

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЕКЦИИ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР

На правах рукописи

БОЛГОВА АНЖЕЛИКА ОЛЕГОВНА

**ОСОБЕННОСТИ ЗИМОСТОЙКОСТИ СЛИВЫ
РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ**

Специальность 4.1.2 – Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
кандидат сельскохозяйственных наук,
Ожерельева З.Е.

Орёл – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	36
2.1. Условия проведения исследований	36
2.2. Объекты исследований	41
2.3. Методы исследований	45
2.4. Статистическая обработка результатов исследований	55
2.5. Экономическая эффективность	55
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	56
3.1. Изучение физиолого-биохимических процессов адаптации сливы разного генетического происхождения в осенний период	56
3.2. Оценка зимостойкости сортов сливы в полевых условиях	67
3.3. Оценка зимостойкости сортов сливы в контролируемых условиях	68
3.5. Изучение особенностей физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу сливы при II компоненте зимостойкости	82
3.6. Изучение особенностей физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу сливы при III компоненте зимостойкости	88
3.7. Изучение особенностей физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу сливы при IV компоненте зимостойкости	95
3.8. Изучение физиолого-биохимических процессов адаптации сливы разного генетического происхождения в зимний период 2024/25 гг.	102
3.9. Изучение устойчивости цветков и бутонов сливы к весенним заморозкам ..	109

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОРТОВ СЛИВЫ	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
ПРИЛОЖЕНИЕ	146

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и степень разработанности проблемы. Слива (*Prunus*) представляет собой ценную плодовую культуру из числа косточковых растений. Её плоды отличаются высоким содержанием биологически активных компонентов: до 21% сахаров, около 3% органических кислот, до 2,5% пектиновых веществ, а также 22 мг витамина С на 100 г сырой массы (Журавель и др., 2007). За счёт такого химического состава плоды сливы проявляют ряд полезных свойств для организма человека, включая противовоспалительные, антиоксидантные и другие биологические эффекты (Igwe, Charlton, 2016; Scudei, 2019). Плоды употребляются в пищу как в сыром, так и переработанном виде: варенье, сухофрукты, алкогольные напитки и т.д. (Ерёмин, 2017, 2019). Древесина используется для изготовления украшений, музыкальных инструментов, отделке мебели.

В настоящее время известно более двух тысяч её сортов. Это одна из самых интенсивно выращиваемых косточковых культур в мире, которая входит в группу высокорентабельных плодовых культур. Общая мировая площадь посадок сливы составляет 800 тыс. га, ежегодный валовой сбор плодов – более 12 млн. т (<https://www.atlasbig.com/ru>). К числу ведущих стран по объёмам производства сливы относятся Китай (6 676 142 тонн), Румыния (512 975 тонн) и Сербия (463 115 тонн). Промышленное выращивание этой культуры эффективно организовано в Молдавии, на территории Украины, в регионах Северного Кавказа, Средней Азии, Беларуси, а также в Нижнем Поволжье и на Дальнем Востоке, где слива занимает одну из ведущих позиций среди плодовых культур. В международном рейтинге промышленного выращивания сливы Россия находится на 13 месте, производя 164 602 тонн слив в год. При интенсивном возделывании урожайность может достигать 30-35 т/га (Заремук, 2018). В России площадь насаждений сливы составляет менее 5% от общей площади плодовых садов, при этом преобладают старовозрастные деревья с относительно низкой продуктивностью (Кальченко, 2014).

К тому же, существующие в производстве сорта, включая районированные, часто демонстрируют недостаточную адаптацию к условиям регионов их возделывания. Несмотря на ряд положительных признаков, таких как высокое качество плодов, способность к быстрому вступлению в плодоношение и хорошая восстановительная способность деревьев, многие сорта сливы оказываются уязвимыми в условиях суровых зим. Особенно это проявляется при резких температурных перепадах – чередовании оттепелей и морозов (Гуляева и др., 2025), – когда наблюдается значительное подмерзание цветковых почек и повреждение деревьев, в частности коры, страдающей от солнечных ожогов. Цветение сливы нередко совпадает с неблагоприятными погодными явлениями, такими как весенние заморозки, что часто приводит к полной утрате урожая. Помимо этого, слабая устойчивость к патогенам и вредителям ухудшает физиологическое состояние деревьев и снижает товарные качества плодов (Федулов и др., 2015). Слива также чувствительна к летне-осеннему дефициту влаги в почве, особенно в годы с высокой урожайностью, когда значительное количество углеводов расходуется на формирование плодов. В таких условиях деревья часто оказываются недостаточно подготовленными к зимнему периоду. Повреждения также могут возникать при затяжном вегетативном росте, вызванном избыточной влажностью в летние месяцы: в этом случае ткани не успевают вызреть, и деревья страдают даже в относительно мягкие зимы (Ерёмин, Витковский, 1980; Савельев и др., 2010).

Центральная Россия является зоной рискованного плодоводства с точки зрения выращивания косточковых культур, в частности сливы. Это связано с воздействием неблагоприятных климатических факторов зимне-весеннего периода, снижающих устойчивость к ним и продуктивность возделываемых сортов этой плодовой культуры. Большинство возделываемых сортов, принадлежащих к виду *Prunus domestica*, в Средней полосе недостаточно зимостойки. По сравнению с ними более морозостойкими являются сорта, в происхождении которых принимали участие такие виды как: *Prunus salicina*, *Prunus ussuriensis*, *Prunus americana*, *Prunus × rossica* Erem. и некоторые другие.

Таким образом, проблема зимостойкости косточковых культур относится к числу фундаментальных задач и постоянно изучается по причине ее значимости. Так, одним из условий интенсификации садоводства является повышение продуктивности не только за счёт дополнительных экономических затрат, но и за счёт наиболее полного использования биопотенциала устойчивости растений плодовых культур к низкотемпературному стрессу. В этом контексте остаётся актуальной задача по изучению устойчивости сортов сливы различного генетического происхождения к неблагоприятным условиям зимне-весеннего периода. Особое значение приобретает выделение форм, обладающих высокой зимостойкостью, с целью их дальнейшего использования в селекционных программах, а также для внедрения в производственные посадки и любительское садоводство. Отобранные устойчивые сорта представляют значительную ценность как исходный материал для создания новых форм с заданными адаптивными и хозяйственными важными признаками. Использование данных генотипов в промышленном садоводстве способствует существенному повышению продуктивности насаждений в Центральной России, что, в свою очередь, стимулирует развитие интенсивных технологий в отрасли.

