



ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСТЕНИЙ НА БАЗЕ ШКОЛЬНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

© 2025

Козлова М.В.¹, Васильева О.Ю.^{1,2}, Вышегуров С.Х.², Календар О.В.¹, Карпова Е.А.¹, Амброс Е.В.¹

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (г. Новосибирск, Россия)

²Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий (г. Новосибирск, Россия)

Аннотация. В статье обсуждаются методические аспекты проведения занятий со школьниками, посещающими биологический факультатив, изучающими рост и развитие декоративных растений в школьном ботаническом саду, а также в биотехнологической лаборатории. Показана возможность освоения учащимися методов, используемых в научных исследованиях, а также проведения статистической обработки данных, полученных в результате наблюдений и экспериментов. На примере конкретного взаимодействия академической науки, высшего и школьного образования отрабатывается цикл: школа – бакалавриат – магистратура – аспирантура. Наибольший интерес учащихся 5–8 классов вызвали биометрические измерения декоративных растений и последующая статистическая обработка данных, сортооценка садовых роз, флоксов, лилейников, а также определение этапов органогенеза почек возобновления у декоративных многолетников по окончании вегетационного периода. Проекты цветочных экспозиций и подбор ассортимента для школьного сада выполнялись сотрудниками Центрального сибирского ботанического сада СО РАН и студентами Сибирского государственного университета инженерии и биотехнологий с таким расчетом, чтобы высокий декоративный эффект на цветниках у главного входа был в период основных торжественных мероприятий, связанных с окончанием школы (пионы, ирисы) и началом учебного года (садовые розы, корейские хризантемы). Даны рекомендации по микроклональному размножению сортов корейских хризантем на базе имеющего в школе биотехнологического модуля.

Ключевые слова: ботанический сад; школьный ботанический сад; биологический факультатив; фенонаблюдения; феноритмотип; биометрия; статистическая обработка; сортооценка декоративных растений.

STUDY OF ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL FEATURES OF PLANTS ON THE BASIS OF A SCHOOL BOTANICAL GARDEN

© 2025

Kozlova M.V.¹, Vasilyeva O.Yu.^{1,2}, Vyshegurov S.Kh.², Kalendar O.V.¹, Karpova E.A.¹, Ambros E.V.¹

¹Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

²Siberian State University Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia)

Abstract. The article discusses the methodological aspects of making classes with schoolchildren who attend a biology elective course and study the growth and development of ornamental plants in a school botanical garden and a biotechnology laboratory. The article demonstrates the possibility of students mastering the methods used in scientific research, as well as making statistical analysis of data obtained from observations and experiments. The cycle of school – bachelor's degree – master's degree – postgraduate studies is being worked out on the example of a specific interaction between academic science, higher education, and school education. The biometric measurements of ornamental plants and subsequent statistical data processing, the variety assessment of garden roses, phlox, and daylilies, as well as the determination of the stages of organogenesis of renewal buds in ornamental perennials at the end of the growing season, have aroused the greatest interest among students in grades 5–8. The projects of flower expositions and the selection of assortment for the educational garden were carried out by the staff of the Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and the students of the Siberian State University Engineering and Biotechnology, with the aim of achieving a high decorative effect in the flower beds at the main entrance during the main celebrations associated with the end of school (peonies, irises) and the beginning of the school year (garden roses, Korean chrysanthemums). Recommendations are given for the microclonal propagation of Korean chrysanthemum varieties based on the biotechnology module available at the school.

Keywords: botanical garden; school botanical garden; biological elective course; phenological observations; phenorhythmotype; biometry; statistical processing; variety assessment of ornamental plants.

Введение

Для ботанических садов, входящих в систему Российской академии наук, наряду с основными научно-исследовательскими задачами по изучению и сохранению растительного биоразнообразия *in situ* и *ex situ*, важное значение имеет образовательная и просветительская деятельность.

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (ЦСБС), расположенный в Новосибирском Академгородке, как и другие институты Сибирского отделения Российской академии наук, активно участвует в подго-

товке молодых ученых, начиная, преимущественно, с университетской скамьи [1]. До недавнего времени такая подготовка проводилась по классической схеме: бакалавриат – магистратура – аспирантура. Учитывая современные тенденции в образовании и просвещении, в том числе опыт работы со школьниками по научным программам на прекрасном оборудовании Образовательного центра «Сириус» [2], появились расширенные схемы конкретного взаимодействия академической науки, высшего и школьного образования: «школа – бакалавриат – магистратура – аспирантура» или «школа – специалитет – аспирантура».

Примером такого взаимодействия является участие ЦСБС в проектах «Создание мини-ботанического сада при школе № 2 п.г.т. Актюбинский (Республика Татарстан)» и «Изучение флоры и растительности юго-востока Республики Татарстан и оценка адаптивного потенциала растений-интродуцентов» по договорам № 223-ЕП-2022-30, № 1/2023-У/ИК/БФ, № 8/2024-У/ИК/БЛ. Поддержка данных проектов осуществлялась Благотворительным фондом «Образование» ПАО «Татнефть».

В 2018 г. ПАО «Татнефть» и Сибирское отделение РАН согласовали создание рабочей группы по координации сотрудничества, а также контактам в сфере образования и профессионального роста [3]. В 2021 г. представителями данной группы было предложено воплотить разработку лаборатории интродукции декоративных растений ЦСБС СО РАН «Экологически обоснованное использование природной и культурной флоры в урбанизированной среде» [4] в создание школьного мини-ботанического сада на базе СОШ № 2 в экопоселке Актюбинский Азнакаевского района Республики Татарстан. Ранее данная школа была включена в проект «Биологические лаборатории с теплицами в школах республики Татарстан» (куратор Р.Ш. Якупов), который также поддерживает БФ «Образование» ПАО «Татнефть». Цель данного проекта состоит в формировании практико-ориентированного подхода в учебе и формировании экологического мышления у подрастающего поколения [5]. Кроме того, растения, полученные школьниками путем микроклонирования, закупает для озеленения сама компания «Татнефть». В школе имеется биотехнологический модуль, лабораторная техника, микроскопы.

Кроме СОШ № 2 в п.г.т. Актюбинский в качестве второй локации для проведения лекций и мастер-классов была выбрана гимназия № 1 имени Ризы Фахретдина в г. Альметьевске. Организация в школе и гимназии лекций и практических занятий, проводимых сотрудниками ЦСБС, осуществлялась руководителем проекта «Школьные биолaborатории» З.З. Хайбуллиной.

