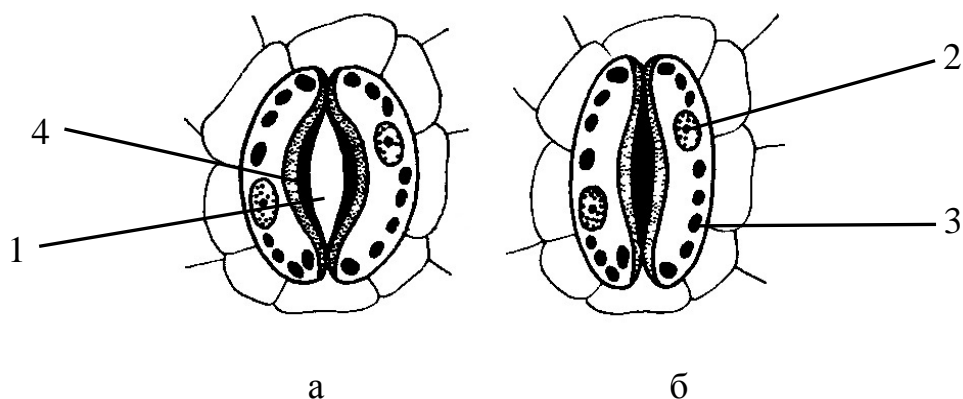
палочка, 1 М раствор сахарозы в капельнице, 3%-й раствор глицерина в капельнице, кусочки фильтровальной бумаги.

Устьица – одно из оригинальных приспособлений, обладающих способностью регулировать потерю воды растением (транспирацию). Каждое устьице состоит из двух замыкающих клеток. Их внутренние стенки, примыкающие к устьичной щели, сильно утолщены, а наружные остаются тонкими. Неодинаковая толщина внутренних и наружных стенок замыкающих клеток приводит к тому, что при изменении тургора замыкающие клетки способны искривляться или распрямляться, открывая или закрывая при этом устьичную щель. Различают гидропассивную реакцию – закрывание устьичных щелей, вызванное переполнением водой окружающих паренхимных клеток и их давлением на замыкающие клетки, и гидроактивную реакцию – открывание и закрывание устьиц, связанные с изменением содержания воды в замыкающих клетках. Потеря воды через устьица обеспечивает непрерывный ее ток от корней к листьям, передвижение минеральных и отчасти органических веществ, охлаждение органов растения при перегреве, получение углекислого газа для фотосинтеза. Число устьиц колеблется в зависимости от вида растений от 10 до 600 на 1 мм<sup>2</sup> листа. Диаметр устьичных щелей составляет 3–12 мкм.

### ***Ход работы***

*Изучение строения и морфометрических параметров устьиц.* Готовят срез нижнего эпидермиса листа, рассматривают в капле воды при большом увеличении микроскопа. Изучают строение устьичного аппарата, выделяя его основные элементы (рис. 2). Зарисовывают устьице и прилегающие к нему клетки.

Под микроскопом с помощью окуляр-микрометра (линейки, вставленной в окуляр) проводят измерения длины и ширины устьичных отверстий (мкм). Для этого предварительно определяют цену деления окуляр-микрометра, установив на столик микроскопа объект-микрометр (стекло с нанесенными на него делениями – одно деление шкалы равно 10 мкм).



*Рис. 2. Строение устьиц у двудольных растений:  
а – открытое устьице; б – закрытое устьице; 1 – устьичная щель;  
2 – ядро; 3 – хлоропласты; 4 – толстая клеточная стенка*

Микроскоп фокусируют на шкалу объект-микрометра, поворачивают окуляр таким образом, чтобы обе линейки (окулярная и объектная) были параллельны. Одну из линий в начале окулярной линейки (слева) совмещают с линией на шкале объект-микрометра. Отмечают такие же совместившиеся линии в конце шкал (справа) и подсчитывают количество мелких делений между ними. Число делений на шкале объект-микрометра умножают на 10 (длина одного деления шкалы в мкм) и делят на число делений по шкале окулярной линейки. Полученная величина – это и есть цена деления окуляр-микрометра в микрометрах. Рассчитанная цена деления действительна только для данного сочетания окуляра и объектива в используемом микроскопе. При другом наборе оптики она меняется и требуется новый расчет. При проведении измерений удобно, если цена деления окулярной линейки рассчитана для различных сочетаний окуляров и объективов используемого микроскопа.

Измерения размеров устьиц можно провести с помощью цифрового микроскопа и программы анализа изображений. В этом случае приготовленные препараты нижнего эпидермиса фотографируют цифровой камерой, установленной на тринокулярном микроскопе. Изображения сохраняют на жестком диске компьютера и используют в дальнейшем для измерения необходимых структур с помощью специального программного обеспечения, позволяющего создавать и применять масштабную линейку.



Длину и ширину измеряют не менее чем у 20 устьиц и устанавливают среднюю величину. Площадь устьичной щели вычисляют по формуле:

$$S = \pi \cdot a \cdot b,$$

где  $a$  и  $b$  – малая и большая полуоси эллипса, то есть половина ширины и длины устьичной щели.

На препарате нижнего эпидермиса при небольшом увеличении микроскопа в нескольких полях зрения подсчитывают число устьиц и эпидермальных клеток. Их число рассчитывают на  $1 \text{ мм}^2$  ( $1000 \text{ мкм} = 1 \text{ мм}$ ). Для этого находят площадь поля зрения микроскопа. Измеряют его диаметр с помощью окуляр-микрометра, вычисляют радиус и определяют площадь по формуле:

$$S = \pi \cdot r^2.$$

Вычисляют общую площадь устьичных отверстий на  $1 \text{ мм}^2$ , умножая число устьиц на среднюю площадь устьичной щели. Площадь, занимаемую всеми устьичными отверстиями, выражают в процентах от общей поверхности листа. Рассчитывают устьичный индекс как отношение числа устьиц к числу эпидермальных клеток, выраженное в процентах. Результаты измерений и расчетов оформляют в виде табл. 8.

Таблица 8

Объект	Размер устьичных отверстий, мкм			Число устьиц на $1 \text{ мм}^2$	Число эпидермальных клеток на $1 \text{ мм}^2$	Общая площадь устьичных отверстий на $1 \text{ мм}^2$	Площадь устьичных отверстий, % от общей поверхности листа	Устьичный индекс, %
	длина	ширина	площадь					

*Наблюдение за работой устьиц.* Рядом с покровным стеклом наносят 2–3 капли 1 М раствора сахарозы, прикладывают с другой стороны кусочек фильтровальной бумаги и сразу приступают к наблюдению за изменением ширины устьичных щелей. Отмечают по секундомеру время закрывания устьиц. Заменяют раствор водой, наблюдают за устьицами и отмечают время, в течение которого они откроются.