Цель исследований: на основе изучения особенности функциональной сопряжённости физиолого-биохимических процессов устойчивости к действию низкотемпературного стресса в зимне-весенний период и полученных знаний выделить зимостойкие генотипы сливы для использования в селекции и в производстве.

Задачи проведения исследований:

1. Изучить зимостойкость сортообразцов сливы различного генетического происхождения в полевых и контролируемых условиях.
2. Изучить физиолого-биохимические процессы адаптации, проходящие в осенний период у сливы различного генетического происхождения: изменения в водном режиме – фракционный состав воды; в белково-углеводном обмене – содержание крахмала, активность амилазы, количество сахаров, накопление аминокислоты пролин.

3. Выявить на каждом этапе моделирования компонентов зимостойкости особенности физиолого-биохимических процессов устойчивости сливы к низкотемпературному стрессу: изменения в антиоксидантной системе защиты – активность каталазы и пероксидазы; изменения в белково-углеводном обмене – накопление аминокислоты пролин и сахаров; интенсивность процессов перекисного окисления жирных кислот – содержание малонового диальдегида (МДА).

4. Изучить устойчивость репродуктивных органов сортообразцов сливы различного генетического происхождения к весенним заморозкам в полевых и контролируемых условиях.

5. Выделить зимостойкие сорта сливы в результате изучения особенности функциональной сопряжённости физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу в зимне-весенний период на основе моделирования повреждающих факторов.

6. Рассчитать экономическую эффективность возделывания зимостойких сортов сливы в условиях Центральной России.

Научная новизна. В условиях Центральной России выявили особенности физиолого-биохимических процессов адаптации, проходящие в осенний период у сливы. Установили, что у представителей *P. × rossica* и *P. salicina* гидролиз крахмала проходил более интенсивно, за счет чего у них значительно увеличилось содержание сахаров в коре однолетних побегов по сравнению с сортами *P. domestica*. Отметили существенное повышение содержания аминокислоты пролин и соотношения связанная вода/свободная вода к началу зимы у сливы. Впервые установили потенциал устойчивости сортообразцов сливы на основе изучения особенности функциональной сопряженности физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу по каждому этапу моделирования компонентов зимостойкости. Определили уровень устойчивости сортов сливы к весенным заморозкам. На основе полученных новых знаний об особенности функциональной сопряжённости физиолого-биохимических процессов устойчивости к действию низкотемпературного стресса в зимне-

весенний период выделили зимостойкие сорта сливы для селекции и практического применения. Показали экономическая эффективность возделывания сливы зимостойких сортов.

Теоретическая и практическая значимость. На основе изучения особенности функциональной сопряжённости физиолого-биохимических процессов устойчивости к действию низкотемпературного стресса в зимне-весенний период определили источники зимостойкости, рекомендуемые для дальнейшей селекции. Выделили высокорентабельные сорта для создания интенсивных насаждений сливы, способных обеспечить урожайность в пределах 36-56 ц/га в условиях низкотемпературного стресса.

Положения, выносимые на защиту:

1. Выявленные особенности функциональной сопряжённости физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу позволяют выделить зимостойкие сорта сливы для селекции и производства.
2. Установленные закономерности физиолого-биохимических процессов акклиматизации в осенний период позволяют выявить наиболее адаптивные сорта сливы.
3. Доказано, что выделенные зимостойкие сорта *P. salicina*, *P. domestica* и *P. × rossica* являются перспективными для использования в качестве исходных форм в селекции и выращивании в производстве.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертации были доложены на научных конференциях: Международная научно-практическая онлайн-конференция молодых ученых и специалистов «Актуальные вопросы и инновационные направления развития АПК глазами молодых ученых» (ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл, 2021); Международная научная конференция «Механизмы регуляции продукционного процесса растений: от молекул до экосистем» в рамках V Ефремовских чтений (ФГБОУ ВО ОГУ, г. Орёл, 2021); Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИСПК, г. Орёл, 2022); Научный онлайн семинар

«Генетические ресурсы косточковых культур: вчера, сегодня, завтра. Научный онлайн-семинар памяти В.П. Царенко» (ВИР, Санкт-Петербург, 2023); Региональная научно-практическая конференция Орловского отделения Общества физиологов растений РФ «Физиология растений – методологическая основа растениеводства» (ФГБОУ ВО ОГУ, г. Орёл, 2023); Научно-практическая конференция «Проблемы и основные направления развития селекции и сорторазведения плодовых и ягодных культур» (ФГБНУ ВНИИСПК, г. Орёл, 2023 г); VI Международная научно-практическая конференция «Перспективы отраслевого взаимодействия в комплексной реабилитации» (ФГБОУ ВО ОГУ, г. Орёл, 2023); Научно-практическая конференция «Достижения и перспективы молодых учёных в науке» (ФГБНУ ВНИИСПК, г. Орёл, 2023); Международная научно-практическая онлайн-конференция молодых ученых и специалистов «Перспективы роста производства и переработки сельскохозяйственной продукции в АПК России» (ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл, 2023); Международная научно-практическая онлайн-конференция молодых учёных и специалистов «Достижения и перспективы молодых учёных в науке» (ФГБНУ ВНИИСПК, Орёл, 2024 г); VII международная научно-практическая интернет-конференция по актуальным проблемам в области биотехнологии «Рациональное использование сырья и создание новых продуктов биотехнологического назначения» (ГАУ, г. Орёл, 2024).

Публикации. Результаты диссертационного исследования нашли отражение в публикациях 7 статей, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК, и входящих в международную систему цитирования Scopus.