Поскольку в Азнакаевском районе и на близлежащей территории проводится нефтедобыча, особое внимание традиционно уделяется экологической обстановке. Поэтому при составлении образовательных программ сотрудникам ЦСБС было предложено сделать акцент на методиках по изучению эколого-биологических особенностей растений, обучении школьников проведению наблюдений, сбору экспериментальных данных и их элементарной статистической обработке.

Целью работы являлось освоение методик изучения эколого-биологических особенностей растений школьного ботанического сада, необходимых для проведения эколого-географического испытания в умеренно континентальном и континентальном климате.

Материалы и методы исследований

При составлении образовательных программ за основу было взято следующее:

- 1) для освоения учащимися подбирались методики, в которых первичные результаты могли быть получены достаточно быстро, поскольку школьники 5–8 классов, посещающие биологический факультатив, в период основного сбора материала находились на летних каникулах, могли уезжать на отдых в другие регионы;
- 2) переданные в школьный ботанический сад травянистые растения различных биоморф должны были принадлежать, по возможности, к широкому спектру экологических групп, а также родов и семейств;
- 3) статистическую обработку биометрических характеристик планировалось проводить, используя элементарные возможности имеющихся в школе лицензионных компьютерных программ;
- 4) методики осваивались в трех локациях: на экспозициях школьного сада, в компьютерном классе и в биологической лаборатории (в классе, оснащенном микроскопами, лабораторной посудой и реактивами).

Для школьного ботанического сада было передано 62 вида и около 60 сортов травянистых и древесных растений, полученных за счет размножения образцов биоресурсной коллекции ЦСБС СО РАН USU 440534 [6].

Фенологические наблюдения проводились по методике И.Н. Бейдемана [7]. Феноритмотипы определялись по И.В. Борисовой [8]. Описание эколого-биологических особенностей интродуцентов выполнялось по Т.И. Фоминой [9]. Сортооценка пионов, роз, флоксов и других многолетников проводилась по Методике госсортоиспытания [10].

Подготовка препаратов для гистохимических исследований выполнялась по Г.Г. Фурст [11], анализ результатов – по Р.П. Барыкиной, Т.Д. Веселовой, А.Г. Девятову, Х.Х. Джалиловой, Г.М. Ильиной, Н.В. Чубатовой [12] и О.Ю. Васильевой [13]. Биология развития генеративных почек (органогенез) изучались по Ф.М. Куперман [14].

Статистическая обработка морфометрических данных выполнялась по Б.А. Доспехову [15] в программе Excel.

Экспериментальные работы по культивированию изолированных тканей и органов растений проводили по классическим методикам [16].

Ландшафтные проекты цветочных экспозиций составлялись на базе кафедры ботаники и ландшафтной архитектуры Сибирского государственного университета инженерии и биотехнологий с привлечением бакалавров и магистрантов.

Результаты исследований и рекомендации по использованию методик в работе школьных биологических факультативов

Для формирования школьного мини-ботанического сада в СОШ № 2 были привезены декоративные растения, входящие в основной ассортимент озеленения [17; 18] для условий континентального климата лесостепи Западной Сибири. Многолетние травянистые, а также кустарниковые и древесные растения были переданы в виде стандартных посадочных единиц. Однолетние растения, с учетом более продолжительного вегетационного периода в условиях умеренно континентального климата юго-востока Татарстана, было решено выращивать безрассадным способом – весенним посевом в грунт. Для этого были переданы семена ново-сибирской репродукции бархатцев и цинний.

1. Фенонаблюдения. Феноритмотипы

Для изучения сезонного развития растений оформлялся журнал фенонаблюдений на базе стандартной (бухгалтерской) Книги учета. На развороте в левой части были разлинованы столбцы с 1 по 7 (табл. 1), а в правой части – столбцы с 8 по 14. Фаза всходов у однолетников, выращиваемых безрассадным способом (весенним посевом в грунт) отмечалась только массовая (столбец 3).

Фаза массового цветения (столбцы 7 в табл. 1 и 2) отмечалась, когда в нее вступят более 70% однолетних и многолетних цветочных растений.

На основании анализа фенонаблюдений за многолетниками (табл. 2) характеризовались их феноритмотипы. Определяющей для феноритмотипа была дата, указанная в столбце 14.

Таблица 1 – Фенологические наблюдения за однолетниками, выращиваемыми безрассадным способом (посевом в грунт)

Сорт, вид, форма	Посев весенний / подзимний	Всходы массовые	Бутонизация		Цветение		Отцветание		Завязывание плодов и семян		Созревание плодов и семян		Отмирание надземной части
			нач.	мас.	нач.	мас.	нач.	мас.	нач.	мас.	нач.	мас.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Диморфотека дождевая	22.05	02.06	09.07	17.07	09.07	17.07	21.07	28.08	06.08	26.08	15.08	05.09	14.09 (заморозок -2°C)

Таблица 2 – Фенологические наблюдения за многолетними цветочными растениями

Вид, форма, сорт	Отрастание		Бутонизация		Цветение		Отцветание		Завязывание плодов и семян		Созревание плодов и семян		Окончание вегетации (отмирание надземной части)
	нач.	мас.	нач.	мас.	нач.	мас.	нач.	мас.	нач.	мас.	нач.	мас.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Гейхера кроваво-красная	30.04	08.05	28.05	08.06	11.06	15.06	25.07	03.08	29.07	12.08	18.08	29.08	зимне-зеленая

Согласно классификации И.В. Борисовой [8], у травянистых многолетников выделяются пять феноритмотипов:

А. Виды, вегетирующие неполный вегетационный период:

1 – весеннезеленые (эфемероиды), зеленые листья имеются с начала весны до начала лета;

2 – весенне-раннелетнезеленые (гемизэфемероиды), вегетируют с начала весны до середины лета;

Б. Виды, вегетирующие полный вегетационный период:

3 – весенне-летнезеленые, вегетируют с весны до начала осени (до первых заморозков);

4 – весенне-летне-осеннезеленые, вегетируют с весны до установления снежного покрова;

В. Виды, сохраняющие способность к вегетации в течение всего года:

5 – летне-зимнезеленые несут зеленые листья в течение всего года.