Аналогичные опыты проводят, используя 3%-й раствор глицерина. В этом случае устьичные щели также сначала закрываются, а в замыкающих и других клетках эпидермиса происходит плазмолиз. Через некоторое время глицерин начинает проникать через цитоплазму в клеточный сок, наступает деплазмолиз и устьища открываются. Отмечают по секундомеру время закрывания и открывания устьиц. После этого глицерин заменяют водой. С одной стороны рядом с покровным стеклом наносят каплю воды, а с другой прикладывают фильтровальную бумагу. При этом устьища открываются еще шире, чем это было в начале опыта, так как вследствие проникновения глицерина в клеточный сок осмотическое давление в замыкающих клетках повышается. Отмечают время полного открывания устьиц. Результаты этих экспериментов оформляют в виде табл. 9.

Таблица 9

Объект	1 М раствор сахарозы		3%-й раствор глицерина		
	время закрывания, с	время открывания, с	время закрывания, с	время открывания, с	время полного открывания, с

В выводах обсуждают различия параметров устьичного аппарата и скорости движения замыкающих клеток у растений разных экологических групп.

### ***Работа № 9. Определение осмотического давления у гидрофитов, мезофитов и суккулентов***

***Цель работы:*** выявить и сравнить величину осмотического давления у гидрофитов, мезофитов и суккулентов.

***Объекты исследования:*** листья растений разных экологических групп.

***Материалы и оборудование:*** растворы сахарозы от 1 до 0,1 М, дистиллированная вода, небольшие пробирки, пробки к пробиркам, штативы для пробирок, мерные пипетки, рефрактометр, палочка с оплавленным концом, пробочное сверло диаметром 6–8 мм, корковая пробка, препаровальная игла, термометр, стеклянная палочка, маркер по стеклу, кусочки фильтровальной бумаги.

Осмотическое давление – индикатор водного режима растений. Оно подвержено многим изменениям в результате колебаний содержания воды и осмотически активных веществ (коллоидно-химических изменений) в цитоплазме. Осмотическое давление обуславливает силу поглощения воды клеткой – сосущую силу (S):

$$S = \pi^* - p,$$

где  $\pi^*$  – осмотическое давление клеточного сока,  $p$  – тургорное (гидростатическое) давление в клетке, равное противодействию клеточной стенки при ее эластическом растяжении.

Осмотическое давление растет по мере увеличения сухости. Затруднение в водоснабжении обычно ведет к пассивному повышению осмотического давления, затем к изменению структуры цитоплазмы, активному поднятию осмотического давления, повышению засухоустойчивости на клеточном уровне и далее к усилению ксероморфной структуры формируемых органов. Осмотическое давление закономерно меняется при онтогенетическом и сезонном развитии растений. Минимальное, оптимальное и максимальное значения осмотического давления – кардинальные точки гидратуры (оводненности), свойственные отдельным видам растений и являющиеся их экологической характеристикой.

Для определения осмотического давления клеток высечки исследуемой ткани погружают в ряд растворов известной концентрации и подбирают такой раствор, концентрация которого не изменяется. Если погрузить растительную ткань в раствор, осмотический потенциал которого больше водного потенциала клеток, то вода из клеток будет выходить, вследствие чего его концентрация уменьшится. Наоборот, если осмотический потенциал клеток больше водного потенциала раствора, то вода из раствора входит в клетки и он становится более концентрированным. При равенстве осмотического потенциала клеток и раствора не происходит движения воды, поэтому концентрация раствора остается без изменения. Сдвиги концентрации устанавливают при определении показателя преломления – рефрактометрическим методом.

### *Ход работы*

Пробирки тщательно моют, споласкивают дистиллированной водой, высушивают в сушильном шкафу и подписывают маркером. Смешивая соответствующие количества 1 М раствора сахарозы и дистиллированной воды, в больших пробирках готовят по 10 мл растворов следующих концентраций: 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2 и 0,1 М. После тщательного перемешивания в маленькие пробирки отмеряют по 2 мл приготовленных растворов и закрывают их пробками.

Вырезают острым пробочным сверлом диски из листьев недалеко от средней жилки, не захватывая по возможности крупных жилок. Для этого листья поворачивают нижней стороной вверх и подкладывают под них корковую пробку. Раскладывают по 8–10 дисков в маленькие пробирки, закрывают их пробками. Выдерживают диски в растворах 40–60 мин, время от времени встряхивая пробирки и следя за тем, чтобы диски были все время погружены в растворы. Во время опыта при помощи рефрактометра измеряют показатель преломления всех исходных растворов.

Рефрактометр – оптический прибор, с помощью которого определяют показатель преломления луча при прохождении его через призму с нанесенным на нее исследуемым раствором. Показатель преломления зависит от концентрации раствора и температуры. Основная часть рефрактометра – две стеклянные призмы, причем нижняя призма закреплена неподвижно, а верхняя может подниматься и опускаться. Между этими призмами помещают испытуемый раствор: поднимают верхнюю призму, наносят палочкой с оплавленным концом на нижнюю призму 2–3 капли исследуемого раствора сахарозы и немедленно опускают верхнюю призму. Споласкивают палочку в воде и вытирают фильтровальной бумагой. Глядя в окуляр, направляют с помощью зеркала свет в отверстие призмы, совмещают границу светлой и темной частей поля зрения с пересечением линий креста (или пунктирной линией) и делают отсчет по шкале коэффициентов преломления. После каждого определения удаляют с поверхности призм капли раствора сухой фильтровальной бумагой, затем дважды протирают бумагой, смоченной дистиллированной водой, и снова вытирают сухой фильтровальной бумагой.

По истечении 40–60 мин вынимают пробы из растворов паровальной иглой и закрывают пробирки пробками. Определяют концентрации растворов после пребывания в них дисков из листьев с помощью рефрактометра. Определив концентрации исходных растворов и растворов после пребывания в них дисков, находят такой раствор, концентрация которого не изменилась. Результаты работы оформляют в виде табл. 10 и 11.

Таблица 10

Молярность раствора сахарозы	Коэффициент преломления растворов		Концентрация, оставшаяся неизменной, М	Величина осмотического давления, кПа
	исходный	после пребывания дисков		
0,1 0,2				

Величину потенциального осмотического давления (в кПа) рассчитывают по формуле:

$$\pi^* = R \cdot T \cdot C \cdot i \cdot 101,3,$$

где R – газовая постоянная (0,0821 л · атм/град · моль), T – абсолютная температура (273 °C + t<sub>опыта</sub>), C – найденная изотоническая концентрация (М), i – изотонический коэффициент Вант-Гоффа (показатель относительной осмотической силы раствора, для сахарозы равен 1), 101,3 – множитель для перевода атмосфер в килопаскали.

Таблица 11

Объект	Экологическая группа	Величина осмотического давления, кПа

Делают вывод о причинах изменения концентрации растворов и осмотическом давлении у гидрофитов, мезофитов и суккулентов.

## **Вопросы для обсуждения**

1. Роль воды как экологического фактора в жизни растений. Значение различных форм воды. Классификация климатических зон по обеспеченности влагой.

2. Пойкилогидрические и гомойогидрические растения. Влияние экологических факторов на поглощение, транспорт и потерю воды растениями.

3. Особенности водного режима растений разных экологических групп. Анатомо-морфологические адаптации гидрофитов, гигрофитов, мезофитов и ксерофитов к условиям водоснабжения. Примеры.