Личный вклад соискателя состоит в участии на всех этапах проведения исследований, выполнении самостоятельно обзора и анализа научной литературы, экспериментальных исследованиях, обработке и обобщении результатов, позволяющих сделать обоснованные заключение и рекомендации.

Государственные контракты. Работа выполнялась при поддержке Государственного задания по теме:

«Оценка плодовых, ягодных и орехоплодных культур биоресурсной коллекции ВНИИСПК по показателям их экологической адаптивности с применением методов биотехнологии, физиологии, биохимии и конструирования генотипов для создания промышленно значимых сортов плодовых, ягодных и орехоплодных культур, адаптированных к интенсивным технологиям возделывания (FGZS-2024-0008)».

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 153 страницах. Состоит из введения, основной части, содержащей 44 таблицы и 8 рисунков, заключения, выводов, рекомендаций, списка литературы, приложения.

Благодарности. Соискатель выражает глубокую признательность научному руководителю – кандидату сельскохозяйственных наук, ведущему научному сотруднику Ожерельевой Зое Евгеньевне за ценные научные и методические рекомендации, редактирование текста рукописи, а также за конструктивные замечания и советы на всех этапах подготовки диссертации.

Автор диссертационной работы искренне благодарит кандидата сельскохозяйственных наук, ведущего научного сотрудника и селекционера Гуляеву Александру Алексеевну, а также научного сотрудника Ефремова Игоря Николаевича за содействие в подборе объектов исследования, предоставление растительного материала и всестороннюю помошь, оказанную в процессе выполнения экспериментальной части и написания работы.

Отдельная благодарность кандидату биологических наук, старшему научному сотруднику Прудникову Павлу Сергеевичу, а также младшим научным сотрудникам Ступиной Анне Юрьевне и Андросовой Анне Владимировне за активное участие и помошь в проведении физиолого-биохимических исследований, результаты которых легли в основу данной диссертации.

Автор также выражает признательность ведущему экономисту Есиной Оксане Николаевне за помошь в расчете экономической эффективности возделывания сортов сливы, представленных в исследовании.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Слива как объект селекционных исследований

Род *Prunus* из семейства Розоцветные (*Rosaceae*) включает порядка 250 видов: слива домашняя, алыча, терн, тернослива, слива канадская, слива американская, слива китайская, слива уссурийская, слива русская и др. Слива представляет собой дерево, достигающее высоты до 12 метров, либо высокий кустарник – от 3 до 6 метров. Листья очередные, эллиптической или яйцевидной формы, длиной 4-10 см и шириной 2-5 см, зубчатые по краю, на коротких черешках, с опушённой нижней стороной. Цветковые почки одиночные, формируют от одного до трёх цветков. Цветки белого окраса, диаметром от 1,5 до 2 см. Плод – костянка различных оттенков: фиолетового, жёлтого, красного, бледно-зелёного, чёрно-синего, часто покрытая сизым восковым налётом. Косточка уплощённая, с заострёнными концами.

Слива входит в число ведущих косточковых культур, активно возделываемых в условиях Центральной России (Симонов, 2018). Высокая пищевая и биологическая ценность её плодов обусловлена не только выраженным вкусовыми качествами, но и содержанием физиологически активных веществ (Igwe, Charlton, 2016; Arjmandi et al., 2017), включая сахара, органические кислоты, витамины, минералы и антиоксиданты (Lombardi-Boccia et al., 2004; Gil et al., 2002). Сушеные плоды сливы (чернослив) относятся к категории сухофруктов. В период цветения культура выступает поздневесенним медоносом, обеспечивая пчелам нектаропродуктивность до 10 кг меда с гектара насаждений. Семена сливы домашней служат сырьем для получения невысыхающего масла, применяемого в фармацевтике. Экстракт мякоти плодов используется в составе препарата «Кафиол». Деревья сливы популярны в ландшафтном дизайне благодаря декоративности. Кроме того, они отличаются скороплодностью, высокой урожайностью и способностью к восстановлению после механических повреждений.

Основополагающим этапом в создании адаптивных сортов сливы стали работы выдающегося селекционера И.В. Мичурина (1949), который вывел ряд сортов, актуальных и по сей день, включая такие, как Ренклод колхозный и Ренклод Реформа. Его научное направление было продолжено целой плеядой исследователей советского периода – А.Н. Веньяминовым (1954), Е.П. Финаевым (1957), Г.Т. Казьминым (1966), Ф.Н. Рыкалиным (1987), Г.А. Курсаковым (1989) и другими учёными.

Широкий спектр исследований, посвящённых вопросам адаптации сливы к различным условиям произрастания, представлен в материалах Северо-Кавказского зонального НИИ садоводства и виноградарства (СКЗНИИСиВ) (Заремук, 2017, 2018). В частности, установлено, что при закладке садов на подвоях селекции института сорт Stanley демонстрирует высокую устойчивость как к возвратным весенним заморозкам, так и к засушливым периодам лета (Захарчук, 2011). В Крымской опытной станции садоводства также велась активная работа по созданию сортов, отличающихся засухо- и морозоустойчивостью (Ерёмин, 2017, 2019). Так, сорт Кубанский Карлик (*P. domestica*) продемонстрировал достаточную зимостойкость в условиях Подмосковья (Симонов, 2018), а такие сорта, как Кубанская Легенда, Венгерка Новая и Синяя птица, успешно возделываются в Ростовской области.

Значительный вклад в развитие сортимента сливы в Московской области внесли Х.К. Еникеев и С.Н. Сатарова (1987), которые путём внутривидовой гибридизации среднерусских и западноевропейских форм *P. domestica* вывели ряд перспективных сортов. Эти сорта нашли распространение не только в Подмосковье, но также в соседних регионах, на Алтае и в Дальневосточном регионе (Куликов и др., 2018). Их работа была продолжена современными специалистами, что позволило выделить формы с оптимальным сочетанием хозяйствственно-ценных признаков (Симонов, 2014, 2017; Бурменко, Симонов, 2019).