Э – краткое обозначение феноритмотипа эфемероиды, к которому относится большинство луковичных и мелколуковичных декоративных растений. Среди растений, переданных и уже имеющих в школьном ботаническом саду, к эфемероидам относятся гиацинты, тюльпаны, сцилла, мускари.

ГЭ – краткое обозначение гемизэфемероидов, к которым относятся пион тонколистый, лук афлатунский.

ВЛЗ – аббревиатура для весенне-летнезеленых растений, в число которых входят лабазник вязолистный, эхинаcea пурпурная.

ВЛОЗ – краткое обозначение феноритмотипа весенне-летне-осеннезеленые. Это очень ценные растения для использования в ландшафтной архитектуре, которые можно размещать в цветниках на местах, ближайших к дорожкам и основным точкам просмотра. К весенне-летне-осеннезеленым относятся, например, анафалис жемчужный, василек подбеленный.

ЗЗ – аббревиатура для зимнезеленых видов, выходящих из-под снега с зелеными перезимовавшими листьями – в школьном саду их представляли бадан и гейхера.

2. Экологические группы

При подробном знакомстве учащихся с экологическими группами растений была задействована научная терминология. По отношению к абиотическому фактору «влажность» растения, произрастающие в школьном саду, были охарактеризованы, как ксерофиты (эхинацея), мезофиты (пион, астильба), гигрофиты (хоста, аквилегия), гидрофиты (осока) и даже гелофиты (калужница). Последние являются разновидностью гидрофитов, обитают на болотах и заболоченных лугах, имеют всегда открытые водяные устья (гидатоды), через которые выводится излишняя вода.

Также было изучено подразделение растений на группы по отношению к почвенному плодородию. Классическими примерами эутрофов, требующих богатых, хорошо удобренных почв, являются пион, астильба; к менее требовательным, мезотрофам, – большинство декоративных представителей семейства Лютиковые (аквилегия, дельфиниум). На бедных почвах произрастают олиготрофы, например, некоторые виды седумов.

По отношению к длине светового дня выделяют растения короткого дня, длинного дня и нейтральные. Растения длинного дня характерны для умеренного пояса (примула), а также для северных широт с практически непрерывным солнцестоянием во время летнего «полярного дня».

Особый интерес у школьников вызвали растения короткого дня, обитающие в тропиках и субтропиках. Рост и, главное, генеративное развитие (внутрипочечная закладка цветков, бутонизация, цветение) у них проходит при укороченном световом дне, поскольку в экваториальной зоне, вследствие географического положения, день и ночь имеют одинаковую продолжительность. Этим объясняется позднее (в условиях умеренно континентального и континентального климата) цветение георгин и большинства хризантем.

Также, в коллекции школьного ботанического сада произрастают представители таких экологических групп, как петрофиты (ясколка), факультативные галофиты (кохия), ацидофилы (гортензия), базифилы (гвоздика) и др.

Самое активное участие в организации и проведении ландшафтных и образовательных мероприятий, а также биотехнологических исследований, на первом этапе выполнения проектов принимал руководитель Интерактивного научно-технического центра «Альметрика» А.Р. Загитов, ранее изучавший предпосылки становления и развития креативной личности в условиях интеграции образования [19].

На втором этапе А.С. Савинич, возглавляющий Центр развития инновационных и просветительских проектов «Академия цифрового творчества» (ранее – «Альметрика»), и руководитель проекта «Школьные биолaborатории» З.З. Хайбуллина предложили расширить образовательные программы для уровней школьных лаборантов и преподавателей. В данную программу, разработанную сотрудниками ЦСБС, вошли основы гистохимических исследований побегов древесных растений, а также изучение органогенеза. Лекции и мастер-классы основывались на том, что в современную школьную программу по биологии входит работа с микроскопом, просмотр препаратов, позволяющих получить представление о клеточном строении растений на примере кожицы лука, листа элодеи. Ниже приводятся краткие методические рекомендации для проведения лабораторных работ.

3. Гистохимические исследования биологических особенностей растений-интродуцентов

Значительная часть территории России расположена в зонах умеренно континентального, континентального и резко континентального климата. Одним из важнейших критериев отбора хозяйственно ценных растений для этих зон является зимостойкость.

Для большей части территории Республики Татарстан характерен умеренно континентальный климат. Поэтому знакомство учащихся с несложными лабораторными методами диагностики зимостойкости древесных и кустарниковых растений значительно расширяет их кругозор и позволяет под руководством преподавателей планировать и осуществлять свои первые научно-исследовательские проекты.

Зимостойкость (устойчивость ко всему комплексу неблагоприятных условий зимовки) и *морозостойкость* (устойчивость к низким отрицательным температурам) во многом определяются ходом физиологических процессов в осенне-зимний переходный период, характеризующим способность растений подготовиться к суровой зимовке в конкретных условиях произрастания.

Сезонная динамика запасных питательных веществ (*крахмала, липидов, сахаров, белков*) и степень *лигнификации* (одревеснения) побегов по содержанию Ф- и М-лигнина изучается при помощи гистохимических методик [11; 12].

Для занятий и школьных факультативов представляет интерес изучение динамики крахмала в побегах деревьев и кустарников по окончании вегетационного периода и в предзимье (рис. 1; рис. 2). Организационно это очень удобно, потому что в это время уже идут занятия первой четверти, а побеги древесных и кустарниковых растений в минимальном количестве можно нарезать на пришкольной территории.

Изучение сезонной динамики крахмала в побегах. Взаимопревращения углеводов (свободных растворимых сахаров и крахмала) в годичном цикле развития различных по зимостойкости видов или даже сортов одной и той же культуры до настоящего времени используются для диагностики зимостойкости.

Осенью, в период листопада и после него, в тканях побегов и почек отмечается осенний максимум крахмала. В октябре–ноябре происходит гидролиз крахмала и превращение в свободные сахара. Наиболее полное превращение происходит у зимостойких растений. У *слабозимостойких растений крахмал длительное время фиксируется в различных тканях побега (сердцевинных лучах, перимедуллярной зоне, флоэме).*

Сезонная динамика крахмала в побегах изучается с использованием *реакции с йодом в йодистом калии.* Состав реактива: 2 г йодистого калия, 0,2 г кристаллического йода и 100 мл дистиллированной воды. На свежий срез побега, находящийся на предметном стекле, наносят каплю реактива и накрывают покровным стек-

лом. Затем просматривают срез под микроскопом. Содержание крахмала в побегах роз различной зимостойкости в октябре представлено на рисунках 1 и 2.