4. Роль устьичного аппарата в регуляции водного обмена растений. Экологические факторы, влияющие на степень открытости устьиц.

5. Осмотическое давление, его экологическое значение. Растения стеногидрические, эвригидрические, гидростабильные и гидролабильные.

6. Особенности изучения водного обмена растений при организации экологического эксперимента в естественных и моделируемых условиях. Значение параметров водного обмена для оценки состояния растений.

7. Засухоустойчивость, ее экологическое значение. Адаптационные особенности засухоустойчивых растений. Приемы повышения засухоустойчивости. Проблема «физиологической сухости».

8. Избыток влаги. Адаптации растений к затоплению. Явления гипоксии и аноксии. Косвенные последствия затопления.

## **Рекомендуемая литература**

1. Горохова, В. В. Экосистемы болот Ярославской области: состояние и охрана / В. В. Горохова, О. А. Маракаев. – Ярославль : ЯрГУ, 2009. – 160 с.

2. Ершова, А. Н. Метаболическая адаптация растений к гипоксии и повышенному содержанию диоксида углерода / А. Н. Ершова. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 2007. – 262 с.

3. Жолкевич, В. Н. Транспорт воды в растении и его эндогенная регуляция / В. Н. Жолкевич. – М. : Наука, 2001. – 73 с.

4. Ипатова, В. И. Адаптация водных растений к стрессовым абиотическим факторам среды / В. И. Ипатова. – М. : Графикон-принт, 2005. – 224 с.

5. Садчиков, А. П. Гидробиотаника: прибрежно-водная растительность / А. П. Садчиков, М. А. Кудряшов. – М. : Академия, 2005. – 240 с.

## **Тема 4. Воздух как экологический фактор**

Газовая среда является для растений прямодействующим экологическим фактором первостепенного значения. Состав основных компонентов атмосферного воздуха почти постоянен: в сухом состоянии он содержит  $N_2$  – 78,1%,  $O_2$  – 21%,  $CO_2$  – 0,032%,  $Ar$  – 0,9% и др. В воздухе всегда имеется непостоянное количество примесей: пыль, микроорганизмы, споры, пыльца, мелкие семена, газообразные выделения организмов, отходы производств и т. п. Кроме того, в воздухе всегда есть водяной пар, иногда в значительном количестве. Потребляя и выделяя газообразные вещества, растения оказывают большое влияние на атмосферу. Кислород необходим для дыхания, а углекислый газ – для углеродного питания растений. Воздух воздействует на наземные растения и как физическая среда, их окружающая. Существенное экологическое значение для растений имеет движение воздуха – горизонтальное и вертикальное перемещение воздушных масс.

### ***Работа № 10. Адаптационные реакции растений на загрязнение атмосферы токсичными газами***

***Цель работы:*** выявить анатомо-морфологические особенности газочувствительных и газоустойчивых растений; отметить повреждения растений, вызванные промышленным загрязнением атмосферы.

***Объекты исследований:*** растения, различающиеся чувствительностью и устойчивостью к токсичным газам.

***Материалы и оборудование:*** гербарные образцы, определители, справочная литература.

Газочувствительность – скорость и степень проявления у растений патологической реакции при воздействии газа. Газоус-

тойчивость – способность растения противостоять действию газов, сохраняя нормальный рост и развитие. По газоустойчивости отмечено большое разнообразие растений. Она зависит от состояния ассимиляционного аппарата и корневой системы растений, фазы их развития и возраста, интенсивности роста и экологической пластичности видов, эколого-географического происхождения и положения в филогенетической системе. Определение газоустойчивости важно в озеленительной практике, особенно при использовании вечнозеленых растений, листва которых долго подвержена воздействию повреждающих газов.

### *Ход работы*

Изучают по гербарным материалам видовое разнообразие растений, различающихся чувствительностью и устойчивостью к токсичным газам. Характеризуют их внешний облик, выделяют основные анатомо-морфологические особенности в связи с адаптациями к газовому составу атмосферы (высокому уровню токсичных газов). При этом руководствуются планом описания, приведенным в работе 1. Результаты оформляют в виде табл. 1, отмечая при характеристике местообитаний степень загрязнения атмосферы промышленными выбросами.

Одновременно оценивают повреждения растений, вызванные атмосферными загрязнителями. Обращают внимание на реакцию видов при остром и хроническом воздействии газообразных токсикантов. Отмечают изменение окраски листьев (хлороз, покраснение, побурение, побронзовение, металлические блестящие пятна и др.), наличие некрозов – отмерших участков ткани. Выделяют точечные, пятнистые, межжилковые, краевые и верхушечные некрозы. Выявленные повреждения отмечают в табл. 12.

Таблица 12

Объект	Уровень газо-чувствительности	Уровень газо-устойчивости	Изменение окраски листьев	Некрозы	
				Характер поражения	Площадь, %

Проводят характеристику не менее трех газочувствительных и газоустойчивых видов растений. Делают вывод о влиянии газового



состава атмосферы на анатомо-морфологические особенности растений, сравнивают характер повреждений от токсичных газов.

### ***Работа № 11. Определение скорости выделения кислорода растениями разных видов***

***Цель работы:*** оценить скорость выделения кислорода при фотосинтезе у растений разных видов.

***Объекты исследований:*** листья растений разных видов.

***Материалы и оборудование:*** пробочные сверла, стаканчики, 0,5%-й раствор  $\text{NaHCO}_3$ , медицинские шприцы с цилиндром 10 мл, осветитель с лампой мощностью 150 Вт, секундомер.

Появление и накопление кислорода в атмосфере связано с жизнедеятельностью растений. Ежегодно в результате фотосинтеза в атмосферу поступает 70–120 млрд тонн кислорода. Он необходим для дыхания всех гетеротрофов – бактерий, грибов, животных и человека, а также самих растений. Следствием выделения растениями кислорода является образование озонового экрана в верхних слоях атмосферы (на высоте около 25 км), который задерживает большую часть УФ-лучей (240–290 нм), губительно действующих на все живое. Выделяющийся при фотосинтезе кислород накапливается у наземных растений в межклетниках листа, а затем через устьичные щели выходит в атмосферу. Если межклетники наполнены газом, то плотность тканей листа мала и он всплывает на поверхность воды. На этом явлении основан метод определения скорости выделения кислорода при фотосинтезе.

#### ***Ход работы***

Пробочным сверлом из листа делают высечки и инфильтрируют их водой, насыщенной  $\text{CO}_2$ . Инфильтрированные высечки помещают по шесть штук в четыре стаканчика с водой, обогащенной  $\text{CO}_2$ . Один стаканчик ставят в темноту (контроль), другие – на расстоянии 20, 40 и 60 см от осветителя, включают секундомер. Высечки всплывают в разное время в зависимости от интенсивности света в результате вытеснения воды из межклетников кислородом, образующимся при фотосинтезе. Высечки, находящиеся в темноте, не всплывают. Мерой скорости выделения кислорода является время, прошедшее с момента установки

стаканчиков с высечками на свет до всплывания в них 50% высечек. Результаты оформляют в виде табл. 13.