В условиях Среднего Урала по совокупности полезных признаков был выделен сорт Уральские зори (*P. salicina*) (Исакова, 2018). Для Дальнего Востока

выведены устойчивые сорта Приморочка, Людмила и Ромэн (Яковлева, 2017). В Поволжском регионе, где также остро стоит вопрос устойчивости культур к неблагоприятным погодным условиям, проведённые исследования позволили выделить жаро- и засухоустойчивые сорта сливы: Осенний Сувенир, Анжелина, Андреевская, Богатырская, Венгерка кавказская, Ранняя и Колонновидная (Солонкин и др., 2019). Также были определены перспективные подвои, способствующие повышению адаптационного потенциала сортов в условиях Бурятии (Киргизова, 2011).

Одним из ведущих центров селекционной работы по сливе в Центрально-Чернозёмном регионе признан ВНИИСПК (Джигадло, Гуляева, 2013). Существенный вклад в развитие селекции косточковых культур на территории Орловской области внесли такие учёные, как Ю.И. Хабаров, Е.Н. Джигадло, А.Ф. Колесникова (1998), а также А.А. Гуляева (2015). Сорта *P. salicina*, созданные в этом учреждении, демонстрируют высокую адаптивность к местным климатическим условиям, устойчивость к морозам и стабильную продуктивность. Среди них особого внимания заслуживают Алёнушка, Краса Орловщины, Орловская мечта, Болховчанка и другие (Кальченко, 2014).

В последние десятилетия на территории Российской Федерации наблюдается увеличение частоты климатических аномалий, включая экстремально низкие и высокие температуры, значительные колебания суточных температур, продолжительные оттепели зимой, а также неравномерное распределение осадков. Эти изменения в агроклиматических условиях оказывают существенное негативное влияние на плодовые культуры, что делает необходимым пересмотр и улучшение их сортового состава. Включение в него сортов, более приспособленных к местным погодным условиям, становится важным шагом для обеспечения устойчивости аграрного сектора (Егоров, 2012).

Повреждение морозами сливовых деревьев регистрируется во всех зонах их культивирования (Упадышева, 2015; Фёдорова, Упадышева, 2015). Наибольшей устойчивостью к холодам обладают разновидности тёрна и терносливы. Представители *P. domestica* (Самощенков и др., 2008) демонстрируют

пониженную резистентность к экстремальным зимним температурам. В периоды аномальных холодов повреждения стволов деревьев достигают границы снежного покрова. Наиболее уязвимыми структурами у данного вида выступают генеративные почки и побеги текущего года (Савельев и др., 2010). В средней полосе России максимальную зимостойкость проявляют сорта, выведенные с использованием генетического материала *P. salicina* (Джигадло, Гуляева, 2011).

В последнее время повысилась востребованность в современных садоводческих хозяйствах сортов *P. × rossica* (гибридная алыча). Однако созданный ассортимент сортов этой культуры (Ненько, Дорошенко, Гасанова, 2012) требует дальнейшего анализа, так как отдельные генотипы обладают ограниченной адаптационной способностью. Основными абиотическими стрессовыми факторами, определяющими степень устойчивости растений, выступают низкие температуры в зимний период, возвратные заморозки весной, а также летняя засуха, особенно при сочетании с высокими температурами воздуха. Эти неблагоприятные условия существенно влияют на урожайность, регулярность плодоношения и качество продукции у различных сортов *P. × rossica* (Горина, Рихтер, 2006).

Ограниченнная реализация продуктивного потенциала сливы в условиях воздействия неблагоприятных факторов зимне-весеннего периода (Bogunovic et al., 2015) подчеркивает необходимость углубленного изучения зимостойкости сортов. Основным инструментом оценки зимостойкости садовых культур остается полевой метод, требующий многолетних наблюдений для получения достоверных данных в условиях повторяемости повреждающих факторов. Для ускорения оценки зимостойкости применяют метод искусственного промораживания. Комплексный подход, сочетающий многолетние наблюдения в саду с лабораторным моделированием основных компонентов зимостойкости, весенних заморозков и физиолого-биохимическим анализом, позволяет повысить точность оценки и прогнозирования зимостойкости сортов.

1.2. Физиолого-биохимические процессы адаптации растений в осенний период

В осенний период при снижении температуры воздуха активизируются защитные механизмы растений, и интенсивность процессов их метаболизма снижается (Стольникова, 2014). Акклиматизация растений к отрицательной температуре характеризуется регуляцией обменных процессов, которые приводят к различным морфологическим, биохимическим и физиологическим изменениям в растениях (Fang et al., 2021; Guo et al., 2021; Satyakam et al., 2022). Формирование устойчивости растений к воздействию низких температур (гипотермии) возможно при условии завершения вегетативного роста, успешного прохождения этапов закаливания и перехода растений в фазу физиологического покоя (Стольникова, 2014).

При закалке осенью в растениях происходит биосинтез антифризных и запасных соединений (растворимые сахара, специфические аминокислоты – пролин, глицин, аланин и т.д) (Saddhe et al., 2020; Ming et al., 2021), видоизменяется водный статус (Ozherelieva et al., 2016), что в дальнейшем позволяет растениям переносить гипотермические условия зимы.

Одним из основных показателей подготовки растений к зимовке служит аккумуляция запасных веществ, к примеру крахмала. Данный полисахарид выступает основным запасным субстратом, чье осеннее накопление важно для энергообеспечения метаболических процессов в зимний сезон. При понижении температуры крахмал подвергается гидролизу с образованием моносахаридов, которые служат источником энергии, необходимой для поддержания клеточного гомеостаза в стрессовых условиях (Босиева, Нартикоева, 2014). Ключевую роль в этом процессе играет фермент амилаза, катализирующий расщепление запасных углеводов до простых сахаров, обеспечивающих жизнеспособность клеточных структур в период низких температур.

Повышенная активность амилазы в осенние месяцы отражает раннюю активацию механизмов мобилизации резервов до наступления экстремальных

условий. Интенсификация работы фермента коррелирует со способностью растений использовать углеводный обмен для повышения стрессоустойчивости (Fulton et al., 2008).