Сезонный транспорт крахмала в тканях роз имеет *центростремительный характер* – к концу вегетационного периода он наблюдается в сердцевинных лучах, перимедуллярной зоне и сердцевине.

4. Изучение органогенеза

Исследовательские навыки и компетенции можно отрабатывать, в частности, изучая органогенез растений. В этом случае школьники учатся готовить и анализировать препараты – конусы нарастания.

Данные исследования не требуют дорогостоящих химреактивов и могут выполняться с помощью обычного светового микроскопа; они базируются на методике Ф.М. Куперман [14], подробно описывающей 12 этапов органогенеза в развитии генеративных почек у представителей различных семейств. Наиболее удобным объектом для демонстрации и лабораторных занятий является почка возобновления, внутри которой формируются зачатки вегетативных органов, происходит закладка зачаточных органов цветка.

Существует подразделение многолетних растений по срокам закладки и дифференциации цветковых почек на 3 группы:

- 1) Генеративные органы закладываются летом, а цветение происходит весной следующего года (тюльпаны, нарциссы);
- 2) Зачаточные органы цветка закладываются осенью, а цветение происходит весной или в начале лета следующего года (пионы, примулы);
- 3) Генеративная сфера формируется весной или летом текущего года, а цветение происходит летом или осенью этого же года (флоксы, аквилегии).

Интенсивность цветения растений первой и второй групп можно спрогнозировать по степени сформированности зачаточных органов цветка в подземных почках возобновления перед уходом в зимовку. На рисунках 3–5 показаны различия в степени дифференциации конусов нарастания в предзимье от практически сформированного цветка тюльпана до начала формирования вегетативных органов будущего побега у флокса.

Для изучения органогенеза растений в средней школе лучше использовать растения с высоким коэффициентом вегетативного размножения, не являющиеся дорогостоящими, как, например, гиацинты. Наиболее крупные и удобные для препарирования и описания почки возобновления у пионов – для лабораторных работ можно брать материал у растений, высаженных в декоративные бордюры.

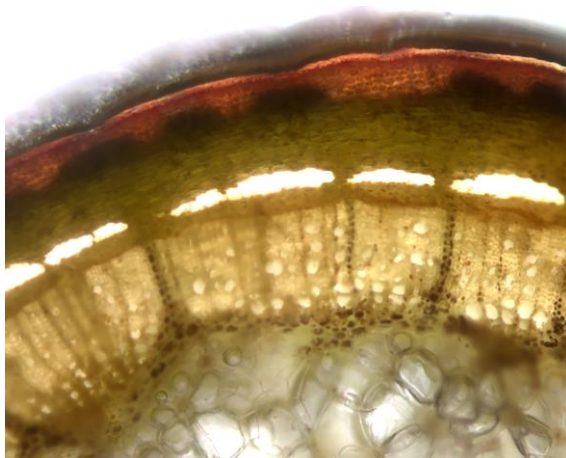


Рисунок 1 – Роза собачья.
Крахмальные зерна встречаются в однорядных сердцевинных лучах и перимедуллярной зоне (зимостойкость средняя)

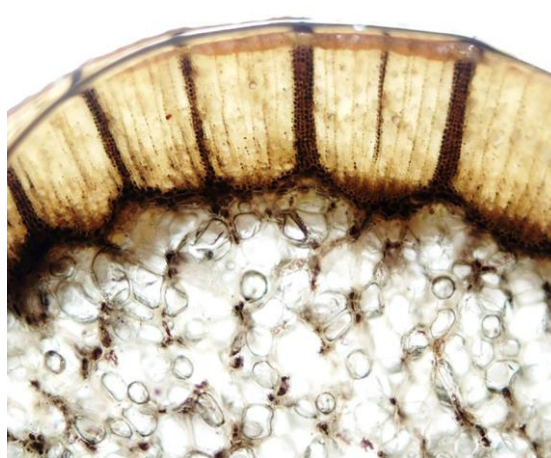


Рисунок 2 – Роза китайская.
Многочисленные крахмальные зерна имеются в многорядных сердцевинных лучах и перимедуллярной зоне (зимостойкость низкая)



Рисунок 3 – Тюльпан Кауфмана – первая группа



Рисунок 4 – Пион тонколистый – вторая группа



Рисунок 5 – Флокс метельчатый – третья группа

Изучение органогенеза пионов состоит из нескольких этапов [20].

Сбор и фиксация почек пионов в условиях умеренно континентального климата производится осенью (октябрь). Следует аккуратно раскопать корневище пиона, не повредив хрупкие почки и срезать их острым ножом или скальпелем у самого основания. Оставшаяся подземная часть растения продолжит расти и развиваться.

Для фиксации используют копенгагенскую смесь – спирт (70%), глицерин (3%), вода (27%), помещая срезаемые почки в банки с фиксатором с притертыми крышками (объемом 200–500 мл).

Препарирование почек. Отделение покровных чешуй для раскрытия конуса нарастания проводят двумя препаровальными иглами на предметном стекле под микроскопом.

Определение и описание этапа органогенеза. В цикле развития генеративной почки пионов выделяют 12 этапов органогенеза.

I этап. Не дифференцированный конус нарастания выглядит как плоский или слегка выпуклый бугорок. Этот этап отмечается в условиях умеренно континентального климата в конце мая.

II этап. Закладываются и формируются вегетативные органы будущего побега (чешуи, листья) – этап наступает после отцветания побега.

III этап. Начинается внутрипочечное формирование оси соцветия, а образование вегетативных органов приостанавливается.

IV этап. На данном этапе для пионов характерен переход от формирования редуцированных листьев к закладке цветка.

V этап. Формирование цветка. Закладываются покровные органы цветка, а также тычинки и пестики. С наступлением зимнего покоя внутрипочечная деятельность приостанавливается до весны.

Изучение органогенеза пионов с III по V этапы (в предзимнем состоянии) представляет наибольший интерес для школьников.

Дальнейшие исследования (VI–XII этапы), связанные с процессами микро- и макроспорогенеза, образованием бутонов, цветением и плодоношением можно начинать в апреле-мае следующего года и продолжать в течение летних каникул.

Для сравнительных исследований можно препарировать живые отделенные или зафиксированные в октябре–ноябре почки возобновления одного-двух видов пионов с разными периодами цветения и одного-двух сортов пионов из разных садовых групп.