Таблица 13

Объект	Вариант опыта	Время до всплывания 50% высечек (мин)

Делают вывод о скорости выделения кислорода растениями разных видов в зависимости от интенсивности освещения.

### **Вопросы для обсуждения**

1. Газовый состав воздуха – постоянный и непостоянный, его значение для растений.

2. Роль кислорода в воздухе, его происхождение. Значение растений в цикле кислорода. Опасность недостатка кислорода в атмосфере.

3. Кислород в почве как лимитирующий фактор. Приспособления растений к недостатку кислорода в почве. Условия анаэробно-биоза.

4. Экологическое значение углекислого газа как компонента воздуха. Пределы его содержания, изменение концентрации. Значение растений в предотвращении парникового эффекта.

5. Непостоянные компоненты воздуха. Их состав, происхождение и характер влияния на жизнедеятельность растений. Дымовые (промышленные) газы.

6. Сернистый газ (диоксид серы), его экологическое значение. Роль растений в очищении атмосферы (индустриальная экология).

7. Газочувствительность и газоустойчивость растений. Виды газоустойчивости. Физиолого-биохимические механизмы газоустойчивости.

8. Влияние на газоустойчивость экологических факторов среды. Группы растений по газоустойчивости.

### **Рекомендуемая литература**

1. Алексеев, В. А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / В. А. Алексеев. – Л. : Наука, 1990. – 198 с.

2. Биохимические индикаторы стрессового состояния древесных растений / Н. Е. Судачкова и др. – Новосибирск : Наука, 1997. – 176 с.

3. Черненкова, Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение / Т. В. Черненкова. – М. : Наука, 2002. – 191 с.

4. Чиркова, Т. В. Пути адаптации растений к гипоксии и аноксии / Т. В. Чиркова. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1988. – 244 с.

## **Тема 5. Почва как экологический фактор**

Почва – важнейшее природное тело, которое является субстратом для большинства наземных и водных растений, обеспечивает их необходимыми минеральными элементами и водой. Во всех типах почв наибольшее экологическое значение для растений имеют водный, воздушный, тепловой и солевой режимы. Важнейшими характеристиками почв являются гранулометрический состав, содержание органических веществ и минеральных элементов, реакция почвенного раствора (рН), живое население почвы и др. Почвенные факторы тесно взаимосвязаны и оказывают комплексное влияние на растения и их сообщества. В свою очередь, растительность является ведущим фактором почвообразовательного процесса.

### ***Работа № 12. Экологические группы растений по отношению к почвенным условиям***

**Цель работы:** выявить анатомо-морфологические особенности растений в связи с их адаптациями к почвенным условиям.

**Объекты исследований:** растения разных экологических групп.

**Материалы и оборудование:** гербарные образцы; определители, справочная литература.

Разнообразие почвенных факторов обуславливает выделение экологических групп растений по отношению к каждому из них. По отношению к кислотности почвы различают *ацидофилы* (от лат. *acidus* – кислый) – растения, предпочитающие кислые почвы с небольшим значением рН, *базифилы* (от греч. *basis* – основа-

ние) – растения, обитающие на щелочных почвах, *нейтрофилы* – растения, произрастающие на почвах с нейтральной реакцией. По отношению к общему богатству почвы необходимыми элементами выделяют *эутрофные* (или *эвтрофные*) растения, распространенные преимущественно на плодородных почвах, *олиготрофные* – растения, довольствующиеся небольшим количеством питательных веществ, *мезотрофные* – промежуточная группа видов. По отношению к содержанию кальция в почвах различают *кальцефилы* – растения карбонатных почв, содержащих более 3% карбонатов; *кальцефобы* – растения, избегающие почв с большим содержанием извести; *кальций-постоянные* – растения, нуждающиеся для нормального развития в богатых известью субстратах. По отношению к засолению почв выделяют *галофиты* (от греч. *hals* – соль) – растения, приспособившиеся к высокому содержанию солей, *гликофиты* – растения, не имеющие приспособлений к засолению, *псевдогалофиты* – растения, произрастающие на засоленной почве и избегающие засоления благодаря очень глубокой корневой системе. По отношению к специфическим субстратам различают *псаммофиты* (от греч. *psammos* – песок) – растения, произрастающие на песках, *литофиты* (от греч. *lithos* – камень) – растения, обитающие на камнях, скалах, каменистых осыпях и др.

### **Ход работы**

Изучают видовое разнообразие растений разных экологических групп по отношению к почвенным условиям, используя гербарные материалы. Характеризуют их внешний облик, выделяют основные анатомо-морфологические особенности в связи с адаптациями к недостатку и избытку отдельных элементов минерального питания, кислотности и засоленности почвы. Отмечают специфику растений, произрастающих на разных почвах (плодородных и неплодородных; с высоким и низким содержанием кальция и др.). Характеризуют растения псаммофиты, литофиты и произрастающие на торфяниках. При этом руководствуются планом описания, приведенным в работе 1. Результаты оформляют в виде табл. 1, отмечая при характеристике местообитаний особенности почвенных условий.

Проводят характеристику не менее трех видов растений из каждой экологической группы по отношению к выбранному почвенному фактору. Делают вывод о влиянии почвенных условий на анатомо-морфологические особенности растений.

### ***Работа № 13. Влияние условий минерального питания на накопление зольных элементов в растениях***

***Цель работы:*** выявить влияние условий минерального питания на накопление зольных элементов в растениях.

***Объекты исследований:*** растения, выращенные в различных условиях минерального питания.

***Материалы и оборудование:*** тигли, тигельные щипцы, спиртовка, ступка, электронные весы, муфельная печь, эксикатор, скальпель, препаровальные иглы, этиловый спирт, 10%-й раствор  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  в капельнице, электроплитка, спички.

При сжигании растительного материала углерод, азот и водород улетучиваются в виде углекислого газа, воды и молекулярного азота. Остающийся после сжигания нелетучий остаток содержит элементы, называемые зольными. Их содержание в растениях зависит от плодородия почвы, условий минерального питания. Как правило, чем богаче почва и суше климат, тем выше содержание золы в растении. Наиболее богаты минеральными элементами листья, у которых зола может составлять от 2 до 15% от сухой массы. Минимальное содержание золы (0,4–1%) содержится в стволах древесных растений.

#### ***Ход работы***

Растительный материал измельчают, растирают в ступке, помещают в предварительно прокаленный тигель с известной массой и взвешивают с точностью до 0,01 г. Навеска должна составлять 0,5–1 г. Дальнейшие операции по сжиганию растительного материала проводят под тягой. В тигель добавляют 1–2 мл спирта и поджигают. После прекращения горения повторяют эту операцию еще раз. Заканчивают озоление в муфельной печи. Полноту сжигания проверяют по отсутствию в золе несгоревших частиц и угля. Перемешивают золу двумя препаровальными иглами или кусочками проволоки. Если после продолжительного прокалива-

ния не происходит полного сгорания, тигель охлаждают, добавляют несколько капель спирта и перемешивают препаровальными иглами. После испарения спирта вносят несколько капель 10%-го раствора  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , осторожно нагревают на электроплитке до выпаривания воды. Продолжают прокаливание при высокой температуре в муфельной печи. Нитрат аммония при нагревании полностью разлагается до газообразных продуктов, освобождающийся при этом кислород усиливает озоление.