При отрицательной температуре может значительно ухудшаться отток воды из клеток у растений, и появляться много переохлажденной воды, которая затем замерзает внутри протопласта, что приводит к гибели растительных клеток (Кузнецов, Дмитриева, 2005). Способность растений противостоять неблагоприятным факторам среды напрямую коррелирует с характеристиками внутриклеточной воды, особенно с соотношением свободной и связанной её формами (Красова и др., 2014). Данное соотношение служит важным показателем адаптационных механизмов, активируемых при сезонном снижении температур в осенне-зимний период. У плодовых и ягодных культур к началу зимы отмечается выраженное возрастание концентрации связанной воды на фоне уменьшения свободной (Ozherelieva et al., 2016, 2020). Установлено, что соотношение связанной и свободной воды у зимостойких сортов плодовых культур, как правило, выше, чем у менее устойчивых к морозам форм. Это свидетельствует о более эффективной водной организации клеток, способствующей их устойчивости к низкотемпературному стрессу (Красова и др., 2014). Существенное влияние на водоудерживающую способность клеток в осенне-зимний период оказывают низкомолекулярные осмопротекторы, в том числе пролин и сахара (Прудников и др., 2017). Аминокислота пролин, совместно с сахарами, выполняет защитную функцию, предотвращая инактивацию белков при частичном обезвоживании и способствуя снижению температуры кристаллизации содержимого протопласта (Кузнецов, Дмитриева, 2005).

Пролин представляет собой аминокислоту, играющую важную роль в механизмах адаптации растений к температурным стрессам. Его накопление в клетках способствует стабилизации мембранных структур, защите от дегидратации и предотвращению повреждений при переохлаждении. Благодаря своим осмопротекторным свойствам пролин обеспечивает сохранность клеточной целостности, препятствуя денатурации белков и нарушению метаболических

процессов в условиях гипотермии. Научные исследования подтверждают, что повышение концентрации пролина коррелирует с уровнем морозоустойчивости и общей выживаемостью растений при длительном воздействии низких температур (Прудников и др., 2017).

Сахара, в свою очередь, являются не только важным источником энергии для клеточного метаболизма, но и выполняют криозащитную функцию. Рост концентрации сахаров в растительных тканях в период понижения температур тесно связан с переходом растений в состояние глубокого физиологического покоя, при котором происходит замедление метаболической активности. Выполняя функцию криопротекторов, сахара способствуют понижению температуры замерзания клеточного сока, тем самым предотвращая формирование кристаллов льда внутри клеток (Yue et al., 2015). Наряду с этим, углеводы играют важную роль в поддержании осмотического равновесия, обеспечивая сохранение клеточной гидратации и снижая риск обезвоживания при воздействии отрицательных температур (Красова и др., 2014). В проводимых ранее исследованиях отмечено, что в результате гидролиза крахмала в осенний период наблюдали существенное увеличение содержания сахаров (на 9,9% и 10,8% соответственно) к началу зимы в коре однолетних побегов сортов *P. salicina* и *P. × rossica* (Ozherelieva, Bolgova, 2024).

Таким образом, значительное накопление в растительных тканях сахаров за счет гидролиза крахмала, повышение уровня связанной воды и низкомолекулярного осмолита – свободного пролина являются важными адаптационными механизмами, связанными с понижением температуры, что позволяет использовать эти биохимические показатели для диагностики формирования зимостойкости сортов сливы в осенне-зимний период.

1.3. Зимостойкость растений сливы в полевых условиях

Способность плодовых и ягодных культур противостоять воздействию абиотических стрессов является одной из ключевых характеристик, определяющих их значимость и экономическую целесообразность выращивания в

конкретных климатических условиях (Савельев и др., 2010). По данным А.А. Жученко (2001), около 76% сельскохозяйственных угодий по всему миру подвергаются различным видам неблагоприятных воздействий – температурному, водному и минеральному стрессу. В Российской Федерации большая доля садовых насаждений размещена в зоне рискованного земледелия, что делает проблему устойчивости сортов особенно актуальной.

Главными стрессорами холодного времени года являются следующие факторы: сильные зимние морозы, резкие понижения температуры после оттепелей и солнечного нагрева, осенние и весенние заморозки, зимнее иссушение, вымокание, выпревание, ледяная корка и выпирание (Тюрина и др., 2002).

Низкотемпературный стресс, которому подвергаются садовые культуры в зимний период на значительной территории России, остаётся одним из ключевых факторов, ограничивающих урожайность и продолжительность использования плодовых насаждений. Согласно данным ряда исследований, в европейской части России до 98% всех зимних повреждений приходится именно на воздействия морозов (Седов, Красова, 1979; Седов, 1980; Тюрина, Гоголева, 1978; Кичина, 1993, 1999). В связи с этим, в большинстве случаев понятие зимостойкости растений фактически равносильно их способности переносить низкие температуры, то есть морозостойкости.

В течение последних двух десятилетий январские морозы 2006 года стали причиной значительного ущерба для садоводства в большинстве регионов России. В течение 10-12 суток наблюдались аномально низкие температуры: Краснодарский край -25...-37 °C; Дагестан -18...-20 °C; Ставропольский край -26...-30 °C; Ростовская область -26...-32 °C (Егоров, 2006; Причко, Крицкий, 2008).

На территории Кубани в 2006 году наблюдались серьёзные последствия воздействия мороза: у сортов *P. × rossica* уровень повреждения цветковых почек составил 90-98%, у *P. domestica* – 70-80%, при этом была зафиксирована гибель 2-3-летней древесины (оценка 3-4 балла). Особенно сильно пострадали молодые

посадки косточковых культур, заложенные осенью 2005 года, включая сорта *P. domestica*: у сортов Blue Free и Black Star повреждения составили 60-80%, у сорта Stanley – 90-95% (http://www.agroyug.ru/page/item/_id-535/).

Похожие последствия наблюдались и в Средней полосе. В условиях Тамбовской области (г. Мичуринск) в этом году фиксировались экстремально низкие температуры: абсолютный минимум достигал -34 °С в январе и -37,5 °С в феврале, а в пониженных рельефных участках возле водоёмов температура опускалась до -42...-45 °С (Григорьева, 2007). При этом в Тамбовской, Липецкой и Воронежской областях были зафиксированы массовые повреждения древесины и генеративных почек у представителей косточковых пород (Григорьева, 2007). Вишня, черешня и алыча в этих регионах потеряли 80-100% цветковых почек, что привело к полной утрате урожая (Абызов и др., 2008).