В это время почки возобновления находятся на разных стадиях IV и V этапов органогенеза (рис. 6; рис. 7). Почки пиона уклоняющегося отличаются высокой степенью дифференциации органов зачаточного цветка – перед уходом в зиму V этап органогенеза завершается. Пыльники хорошо дифференцированы, в центре просматриваются пестики (рис. 6).



Рисунок 6 – Пион уклоняющийся



Рисунок 7 – Пион гибридный, сорт Лаура Дессерт

В почке возобновления сорта Лаура Дессерт просматривается лишь конус нарастания с зачаточными листьями, что свойственно III этапу органогенеза (рис. 7).

Изучение органогенеза растений может побудить учащихся самостоятельно найти в различных источниках сведения о периодах покоя, которые свойственны изучаемым ими видам в естественных природных местообитаниях. Это дополняет знания учащихся в области морфологии растений, развивает навыки приготовления и анализа препаратов.

5. Технология клонального микроразмножения растений в учебном процессе

Освоение технологии клонального микроразмножения растений включает изучение теоретических основ работы в биотехнологической лаборатории, алгоритмов планирования научных экспериментов, а также преимуществ метода *in vitro* перед традиционными способами размножения. Образовательный процесс охватывает изучение этапов клонального микроразмножения и специфических особенностей регенерации отдельных культур, что направлено на формирование у обучающихся устойчивого интереса к научно-исследовательской деятельности. Для визуализации этапов клонального микроразмножения применяют результаты ранее инициированных экспериментов.

Методическое сопровождение лабораторно-практических занятий включает рабочие тетради по курсу «Биотехнология растений» и специализированные протоколы микроразмножения. В качестве модельного объекта в учебных целях используется протокол регенерации хризантемы корейской.

Протокол клонального микроразмножения хризантемы корейской:

1. Для введения в культуру *in vitro* в качестве исходного материала необходимо использовать побеги хризантемы длиной 10–15 см.
2. Сначала удалить листья, затем разрезать побеги на части с кусочками стебля и вегетативными почками длиной около 5 см, промыть в проточной воде в течение 30 мин.
3. В условиях ламинар-бокса погрузить материал в 70% раствор этилового спирта на 30 сек. с последующим ополаскиванием в стерильной дистиллированной воде.
4. Стерилизовать части побегов в 0,1% растворе азотнокислого серебра, содержащем 0,1% Твин 20 (об./об.) в течение 5 мин. с последующим трехкратным промыванием в стерильной дистиллированной воде по 10 мин.
5. Разрезать побеги на одноузловые сегменты с пазушной почкой и поместить на питательную среду по прописи Мурасиге и Скуга (МС), дополненную 1,0 мг/л 6-бензиламинопурина (БАП), 0,5 мг/л гибберелловой кислоты (ГКз) и 0,5 мг/л 3-индолуксусной кислоты (ИУК) (рис. 8: А).
6. Культивирование проводить при освещенности 3 клк, температуре $+23 \pm 2^\circ\text{C}$, фотопериоде 16/8 (свет/темнота) до получения конгломератов с микропобегами в течение 6–8 недель.
7. Для микроразмножения отделить побеги от конгломератов, затем поместить на питательную среду МС с 0,5 мг/л БАП и 0,1 мг/л ИУК (рис. 8: Б).
8. Через 6 недель полученные конгломераты с микропобегами разделить на отдельные микропобеги, часть микропобегов повторно инокулировать на среду для микроразмножения, часть – перенести на безгормональные среды того же состава для элонгации с целью дальнейшего укоренения (рис. 8: В). Продолжительность этапа элонгации составляет 4 недели.

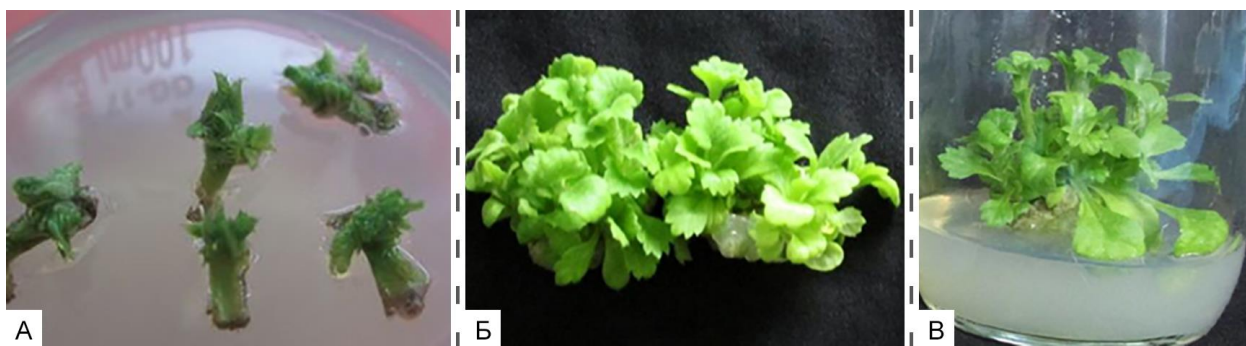


Рисунок 8 – Одноузловые сегменты побегов хризантемы (А), конгломераты микропобегов на среде МС с 0,5 мг/л БАП и 0,1 мг/л ИУК (Б), элонгация микропобегов на безгормональной среде МС (В)

9. Для укоренения *in vitro* микропобеги длиной около 4 см поместить на среду МС с $\frac{1}{2}$ концентрацией макро- и микроэлементов и 0,2–0,5 мг/л 1-нафтилуксусной кислоты (НУК) или 3-индолилмасляной кислоты (ИМК) (культивировать в течение 4 недель) (рис. 9: А).
10. В нестерильных условиях укоренившиеся регенеранты (рис. 9: Б) пересадить в кассеты с почвенным субстратом из смеси торфа (рН 5,5–6,0), песка и вермикулита (1:1:1). Сначала в условия с повышенной влажностью воздуха (не ниже 80%), а затем с постепенным снижением до 50–60%, температурой $+23 \pm 2^\circ\text{C}$ и освещенностью 4–4,5 клк. Маркером успешной адаптации служит исчезновение признаков увядания растений и начало активного роста апикальных и пазушных почек побегов.
11. Через 3–4 недели после посадки подкормить растения раствором среды МС с $\frac{1}{4}$ концентрацией макро- и микроэлементов.
12. Через 6 недель после посадки перенести адаптированные растения в условия теплицы (рис. 9: В), пересадить в горшки для доращивания с коммерческим почвогрунтом.