Таблица 14

Объект	Условия минерального питания	Орган	Масса (г)		Содержание золы (%)
			сырого материала	золы	

По окончании озоления тигли переносят в эксикатор, закрывают их крышками, чтобы движение воздуха не вызывало выдувания золы. После полного охлаждения тигли взвешивают и рассчитывают содержание золы в исследуемом материале по формуле:

$$x = \frac{a}{b} \cdot 100\%,$$

где  $x$  – содержание золы (%),  $a$  – масса золы (г),  $b$  – масса сырого материала (г).

Результаты работы представляют в виде таблицы 14 и графически. В выводе объясняют причины неодинакового содержания зольных элементов у растений, выращенных в различных условиях минерального питания.

#### **Работа № 14. Определение солеустойчивости растений по количеству альбуминов в листьях**

**Цель работы:** выявить солеустойчивость разных видов и сортов культурных растений.

**Объекты исследований:** виды и сорта культурных растений, различающиеся по солеустойчивости.

**Материалы и оборудование:** сухой  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , ступки с пестиками, колбочки на 50 мл, воронки с фильтром, центрифуга, электронные весы, пипетки на 10 мл, градуированные центрифужные пробирки.

Засоление – одно из экстремальных условий обитания растений. Под солеустойчивостью вида или сорта понимают тот предел засоления, при котором растения еще способны полностью завершить онтогенетический цикл развития и воспроизвести всхожие семена, а выше которого растения гибнут раньше завершения цикла онтогенеза или образуют невсхожие семена с недоразвитым зародышем. С агрономических позиций солеустойчивость рассматривают как снижение продуктивности сорта или вида при конкретном уровне засоления по сравнению с его урожайностью без засоления. Индивидуальная реакция на воздействие засоления проявляется в изменении метаболизма растения, в том числе белкового обмена. Высокое содержание водорастворимых белков – альбуминов – в листьях растений является показателем повышенной солеустойчивости растений.

### ***Ход работы***

Навеску листьев исследуемых растений (2 г) растирают с 10 мл воды, вытяжку очищают от взвесей центрифугированием или фильтрованием. Затем 5 мл вытяжки вносят в градуированную центрифужную пробирку и добавляют в нее сухой сернокислый аммоний до полного насыщения (примерно 15 г). Через 15 мин после растворения соли выпавшие в виде геля альбумины центрифугируют 3 мин при 4000–5000 об/мин и учитывают объемное (по делениям пробирки) количество альбуминов. Результаты записывают в виде табл. 15.

Таблица 15

Объект	Содержание альбуминов (мл)	Выводы о солеустойчивости

Делают вывод о солеустойчивости исследованных видов и сортов культурных растений.

### **Вопросы для обсуждения**

1. Роль почвы как экологического фактора в жизни растений. Экологическое значение гранулометрического состава, водного,

теплового и воздушного режимов почвы. Участие растений в почвообразовании.

2. Методы изучения влияния почвенных факторов на растения в естественных и модельных условиях. Выявление физиологической роли элементов минерального питания при организации экологических исследований.

3. Экологическое значение элементов минерального питания. Макро- и микроэлементы, их значение. Олиго-, мезо- и эутрофные виды.

4. Границы рН для отдельных видов. Группы растений по отношению к кислотности почвы. Индикаторы кислотности почвы, их относительность. Прямое и косвенное влияние кислотности на растения.

5. Экологическое значение содержания кальция в почве. Группы растений по отношению к содержанию кальция в почве. Роль известкования. Экология растений меловых склонов и обнажений.

6. Экологическое значение доступного азота почвы. Группы растений по отношению к азоту: нитрофилы и нитрофобы. Обязательные и факультативные нитрофилы.

7. Экологическое значение засоления почвы для растений. Классификации растений по отношению к засолению почвы. Нарушения у растений при засолении. Солеустойчивость.

8. Экологические особенности псаммофитов и литофитов. Характеристика растений, произрастающих на торфе.

### **Рекомендуемая литература**

1. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты / В. Ф. Вальков, Т. В. Денисова, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, Р. В. Кузнецов. – Ростов н/Д : Изд-во ЮФУ, 2010. – 416 с.

2. Добровольский, Г. В. Роль почвы в формировании и сохранении биоразнообразия / Г. В. Добровольский, И. Ю. Чернов. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2011. – 273 с.

3. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.



4. Ильин, В. Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В. Б. Ильин, А. И. Сысо. – Новосибирск, 2001. – 229 с.

5. Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере / отв. ред. Г. В. Добровольский. – М. : Наука, 2003. – 364 с.

## **Тема 6. Биотические экологические факторы**

Биотические факторы – совокупность влияний одних организмов на другие. Их действие на растение может быть прямым (механическим и физиологическим) и косвенным (трансабиотическим и трансбиотическим). В классификации взаимоотношений организмов по действию на жизнеспособность партнеров («биологическому эффекту») выделяют следующие типы: *мутуализм* (взаимопользные отношения), *антагонизм* (полезно-вредные отношения), *комменсализм* (полезно-нейтральные отношения), *конкуренция* (взаимовредные отношения), *аменсализм* (вредно-нейтральные отношения) и *нейтрализм* (безразличные отношения). Биотические факторы существенно влияют на жизнедеятельность растений и функционирование растительных сообществ.

### ***Работа № 15. Адаптационные особенности растений в связи с биотическими взаимодействиями***

***Цель работы:*** выявить анатомо-морфологические особенности растений в связи с их адаптациями к биотическим взаимодействиям.

***Объекты исследований:*** растения-паразиты и полупаразиты, лианы, эпифиты.

***Материалы и оборудование:*** гербарные образцы, определители, справочная литература.

Разнообразие биотических взаимосвязей позволяет выявить различные анатомо-морфологические адаптации растений в связи с особенностями их образа жизни. *Паразитизм* и *полупаразитизм* – варианты прямых физиологических отношений между организмами разных трофических уровней, при которых автотрофный хозяин всегда угнетается. Растения-паразиты полностью ут-

рачивают способность к фотосинтезу, полупаразиты сохраняют зеленые листья, но заменяют почвенное питание паразитическим. *Лианы* и *эпифиты* реализуют особый вариант контактных отношений – топические, при которых одни организмы поселяются на других и при этом не используют растение-опору как источник пищи. Однако влияние лиан и эпифитов на используемые в качестве опоры растения может быть весьма существенным.

### ***Ход работы***

Изучают по гербарным материалам видовое разнообразие паразитических, полупаразитических, лиановидных и эпифитных растений. Характеризуют их внешний облик, выделяют основные анатомо-морфологические особенности в связи с адаптациями к взаимодействиям между организмами. При этом руководствуются планом описания, приведенным в работе 1. Результаты оформляют в виде табл. 1, отмечая во второй графе характер биотических взаимодействий.