В Орловской области также отмечались критические значения: температура воздуха снижалась до -36,5 °С, а у поверхности снежного покрова – до -39,3 °С (Красова и др., 2014). Эти погодные аномалии стали причиной гибели генеративных почек и значительных повреждений однолетних побегов у сливы и других косточковых культур, степень которых достигала 3,0 балла по шкале оценки зимних повреждений (Гуляева, 2010).

По данным Е.Н. Джигадло, у сортов *P. domestica* отмечено критическое повреждение цветковых почек и однолетних побегов. Наименьшие потери зафиксированы у гибридов на основе *P. salicina*, урожайность которых составила 60 ц/га (при средней 250 ц/га). У алычи наблюдалась полная гибель почек и сильные повреждения побегов, что привело к нулевой урожайности (Кузнецов и др., 2007).

Засуха и экстремальные температуры, в отличие от морозов, редко вызывают мгновенную гибель растений, но снижают их устойчивость к другим стрессорам (Сазонов и др., 2012). Например, после засушливого лета 2010 г. сливовые сады Орловской области вступили в зиму 2010/11 гг. ослабленными, что негативно отразилось на зимостойкости генеративных почек. Существенные повреждения почек и тканей были отмечены у сортов *P. domestica*, а наибольшую

устойчивость продемонстрировали сорта *P. salicina* (Джигадло, Гуляева, 2011). После зим 2023 и 2024 гг. отметили сильное подмерзание генеративных почек у сортов Золотое руно (погибло 39,0% и 70,0% соответственно) и Сувенир Востока (погибло 56,6% и 78% соответственно).

В условиях Южного Урала косточковые породы, по наблюдениям Ф.М. Гасымова (2017), особенно сильно пострадали от воздействия экстремальных температур в зимние периоды 2006-2010 годов. Эти зимы отличались суровым климатом, при котором температура воздуха опускалась до -40 °С. Среди всего ассортимента исследуемых культур *P. ussuriensis* оказалась единственной, которая не проявила признаков повреждения в таких экстремальных условиях (Гасымов, 2017).

Слива активно возделывается как на территории России, так и за её пределами. Зарубежные учёные (Okatan et al., 2017; Potor et al., 2018; Tomić et al., 2019; Ceccarelli et al., 2021; Wang et al., 2021) ведут интенсивные исследования, направленные на совершенствование сортов сливы с целью повышения их адаптивности и хозяйственной ценности в конкретных агроклиматических условиях. Например, в южной степной зоне Украины в январе 2006 года понижение температуры до -26...-29 °С привело к полной гибели генеративных почек алычи. Аналогичная ситуация наблюдалась в феврале 2007 года: после длительной оттепели и последующего резкого похолодания до -16,3 °С было зафиксировано повреждение 49% плодовых почек у этой культуры (Красуля, Толстолик, 2011). Для стран Северной Европы морозоустойчивость генеративных почек сливы имеет ключевое значение для продуктивности садов (Dekena et al., 2019). В Эстонии и Латвии изучено влияние подвоев на устойчивость цветковых почек *P. × rossica* и *P. domestica* к низким температурам (Декена и др., 2011). В 2004 году в Эстонии сорт *P. domestica* – Виктория полностью потерял урожай из-за морозов, тогда как у представителя *P. × rossica* – Кубанская комета повреждения были минимальны, что позволило сохранить плодоношение (Jänes et al., 2007). Исследователи отмечают, что наибольшую опасность для плодовых почек представляют возвратные морозы в конце зимы. При потеплении

активируются ростовые процессы, выводящие растения из состояния покоя (Allona et al., 2008), а последующие морозы приводят к их гибели. Установлено, что степень повреждения почек отрицательными температурами варьирует в зависимости от фазы зимовки (Szalay et al., 2017).

Таким образом, зимние абиотические стрессоры напрямую влияют на урожайность, стабильность плодоношения и качество плодов сливы. Это подтверждает необходимость изучения зимостойкости сортов при формировании сортимента для закладки садов в условиях средней полосы России.

1.4. Основные компоненты зимостойкости плодовых растений

Зимостойкость – способность растений противостоять комплексу неблагоприятных факторов зимнего периода (Данилова, 2011). Зимостойкость плодовых растений начинает формироваться задолго до завершения вегетации и во многом зависит от состояния растений, от условий вегетационного периода (Ожерельева и др., 2013), нагрузки урожаем и т.д. Суровые зимы в Центральном регионе бывают один раз в 25-30 лет. Опасны для плодовых растений длительные оттепели зимой, с последующим снижением температуры. Последние 10 лет зимы в Орловской области были теплыми, со среднесуточной температурой выше нормы и большим количеством дней с положительными температурами (Красова, 2024). Исследования механизмов устойчивости и адаптации к низким температурам в процессе закаливания растений показали, что зимостойкость проявляется как динамическое и комплексное свойство (Тюрина, Гоголева 1978; Quamme, Stusnoff, 1983). Эти исследования позволили выделить основные компоненты зимостойкости и выразить их количественно как уровни морозоустойчивости тканей и органов в различные периоды зимы в зависимости от температуры и физиологического состояния растений:

И компонент – устойчивость к ранним морозам;

II компонент – максимальная величина морозостойкости, развиваемая растениями после окончания органического покоя в благоприятных для закалки условиях;

III компонент – способность сохранять морозостойкость в период оттепелей;

IV компонент – способность восстанавливать морозостойкость при повторной закалке после оттепелей.

Компоненты зимостойкости сочетаются в генотипе растения как независимые признаки. Высокий уровень каждого из них может передаваться из поколения в поколение без какого-либо снижения (Кичина, 1986, 1999; Тюрина, 1993; Quamme, Stusnoff, 1983; Данилова, 2011).