Рисунок 9 – Укоренение растений-регенерантов хризантемы на среде $\frac{1}{2}$ МС с 0,5 мг/л ИМК (А), укорененные в условиях *in vitro* регенеранты (Б), адаптированные к нестерильным условиям растения (В)

6. Статистическая обработка морфометрических измерений вегетативных и генеративных органов декоративных растений

Морфометрические измерения проводятся в период массового цветения. Эту работу лучше делать вдвоем: один выполняет промеры, а второй – записывает данные в журнал (и, по желанию, меняются местами).

Вычисление статистических характеристик выборки при количественной изменчивости признака проводится в тот же день, в классе, оснащённом компьютерами.

При изучении декоративных растений-интродуцентов традиционно определяются следующие характеристики: высота и ширина куста, число цветков в соцветии, диаметр цветка и др. Число измерений таких параметров, как высота и ширина куста будет ограничено числом растений на экспериментальных делянках. По другим параметрам (число цветков в соцветии) можно выполнить больше измерений. Однако чаще всего, как принято называть это в статистике, объем *выборки* будет небольшим. Если, например, диаметр цветка или масса плода измерена у 20–30 цветков или плодов, то это будет считаться *малой выборкой*.

При проведении статистической обработки в Excel для расчета *среднего арифметического* на панели инструментов выбирают последовательно открывающиеся меню: *Формулы* → *Другие функции* → *Статистические* → *СРЗНАЧ*. Рекомендуется также выбрать формат ячейки (числовой, с одним десятичным знаком) с помощью меню: *Формат Ячейки* → *Числовой* → *Число десятичных знаков: 1*. И скопировать его на ячейки, в которые будут заноситься результаты.

При вычислении *стандартного отклонения* выбираем последовательно открывающиеся меню: *Формулы* → *Другие функции* → *Статистические* → *СТАНДОТКЛОН.Г*. Здесь также будет сначала показан диапазон ячеек для вычисления стандартного отклонения. Его придется скорректировать, уменьшить на одну – иначе уже рассчитанное значение среднего арифметического (табл. 3) добавится в расчет, как тринадцатое измерение, например, высоты куста.

Таблица 3 – Морфометрические признаки вегетативных и генеративных органов флокса метельчатого сорт «Успех» на полутенистом участке в условиях п.г.т. Актюбинский (24.07.2024)

Наблюдения, измерения	Куст		Лист		Соцветие		Цветок
	высота, см	длина, см	ширина, см	высота, см	диаметр, см	диаметр, см	
1	58,0	11,0	4,0	12,0	8,0	3,5	
2	57,0	9,0	4,0	10,0	9,0	3,5	
3	56,0	9,0	3,1	10,0	9,0	3,0	
4	70,0	12,0	3,3	10,0	9,0	3,5	
5	60,0	11,5	3,7	10,0	11,5	3,0	
6	64,0	9,5	2,8	9,0	8,0	3,0	
7	71,0	11,2	3,7	10,0	7,0	3,0	
8	63,0	9,1	2,9	11,0	8,5	3,0	
9	60,0	10,5	3,5	12,0	9,0	3,5	
10	74,0	11,0	3,2	12,0	9,0	3,4	
11	74,0	10,0	3,5	11,0	9,0	3,5	
12	74,0	9,0	3,0	11,0	10,0	3,1	
Среднее арифметическое	65,1	10,2	3,4	10,7	8,9	3,3	
Стандартное отклонение	6,8	1,1	0,4	0,9	1,1	0,2	
$\sqrt{12}$	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	
Коэффициент вариации V%	10,4	10,8	11,8	8,4	12,4	6,1	
Ошибка средней	1,9	0,3	0,1	0,3	0,3	0,1	
Отн. ошибка средней, %	2,9	2,9	2,9	2,8	3,4	3,0	

Примечание. Значения, выделенные жирным шрифтом, являются основными, вносятся в отдельные таблицы, где приводятся данные по различным сортам и видам, а также – в тексты научных статей. Среднее арифметическое и его ошибка записываются в них следующим образом $65,1 \pm 1,9$.

Остальные вычисления проводятся по формулам [15] на калькуляторе компьютера.

Корень квадратный из числа наблюдений (в нашем случае число наблюдений составляет 12):

$$\sqrt{12} = 3,5.$$

Вычисление *коэффициента вариации* осуществляем по формуле:

$$V = s / x \times 100,$$

где s – стандартное отклонение, а x – среднее арифметическое.

Коэффициент вариации (V) – это стандартное отклонение, выраженное в процентах к среднему арифметическому конкретной совокупности. По значению коэффициента вариации можно судить об изменчивости, в данном случае – высоты куста.

Изменчивость считают незначительной, если коэффициент вариации не превышает 10%, средней – когда коэффициент вариации выше 10%, но ниже 20%, и значительной в том случае, когда коэффициент вариации более 20%.

В нашем случае $V = 6,8 / 65,1 \times 100 = 10,4\%$, что показывает высокую выравненность сорта «Успех» по параметру «высота куста», что, в свою очередь, является ценным декоративным качеством и позволяет использовать данный сорт в парадных цветниках.

Абсолютная ошибка выборочной средней вычисляется по формуле:

$$S_x = s / \sqrt{n},$$

а для сорта «Успех»:

$$S_x = 6,8 / 3,5 = 1,9 \text{ см.}$$

Вычисление *относительной ошибки выборочной средней* $S_x\% = S_x / x \times 100$ носит проверочный характер и в таблицы обычно не заносится. Тем не менее, значение $S_x\% \leq 5\%$ говорит о достаточном объеме выборки и высокой точности.

Для параметра «высота куста»:

$$S_x\% = 1,9 / 65,1 \times 100 = 2,9\%.$$

Как видно из таблицы 3, относительная ошибка среднего арифметического (выборочной средней) у всех морфологических параметров в эксперименте очень низкая, 2,8–3,0%, что говорит о достаточном объеме выборки. Значение коэффициента вариации от низкого до среднего (6,1–12,4%). Таким образом, растения флокса метельчатого сорта «Успех» будут создавать высокий декоративных эффект в цветниках за счет своей выровненности.