Проводят характеристику не менее трех видов растений для каждой из выбранных форм биотических взаимодействий. Делают вывод об их влиянии на анатомо-морфологические особенности растений.

### ***Работа № 16. Определение параметров микоризообразования у растений разной видовой принадлежности***

***Цель работы:*** выявить особенности микоризообразования у растений разной видовой принадлежности.

***Объекты исследований:*** подземные органы экто- и эндомикотрофных растений.

***Материалы и оборудование:*** пробирки, скальпель, препаровальные иглы, водяная баня, 15%-й раствор КОН, раствор анилинового синего в 40%-й молочной кислоте (приложение В), фарфоровые чашки, пинцет, пипетки, микроскоп, предметные и покровные стекла, фильтровальная бумага, марля.

Микосимбиотрофия (питание с помощью грибов) среди высших растений распространена намного шире, чем другие симбиотические ассоциации. Микориза обнаружена у растений разных

жизненных форм и экологических групп, почти во всех природных зонах, горных поясах и типах наземной растительности. Взаимоотношения между растением и грибным компонентом в большинстве случаев разносторонние и взаимовыгодные. Растение обеспечивает гриб создаваемыми при фотосинтезе углеводами, а тот содействует минеральному питанию растения. Микориза наиболее хорошо развивается в теплых условиях при умеренном увлажнении в сочетании с хорошей аэрацией. Степень ее развития зависит от вида растения, его онтогенетического состояния и условий произрастания.

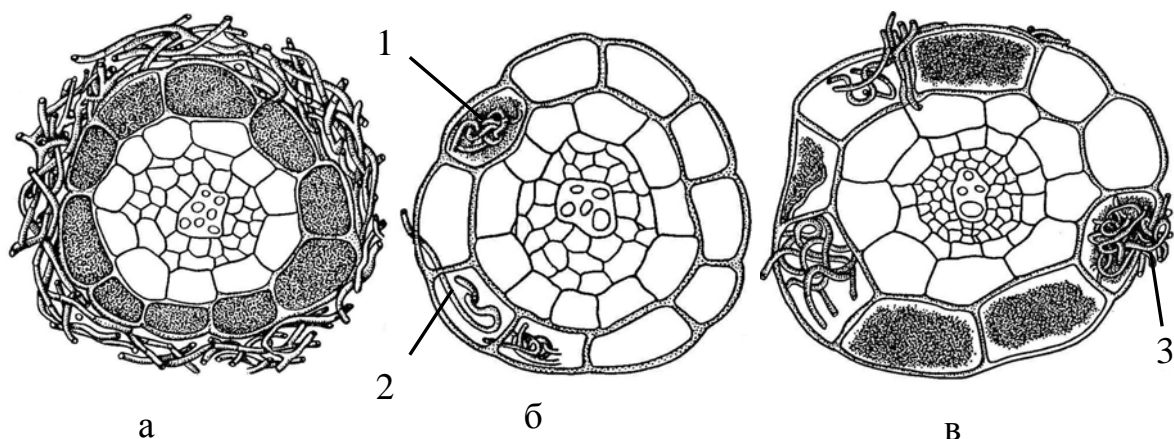
### ***Ход работы***

Наливают в большую пробирку 8–10 мл 15%-го раствора КОН и помещают в нее хорошо отмытые в воде корни исследуемых растений. Пробирку помещают на кипящую водяную баню на 2 ч, подвергая корни горячей мацерации. После этого корни извлекают из пробирки, отмывают водой от щелочи и окрашивают анилиновым синим в молочной кислоте в течение 30 мин. Корни аккуратно отмывают, нарезают на кусочки по 1 см и готовят давленные препараты. Под микроскопом при малом, а затем большом увеличении проводят качественную оценку микоризообразования. Характеризуют особенности локализации микосимбионта в тканях и клетках подземных органов, его структуру (рис. 3). Зарисовывают внешний вид микосимбионта в корнях.

Оценивают обилие микосимбионта по пятибалльной системе в нескольких полях зрения (не менее 10). Рассчитывают среднюю степень микотрофности растений разных видов. Результаты оформляют в виде табл. 16.

Таблица 16

Объект	Качественная характеристика микосимбионта	Степень микотрофности (баллы)



*Рис. 3. Локализация микосимбионта:*

*а – эктомикориза (гифы оплетают поверхность корня);  
б, в – эндомикориза: 1 – клубок гиф в клетке; 2 – гифа, петляющая по клеткам; 3 – коммуникационная гифа, проникающая в клетку из почвы*

Делают вывод о характере и степени развития микосимбионта в подземных органах растений разных видов.

### ***Работа № 17. Оценка результатов исследований по экологии растений методами математической статистики***

***Цель работы:*** освоить методы статистической обработки результатов исследований по экологии растений.

***Объекты исследований:*** массивы экспериментальных данных, полученные при проведении экологических экспериментов.

***Материалы и оборудование:*** персональные компьютеры, программы для проведения статистического анализа (Microsoft Excel, Statistica).

Применение методов математической статистики является необходимым в современных исследованиях по экологии растений. Их использование позволяет объективно оценивать полученные результаты, характеризовать разнообразные связи и зависимости между ними. Понимание и учет статистических закономерностей помогает экологу составить методически обоснованный план опытов и правильно их провести. Эффективность математических методов в экологии растений существенно повышается при компьютерной обработке результатов с использованием современного программного обеспечения.

### *Ход работы*

Результаты исследований обычно выражают количественными данными. Повторные анализы или анализы нескольких параллельных образцов дают ряд таких величин – выборку, состоящую из отдельных вариантов. Для характеристики не отдельных образцов, а всей выборки в целом определяют среднюю арифметическую величину по формуле:

$$M = \frac{\sum V}{n},$$

где  $M$  – средняя арифметическая;  $\sum V$  – сумма вариантов выборки;  $n$  – число вариантов.

Основной показатель разнообразия вариантов в выборке – среднее квадратическое отклонение. Его используют в качестве самостоятельного показателя и основы для образования других показателей – коэффициента вариации, ошибок репрезентативности, коэффициентов корреляции и регрессии, элементов дисперсионного анализа. Среднее квадратическое отклонение – показатель именованный и выражается в тех же единицах, что и средняя величина. Среднее квадратическое отклонение рассчитывают по формуле:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (V - M)^2}{n - 1}},$$

где  $\delta$  – среднее квадратическое отклонение;  $(n - 1)$  – число степеней свободы, равное уменьшенному на единицу числу вариантов;  $M$  – средняя арифметическая;  $V$  – величина каждой варианты.

Ошибку средней арифметической, иногда ее называют средней или средней квадратической ошибкой, вычисляют по формуле:

$$m = \frac{\delta}{\sqrt{n}},$$

где  $m$  – ошибка средней арифметической;  $\delta$  – среднее квадратическое отклонение;  $n$  – число вариантов.

Доверительные границы средней арифметической записывают в виде:  $M \pm m$ . При этом обязательно указывают число вариантов в выборке.