В природе нельзя оценить устойчивость сортов по всем четырем компонентам сразу (Данилова, 2011), т.к. зимы с критическими температурами бывают не часто. Изучение основных компонентов зимостойкости у сортов и гибридов садовых культур возможно лишь при лабораторной оценке методом искусственного промораживания (Гасымов, 2017), когда моделируются отдельно повреждающие факторы и возможно повторяемость в течение ряда лет. Изучение зимних стрессоров в контролируемых условиях дает возможность всесторонне и за короткий промежуток времени изучить морозоустойчивость сортов по всем компонентам зимостойкости (Гасымов, 2017; Ожерельева, Гуляева, 2017).

1.4.1. Закаливание и морозостойкость сливы в раннезимний период

В условиях Европейской части России в отдельные годы в начале декабря возможны понижения температуры воздуха до $-22\ldots-25^{\circ}\text{C}$, поэтому адаптированные сорта плодовых культур должны набирать необходимый уровень морозостойкости уже в начале зимы (Савельев и др., 2010; Данилова, 2011; Федотова и др., 2015). В ряде случаев растения вступают в зимний период физиологически неподготовленными, что существенно снижает их устойчивость к первому компоненту зимостойкости. Такая ситуация может наблюдаться при сильном поражении болезнями, при слишком поздней посадке, а также при возобновлении интенсивного роста осенью после летней засухи. В подобных условиях растение, как правило, не реализует свой генетически обусловленный потенциал зимостойкости (Гасымов, 2017). Осенью при внезапном снижении температуры, особенно после дождливой и холодной второй половины

вегетационного периода, клетки камбия и коры менее устойчивы к морозам, чем древесина (Резвякова, 2015). В результате морозы поздней осенью могут повреждать штамб и скелетные ветви (Резвякова, 2011, 2015).

Первый компонент зимостойкости – способность растений к быстрой закалке осенью и устойчивость к раннезимним морозам.

И.И. Туманов (1940) установил, что развитие морозостойкости у растений происходит в результате процесса закаливания, который начинается осенью и продолжается в начале зимнего периода. Формирование устойчивости к низким температурам носит поэтапный характер. Изначально растения снижают темпы роста, затем полностью его прекращают, переходят в состояние покоя и вступают в фазы закаливания. Первая фаза закаливания начинается при снижении среднесуточной температуры до 0 °C (Данилова, 2011). На данном этапе наблюдается активное накопление сахаров в тканях, что служит начальной адаптационной реакцией после завершения вегетативного роста. После вступления растений в фазу покоя и завершения первой стадии закаливания их морозоустойчивость может возрастать до значений -20...-25 °C и ниже (Туманов, 1979; Тюрина, 1991; Данилова, 2011). Так, в условиях первого компонента зимостойкости (-15 °C) все изучаемые сортообразцы сливы не имели каких-либо повреждений (Солонкин и др., 2020). Анализ результатов искусственного промораживания показал, что сорта и гибридные формы *P. salicina* способны переносить снижение температуры до -25 °C без значительных повреждений почек и тканей однолетних побегов (Ожерельева, Ряполова, 2010). Как показывают многолетние исследования, для условий Беларуси новые сорта сливы также должны выдерживать снижение температуры воздуха в начале зимы до -25 °C. При этом выявлено наличие более высокого потенциала морозостойкости по I компоненту зимостойкости у образцов сливы диплоидной по сравнению с *P. domestica*. Общая степень подмерзания по сортам *P. domestica* составила 2,6 балла, по сортам сливы диплоидной – 1,6 балла (Матвеев и др., 2011). Изучение устойчивости сортов и форм сливы разного генетического происхождения по I компоненту зимостойкости методом искусственного промораживания в начале

декабря при -30°C показало, что ткани однолетних побегов у них повредились незначительно до 1,0 балла. Вегетативные почки повредились при этом сильнее от 0,0 до 2,4 балла (Савельев и др., 2010). Согласно другим данным, большинство проанализированных сортов сливы демонстрируют высокую степень устойчивости по первому компоненту зимостойкости. К числу зимостойких форм отнесены, в частности, сорт Красивая вече, происходящий от *P. salicina*, а также сорт Надежда, происходящий от *P. domestica* (Федотова и др., 2015).

Анализ литературных данных по изучению I компонента зимостойкости показывает, что в начале зимы сорта сливы проявляют различный потенциал устойчивости в зависимости от температурного режима и физиологического состояния растений. В связи с этим возрастаёт необходимость проверки сортов сливы разного генетического происхождения на устойчивость к раннезимним морозам.

1.4.2. Максимальная морозоустойчивость сливы в закаленном состоянии

Главным ограничивающим фактором, влияющим на выживаемость сливы в конкретной климатической зоне, выступает способность переносить экстремальные температуры в середине зимы. Регулярные аномально холодные периоды вызывают масштабные повреждения насаждений данной культуры (Савельев др., 2010).

Второй компонент зимостойкости – устойчивость к критическим морозам в середине зимы.

Максимальная морозоустойчивость плодовых культур формируется после завершения второй фазы закаливания, которая активируется при постепенном снижении температуры (Тюрина и др., 2002; Данилова, 2011). Данная фаза протекает при температурах $-2\ldots-5^{\circ}\text{C}$, способствуя развитию генетически обусловленной морозостойкости у растений. В данный период в клетках растений происходят характерные структурные преобразования поверхностного слоя протоплазмы: возрастает её вязкость, снижается проницаемость мембран, а физиологово-биохимические процессы существенно замедляются. У генотипов,

обладающих высокой зимостойкостью, данные изменения проявляются более выражено. В это же время активизируются два ключевых механизма клеточной защиты: предотвращение образования кристаллов льда внутри клеток путём его перераспределения в межклеточные пространства, а также поддержание жидкости в состоянии переохлаждения без её кристаллизации (Левит, 1983; Данилова, 2011).

В природных условиях второй компонент зимостойкости играет решающую роль, поскольку органы и ткани одного растения (например, камбий, кора, вегетативные почки) обладают разной скоростью адаптации к морозам (Туманов, Красавцев, 1955; Тюрина, 1975; Данилова, 2011). В первую очередь при II компоненте повреждаются генеративные почки и древесина у косточковых культур.