7. Сортооценка декоративных многолетников на экспозиционных участках

Данная работа также проводилась в период массового цветения. По отдельным культурам сравнительные морфометрические измерения и сортооценка проводились на освещенных и полутенистых участках. Так, у сортов флоксов в полутени формировались более высокие растения с меньшими параметрами соцветия. В рамках эколого-географического испытания сравнивались оценки сортов, выращиваемых в сходных условиях.

Кроме карточек, составленных по Методике госсортоиспытания [10], учащиеся знакомились с рабочими тетрадями для практических занятий по сортооценке для студентов Сибирского государственного университета инженерии и биотехнологий.

В создании эскизов цветочных экспозиций (рис. 10) принимала активное участие магистрант Сибирского государственного университета инженерии и биотехнологий Е.А. Котлова.

Таблица 4 – Сравнительная сортооценка флокса «Успех» на полутенистых участках в лесостепном Приобье (ЦСБС) и в СОШ № 2 Азнакаевского района Республики Татарстан

Окраска цветка	Размер цветка	Форма цветка	Соцветие	Куст	Устойчивость цветков к неблагоприятным метеоусловиям	Обилие цветения	Аромат	Оригинальность	Выровненность сорта	Итого
4*	1	2	2	2	2	3	1	2	1	
Сорт Успех (ЦСБС)										
5/20	4/4	4/8	5/10	5/10	4/8	5/15	4/4	5/10	5/5	94
Сорт Успех (СОШ № 2)										
5/20	4/4	5/10	5/10	5/10	4/8	5/15	4/4	4/8	5/5	92

Примечание. * – в строке представлены переводные коэффициенты.

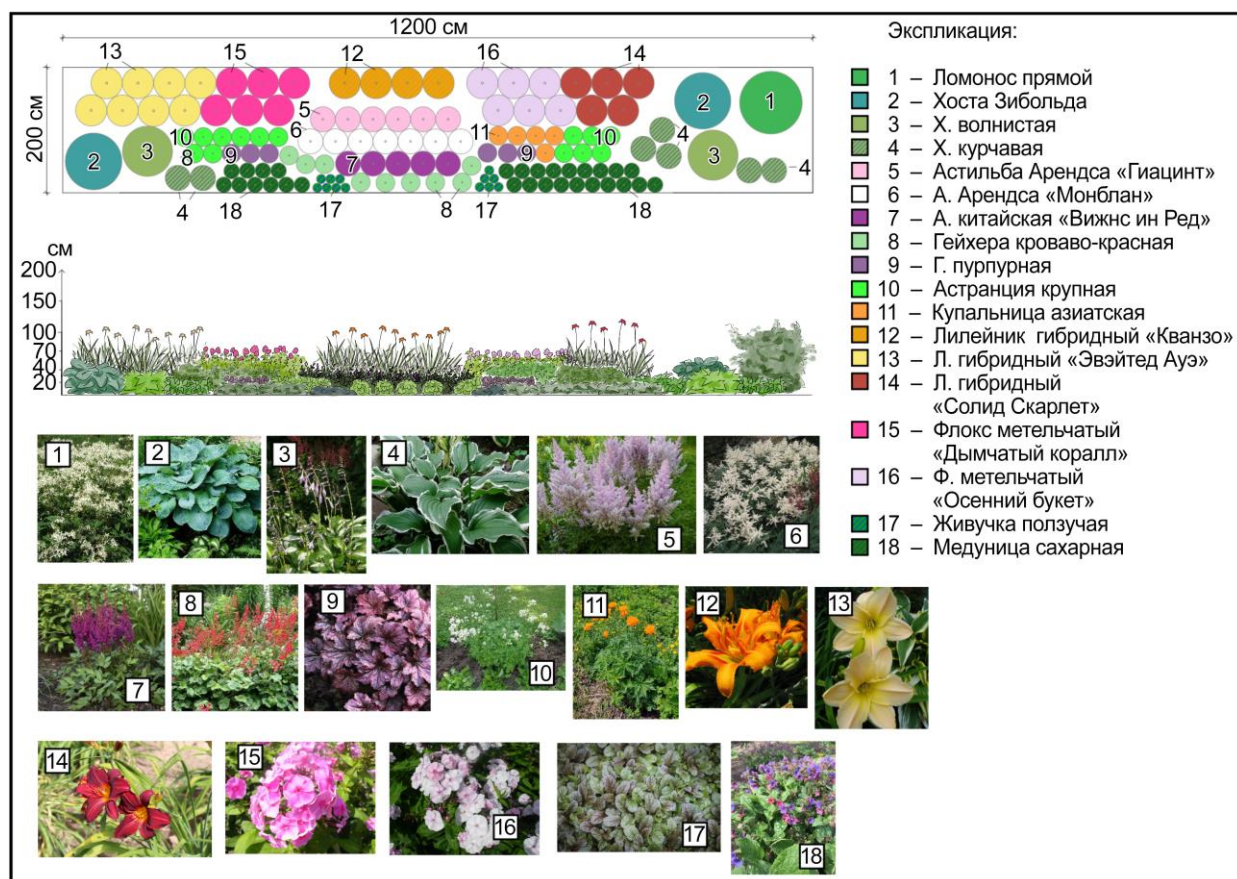


Рисунок 10 – Вариант оформления фрагмента полутенистого участка в СОШ № 2

Заключение

Создание школьного ботанического сада не только как ландшафтного, но и исследовательского объекта позволяет учащимся средней школы собирать данные и участвовать в совместных исследованиях с академическими институтами, становиться соавторами статей.

К методикам, не требующим специального лабораторного оборудования, в которых первичные результаты могут быть получены достаточно быстро, относятся биометрические измерения, статистическая обработка данных, сортооценка декоративных многолетников.

Гистохимические исследования динамики крахмала в побегах древесных и кустарниковых растений знакомят учащихся с тканевым строением побегов, показывают четкие различия уровня подготовки видов растений к зимовке.

Определение этапов органогенеза почек возобновления у декоративных многолетников по окончании вегетационного периода позволяет четко разделить объекты по степени дифференциации почек на три группы.