Для сравнения разнообразия различных признаков применяют также особый показатель – коэффициент вариации, вычисляемый по формуле:

$$C_v = \frac{\delta}{M} \cdot 100\%,$$

где  $C_v$  – коэффициент вариации (%);  $\delta$  – среднее квадратическое отклонение;  $M$  – средняя арифметическая.

Коэффициент вариации – величина неименованная и позволяет сравнивать разнообразие признаков, выражаемых в различных единицах измерения, а также устанавливать степень их разнообразия. При экологическом исследовании растений бывает важно знать, насколько изучаемый материал разнороден, в какой степени устойчивы взятые для сравнения признаки. Вариацию принято считать незначительной при коэффициенте, не превышающем 10%, средней – от 10 до 20%, значительной – более 20%.

Показатель точности опыта характеризует величину ошибки средней арифметической в процентах от самой средней арифметической. Показатель точности опыта вычисляют по формуле:

$$p = \frac{m}{M} \cdot 100\%,$$

где  $p$  – показатель точности опыта;  $M$  – средняя арифметическая;  $m$  – ошибка средней арифметической.

Точность опыта считается удовлетворительной при величине показателя не выше 5%. При больших значениях рекомендуется увеличить число повторностей. В некоторых случаях можно снизить процент ошибки, повысив точность выполнения исследований.

В экологических исследованиях необходимо сравнивать между собой варианты опытов по средним арифметическим, определять достоверность их разности. Это позволяет, например, выяснить достоверность разности фотосинтетической продуктивности растений, выращенных в различных условиях освещенности. Достоверность разности обусловлена объемом выборки, разнообразием признака и величиной разности.

Достоверность разности средних арифметических вычисляют по критерию Стьюдента:

$$t_d = \frac{d}{m_d} = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} \geq t_{st},$$

где  $d$  – разность выборочных средних;  $m_d$  – ошибка разности, равная корню квадратному из суммы квадратов ошибок сравниваемых средних;  $t_{st}$  – стандартное значение критерия Стьюдента при вероятности 0,95 (приложение Б).

Полученные данные считают достоверными, если критерий достоверности разности равен стандартному значению критерия или превышает его:

$$t_d \geq t_{st}.$$

Данные недостоверны, если полученный в исследовании критерий достоверности разности меньше стандартного значения для минимального или требуемого порога вероятности:

$$t_d < t_{st}.$$

Вероятности 0,95; 0,99 и 0,999 называют доверительными вероятностями, значениям которых можно доверять и уверенно пользоваться ими. Например, при вероятности 0,99 полученный в опыте результат достоверен в 99% всех случаев, а риск ошибиться в оценках составляет только 1%. Обычные требования для экологических исследований соответствуют вероятности 0,95. Повышенные требования надежности при проверочных опытах – вероятности 0,99. Высокие требования надежности при разрешении спорных вопросов – 0,999.

### **Вопросы для обсуждения**

1. Фитогенные факторы. Основные способы взаимовлияния растений. Их классификации. Симбиотические взаимоотношения растений. Примеры.

2. Паразитизм и полупаразитизм. Эпифитизм. Растения-лианы. Охлестывание. Конкурентная способность видов.

3. Взаимовлияния растений без непосредственного контакта. Аллелопатические взаимодействия, их примеры. Фитонциды и колины.

4. Взаимодействия между растениями и бактериями. Роль растений в ассоциативной азотфиксации. Бактериозы и актиноризы.

5. Взаимодействия между растениями и грибами – паразитизм, мутуализм, комменсализм. Фитопатогенные почвенные грибы.

6. Экто- и эндотрофная микориза. Взаимоотношения организмов при микотрофии. Облигатная и факультативная микотрофия.

7. Зоогенные факторы. Значение разных групп животных для растений. Влияние животных на растения. Примеры.

8. Насекомоядные растения. Примеры. Особенности местобитаний. Ловчие механизмы.

9. Использование математических методов при организации исследований по экологии растений. Значение основных статистических параметров.

### **Рекомендуемая литература**

1. Защита растений от болезней / под ред. В. А. Шкаликова. – М. : КолосС, 2004. – 255 с.

2. Зинченко, В. А. Химическая защита растений: средства, технология и экологическая безопасность / В. А. Зинченко. – М. : КолосС, 2005. – 232 с.

3. Попкова, К. В. Общая фитопатология / К. В. Попкова. – М. : Дрофа, 2005. – 445 с.

4. Шкаликов, В. А. Иммуитет растений / В. А. Шкаликов, Ю. Т. Дьяков, А. Н. Смирнов. – М. : КолосС, 2005. – 190 с.

5. Биологическая защита растений / М. В. Штерншис, Ф. С.-У. Джалилов, И. В. Андреева, О. Г. Томилова. – М. : КолосС, 2004. – 264 с.



## **Литература**

### **Основная**

Березина, Н. А. Экология растений / Н. А. Березина, Н. Б. Афанасьева. – М. : Академия, 2009. – 400 с.

Ботаника: в 4 т. Т. 3. Высшие растения / ред. А. К. Тимошин. – М. : Академия, 2007. – С. 224–346.

Биогеография с основами экологии / А. Г. Воронов, Н. Н. Дроздов, Д. А. Криволицкий, Е. Г. Мяло. – М. : Изд-во МГУ; Изд-во «Высшая школа», 2002. – 392 с.

Косулина, Л. Г. Физиология устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды / Л. Г. Косулина, Э. К. Луценко, В. А. Аксенова. – Ростов н/Д : Изд-во РГУ, 2006. – 236 с.

Миркин, Б. М. Современная наука о растительности / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова, А. И. Соломещ. – М. : Логос, 2001. – 264 с.

### **Дополнительная**

Алексеев, В. А. Геоботанические исследования для решения ряда экологических задач и поисков месторождений полезных ископаемых / В. А. Алексеев. – М. : Логос, 2011. – 244 с.

Афанасьева, Н. Б. Введение в экологию растений / Н. Б. Афанасьева, Н. А. Березина. – М. : Изд-во МГУ, 2011. – 800 с.

Баландин, С. А. Общая ботаника с основами геоботаники / С. А. Баландин, Л. И. Абрамова, Н. А. Березина. – М. : Академкнига, 2006. – 293 с.

Ботаника: в 4 т. [на основе учебника Э. Страсбургера и др.]. Т. 4. Экология / П. Зитте и др. – М. : Академия, 2007. – 256 с.

Второв, П. П. Биогеография / П. П. Второв, Н. Н. Дроздов. – М. : Владос-пресс, 2001. – 304 с.

Усманов, И. Ю. Экологическая физиология растений / И. Ю. Усманов, З. Ф. Рахманкулова, А. Ю. Кулагин. – М. : Логос, 2001. – 223 с.

## **Система жизненных форм растений К. Раункиера**

**Фанерофиты** (от греч. *phaneros* – открытый, явный) имеют зимующие почки возобновления, расположенные высоко над землей. Сюда относятся в основном деревья и кустарники. К. Раункиер подразделил фанерофиты на подтипы по размеру, длительности жизни листьев и характеру почечных покровов (с открытыми и закрытыми почками). Среди них есть *мегафанерофиты* – очень высокие деревья (выше 30 м), *мезофанерофиты* – деревья от 8 до 30 м, *микрофанерофиты* – большей частью кустарники, *нанофанерофиты* (от греч. *nanos* – очень маленький) – мелкие кустарники.

**Хамефиты** (от греч. *chamai* – низкий) – невысокие растения с почками возобновления, находящимися вблизи поверхности земли (не выше 20–30 см). Почки этих растений зимуют под защитой почечных чешуй, снега, отмерших органов.

**Гемикриптофиты** (от греч. *hemi* – полу- и *kryptos* – скрытый) располагают свои почки непосредственно на поверхности почвы, под подстилкой. Это травянистые многолетники, надземные органы которых (или большая их часть) к концу вегетации отмирают. Почки возобновления защищены отмершими листьями, подстилкой и снегом.

**Криптофиты** (от греч. *kryptos* – скрытый) имеют скрытые, спрятанные почки возобновления. Это многолетние травянистые растения, во множестве представленные в степях, пустынях и водоемах. К. Раункиер подразделил их на три подгруппы:

**геофиты** – сухопутные растения с подземными почками возобновления,

**гелофиты** – болотные растения, воздушные побеги которых находятся над водой, а почки под водой,

**гидрофиты** – водные растения, полностью находящиеся под водой.

**Терофиты** (от греч. *theros* – лето) – однолетники, переживающие неблагоприятный период в виде семян или спор, имеющих хорошую морфологическую (плотные покровы) и физиологическую защиту (покой, исключающий несвоевременное прорастание при кратковременном возврате благоприятных условий). На зиму растение отмирает целиком, перезимовывают лишь семена и споры.

**Стандартные значения критериев Стьюдента ( $t_{st}$ )**

Число степеней свободы	Уровень вероятности			
	$B_0 = 0,90$	$B_1 = 0,95$	$B_2 = 0,99$	$B_3 = 0,999$
1	6,3	12,7	63,7	637,0
2	2,9	4,3	9,9	31,6
3	2,4	3,2	5,8	12,9
4	2,1	2,8	4,6	8,6
5	2,0	2,6	4,0	6,9
6	1,9	2,4	3,7	6,0
7	1,9	2,4	3,5	5,3
8	1,9	2,3	3,4	5,0
9	1,8	2,3	3,3	4,8
10	1,8	2,2	3,2	4,6

### **Приготовление некоторых растворов и реактивов**

**Хромовая смесь для мытья посуды.** В концентрированную серную кислоту добавляют 5% (от объема кислоты) хорошо размельченного дихромата калия. Полученную смесь взбалтывают и оставляют на сутки для растворения. Готовый раствор имеет темно-оранжевый цвет и может быть применен для мытья посуды. Изменение цвета хромовой смеси на темно-зеленый свидетельствует о ее непригодности.

**Стандартный раствор Гетри для определения хлорофилла.** Приготовить на дистиллированной воде три раствора: 1) 1%-й  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (брать только синие кристаллы, после растворения профильтровать), 2) 2%-й  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 3) 7%-й аммиак. Перенести в мерную колбу на 100 мл 28,5 мл 1-го раствора, 50 мл 2-го раствора и 10 мл 3-го раствора, довести до метки дистиллированной водой, перемешать и перелить в чистую сухую склянку с притертой пробкой.

Раствор Гетри по окраске эквивалентен раствору хлорофилла концентрации 85 мг/л.

**Раствор нейтрального красного.** Приготовить 0,2%-й раствор путем растворения 0,5 г краски в 250 мл дистиллированной воды. Раствор профильтровать и хранить в склянке из темного стекла. Перед употреблением развести водопроводной водой в 10 раз.

**Раствор анилинового синего.** Приготовить раствор путем растворения 100 мг краски в 100 мл дистиллированной воды. Раствор вскипятить и профильтровать, смешать с 40%-й молочной кислотой в соотношении 1:1. Раствор хранить в склянке из темного стекла.

## Оглавление

Введение.....	3
<b>Тема 1. Свет как экологический фактор .....</b>	<b>6</b>
Работа № 1. Экологические группы растений по отношению к свету .....	6
Работа № 2. Влияние уровня освещения на площадь поверхности листьев растений .....	8
Работа № 3. Определение содержания хлорофилла в листьях гелиофитов и сциофитов .....	10
<b>Тема 2. Тепло как экологический фактор.....</b>	<b>14</b>
Работа № 4. Экологические группы растений по отношению к теплу .....	14
Работа № 5. Влияние температуры на интенсивность транспирации листьев.....	15
Работа № 6. Определение температурного порога жаростойкости растений плазмолитическим методом .....	17
<b>Тема 3. Вода как экологический фактор .....</b>	<b>20</b>
Работа № 7. Экологические группы растений по отношению к водному режиму .....	21
Работа № 8. Структурно-функциональные особенности устыичного аппарата растений разных экологических групп.....	22
Работа № 9. Определение осмотического давления у гидрофитов, мезофитов и суккулентов .....	26
<b>Тема 4. Воздух как экологический фактор .....</b>	<b>31</b>
Работа № 10. Адаптационные реакции растений на загрязнение атмосферы токсичными газами ...	31
Работа № 11. Определение скорости выделения кислорода растениями разных видов.....	33

<b>Тема 5. Почва как экологический фактор .....</b>	<b>35</b>
Работа № 12. Экологические группы растений по отношению к почвенным условиям .....	35
Работа № 13. Влияние условий минерального питания на накопление зольных элементов в растениях ...	37
Работа № 14. Определение солеустойчивости растений по количеству альбуминов в листьях.....	38
<b>Тема 6. Биотические экологические факторы .....</b>	<b>41</b>
Работа № 15. Адаптационные особенности растений в связи с биотическими взаимодействиями.....	41
Работа № 16. Определение параметров микоризообразования у растений разной видовой принадлежности .....	42
Работа № 17. Оценка результатов исследований по экологии растений методами математической статистики .....	44
Литература .....	49
Приложения .....	50
Приложение А. Система жизненных форм растений К. Раункиера .....	50
Приложение Б. Стандартные значения критериев Стьюдента ( $t_{st}$ ) .....	51
Приложение В. Приготовление некоторых растворов и реактивов .....	52

Учебное издание

Маракаев Олег Анатольевич

# ЭКОЛОГИЯ ОРГАНИЗМОВ

*Методические указания к разделу  
«Экология растений»*

Редактор, корректор М. Э. Левакова  
Верстка И. Н. Иванова

Подписано в печать 04.07.12. Формат 60×84 1/16.  
Бум. офсетная. Гарнитура «Times New Roman».  
Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 2,29.  
Тираж 20 экз. Заказ

Оригинал-макет подготовлен  
в редакционно-издательском отделе  
Ярославского государственного университета  
им. П. Г. Демидова.

Отпечатано на ризографе.

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова.  
150000, Ярославль, ул. Советская, 14.