Список источников:

1. Васильева О.Ю., Сарлаева И.Я. Интродукция декоративных растений в учебных курсах и образовательных программах // Вестник ИрГСХА. 2011. № 44–2. С. 44–51.
2. Гаврилова И.И. Возможности образовательной среды всероссийского центра «Сириус» для образования одаренных детей // Современное географическое образование: проблемы и перспективы развития: материалы всерос. науч.-практ. конф. (г. Москва, 2 ноября 2018 г.) / науч. ред. Е.А. Таможняя. М.: Перо, 2019. С. 226–228.
3. Сибирское отделение РАН и «Татнефть» подписали протокол о сотрудничестве [Электронный ресурс] // <https://tatneft.ru/news/354>.
4. Васильева О.Ю., Зуева Г.А., Фомина Т.И. Экологически обоснованное использование природной и культурной флоры в урбанизированной среде // Наука и технологии. 2021. № 1. С. 72.
5. Биологические лаборатории с теплицами в школах Республики Татарстан [Электронный ресурс] // Добро.рф. <https://dobro.ru/project/10058197>.
6. Васильева О.Ю., Вышегуров С.Х., Козлова М.В., Агафонов А.В., Дорогина О.В. Паспортизация объектов биоресурсной коллекции USU 440534 ЦСБС СО РАН с использованием цифровой семенотеки и цитолого-генетических методов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2023. Т. 16, № 1. С. 24–40.
7. Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ / отв. ред. Г.И. Галазий. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1974. 156 с.
8. Борисова И.В. Сезонная динамика растительного сообщества // Полевая геоботаника. Т. 4 / под общ. ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. Л.: Наука, 1972. С. 5–94.
9. Фомина Т.И. Биологические особенности декоративных растений природной флоры в Западной Сибири. Новосибирск: Гео, 2012. 179 с.
10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 6. Декоративные культуры. М.: Колос, 1968. 223 с.
11. Фурст Г.Г. Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей. М.: Наука, 1979. 155 с.
12. Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятов А.Г., Джалилова Х.Х., Ильина Г.М., Чубатова Н.В. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М.: Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
13. Васильева О.Ю. Оценка зимостойкости видов и сортов роз с использованием гистохимических методов // Садоводство и виноградарство. 2016. № 3. С. 29–34. DOI: 10.18454/vstisp.2016.3.1919.
14. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений: морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений: учеб. пособие. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1984. 240 с.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. Калинин Ф.Л., Сарнацкая В.В., Полищук В.Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. Киев: Наукова думка, 1980. 488 с.
17. Васильева О.Ю., Вышегуров С.Х., Пономаренко Н.В., Зуева Г.А., Ксензова Т.Г., Потапова С.С., Сарлаева И.Я., Седелникова Л.Л., Фомина Т.И. Цветоводство открытого грунта. Новосибирск: Агро-Сибирь, 2014. 284 с.
18. Древесные растения для озеленения Новосибирска / под общ. ред. И.Ю. Коропачинского. Новосибирск: Гео, 2008. 303 с.
19. Синицина И.А., Маджуга А.Г., Ахмерова Н.М., Загитов А.Р. Развитие креативных способностей студентов вузов гуманитарного профиля: концептуальные подходы // Педагогическое образование в России. 2017. № 2. С. 74–81. DOI: 10.26170/po17-02-11.
20. Кузнецова О.В. Органогенез зимующих почек видов и сортов пионов в условиях лесостепи Приобья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2010. № 5 (209). С. 40–45.

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ЦСБС СО РАН по проекту АААА-А21-121011290025-2 «Оценка морфогенетического потенциала популяций растений Северной Азии экспериментальными методами», а также при поддержке БФ «Образование» ПАО «Татнефть» по договорам № 223-ЕП-2022-30, № 1/2023-У/ИК/БФ, № 8/2024-У/ИК/БЛ.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<p>Козлова Маргарита Викторовна, младший научный сотрудник лаборатории интродукции декоративных растений; Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (г. Новосибирск, Россия). E-mail: margaretta23@inbox.ru.</p> <p>Васильева Ольга Юрьевна, доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией интродукции декоративных растений; Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (г. Новосибирск, Россия); профессор кафедры ботаники и ландшафтной архитектуры; Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий (г. Новосибирск, Россия). E-mail: vasil.flowers@rambler.ru.</p> <p>Вышегуров Султан Хаджибикарович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники и ландшафтной архитектуры; Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий (г. Новосибирск, Россия). E-mail: vishegurov-77@yandex.ru.</p> <p>Календар Ольга Васильевна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории интродукции декоративных растений; Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (г. Новосибирск, Россия). E-mail: kuznetsova_olga8@mail.ru.</p> <p>Карпова Евгения Алексеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории фитохимии; Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (г. Новосибирск, Россия). E-mail: karyevg@mail.ru.</p> <p>Амброс Елена Валерьевна, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биотехнологии; Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (г. Новосибирск, Россия). E-mail: ambros_ev@mail.ru.</p>	<p>Kozlova Margarita Viktorovna, junior researcher of Ornamental Plants Introduction Laboratory; Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia). E-mail: margaretta23@inbox.ru.</p> <p>Vasilyeva Olga Yurievna, doctor of biological sciences, associate professor, head of Ornamental Plants Introduction Laboratory; Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); professor of Botany and Landscape Architecture Department; Siberian State University Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia). E-mail: vasil.flowers@rambler.ru.</p> <p>Vyshegurov Sultan Khadzhibikarovich, doctor of agricultural sciences, professor, head of Botany and Landscape Architecture Department; Siberian State University Engineering and Biotechnology (Novosibirsk, Russia). E-mail: vishegurov-77@yandex.ru.</p> <p>Kalendar Olga Vasilyevna, candidate of biological sciences, junior researcher of Ornamental Plants Introduction Laboratory; Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia). E-mail: kuznetsova_olga8@mail.ru.</p> <p>Karpova Evgeniya Alekseevna, candidate of biological sciences, senior researcher of Phytochemistry Laboratory; Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia). E-mail: karyevg@mail.ru.</p> <p>Ambros Elena Valerievna, candidate of biological sciences, head of Biotechnology Laboratory; Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia). E-mail: ambros_ev@mail.ru.</p>

Для цитирования:

Козлова М.В., Васильева О.Ю., Вышегуров С.Х., Календар О.В., Карпова Е.А., Амброс Е.В. Изучение эколого-биологических особенностей растений на базе школьного ботанического сада // Самарский научный вестник. 2025. Т. 14, № 4. С. 163–173. DOI: 10.55355/snv2025144307.