У плодовых растений пик морозостойкости обычно достигается к январю, однако у косточковых культур (слива, алыча) он наблюдается раньше – в декабре, после завершения органического покоя. Последующие оттепели могут снижать устойчивость растений сливы (Карташова, 2000).

В экстремальные зимы у сливы фиксируется гибель деревьев до границы снежного покрова. Наиболее подвержены повреждениям цветковые почки и однолетние побеги. Например, при снижении температуры до -27 °С (II компонент зимостойкости), полностью сохранились цветковые почки по всем сортам сливы, независимо от их генетического происхождения. Однако при этом наблюдалось незначительное повреждение древесины у сорта *P. domestica* – Ренклод Альтана (Солонкин и др., 2020). В условиях II компонента зимостойкости при -35 °С сорта сливы Аленушка, Евразия 21, Красивая вече, Орловская мечта, Скороплодная и формы 18286, 18464, 19-39-41, 48-15-60 показали среднюю степень морозостойкости генеративных почек (повреждение от 2,1 до 3,0 балла). В указанный период вегетативные почки, а также основные ткани однолетних побегов демонстрировали обратимые повреждения, оцененные в пределах от 1,1 до 2,0 балла (Ожерельева, Джигадло, 2011). По данным исследований, при воздействии температуры -35 °С, соответствующей второму

компоненту зимостойкости, сорта сливы были классифицированы по степени морозоустойчивости следующим образом: к высокоустойчивым отнесён сорт Орловская мечта; умеренную морозостойкость продемонстрировали сорта Неженка, Орловский Сувенир и Болховчанка; в группу слабоустойчивых вошли Надежда, Окская, Рекорд и Евразия 21; наименьшую устойчивость показал сорт Краса Орловщины (Федотова и др., 2015).

Дополнительно установлено, что сорта Южно-Уральской селекции (Шершневская, Красносельская, Уральская серебристая, Уральский чернослив, Терн Билясувар), а также Алтайской селекции (Маньчжурская красавица, Алтайская юбилейная), полученные с участием *P. ussuriensis*, характеризуются высокой морозостойкостью и способны выдерживать температуры до -40 °С, что соответствует требованиям второго компонента зимостойкости (Гасымов, 2017). Высокую устойчивость после промораживания при температуре минус 30 °С в течение 5 суток имели следующие сорта сливы: Уральская золотистая, Уральская серебристая, Маньчжурская красавица и Зареченская (Гасымов, 2016). Другие авторы выявили генотипические различия степени устойчивости сортов и форм сливы разного генетического происхождения при температуре -38 °С в середине зимы. Кора и камбий в меньшей степени повредились, чем древесина. Значительные различия установлены между изученными формами сливы по устойчивости генеративных почек при -36 °С (Савельев и др., 2010).

В связи с тем, что продуктивность и долговечность насаждений сортов сливы в большей степени зависит от устойчивости генеративных почек, тканей однолетних и многолетних веток к сильным морозам, необходимо проводить отбор генотипов, обладающих максимальной величиной морозостойкости в середине зимы.

1.4.3. Способность сливы сохранять морозостойкость в период оттепелей

За последние сто лет глобальное повышение средней температуры воздуха на 0,6-0,7 °С демонстрирует устойчивую тенденцию, что уже привело к удлинению вегетационного периода, особенно в северных широтах (Голицин,

2008). В ходе Всемирной конференции по проблемам изменения климата (2003 г.) А.Л. Иванов отметил учащение периодов тёплой зимней погоды (Пухальская, 2004), что, в свою очередь, оказывает отрицательное влияние на зимостойкость растений (Данилова, 2011). Так, у сливовых культур резкие понижения температуры, наступающие сразу после оттепелей, вызывают серьёзные повреждения тканей (Богданов, Богданов, 2020).

Во время зимних оттепелей активизируются метаболические процессы в клетках, что нередко приводит к утрате состояния закалки. Повторное похолодание способно восстановить устойчивость растений, но только при условии, что оттепель не спровоцировала возобновление роста (Тюрина, Гоголева, 1966; Туманов, 1979; Данилова, 2011). В условиях участившихся затяжных потеплений особое значение приобретает способность сортов сохранять морозоустойчивость при резких температурных перепадах, что делает третий компонент зимостойкости – устойчивость к смене оттепелей и морозов – особенно важным критерием. Третий компонент зимостойкости отражает способность растений противостоять морозам после выхода из органического покоя во время оттепелей. У косточковых культур, таких как слива, наиболее уязвимыми становятся цветковые почки, теряющие закаленное состояние (Тюрина и др., 2002).

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что после кратковременного повышения температуры до +2 °C и последующего резкого похолодания до -25 °C генеративные почки сливы подвергались более серьёзным повреждениям (оценка 3,5-3,9 балла), чем вегетативные почки и однолетние побеги (Ожерельева, Ряполова, 2010). Аналогичные повреждения были зафиксированы и при промораживании -23 °C после оттепели +3 °C, у генотипов сливы повреждение цветковых почек достигало 3,0-5,0 балла (Савельев и др., 2010). Согласно данным Матвеева и соавт. (2011), сорта и гибридные формы *P. domestica* демонстрируют более высокую устойчивость при снижении температуры до -25 °C после оттепели +4 °C по сравнению с диплоидными представителями.

При моделировании условий третьего компонента зимостойкости, то есть воздействия температуры -20 °С после оттепели, у большинства исследованных сортов сливы отмечалось слабое подмерзание генеративных почек. Наибольшая чувствительность к действию отрицательной температуры была зафиксирована у сортов Надежда и Евразия 21, где средняя оценка повреждений генеративных органов составила 1,7 балла. При этом древесина указанных сортов страдала в меньшей степени (средний балл 1,2), а кора и камбий практически не повредились. Сорта Алёнушка, Болховчанка и Рекорд проявили наивысшую устойчивость по третьему компоненту зимостойкости (Федотова и др., 2015). Учитывая значительный ущерб, который резкие перепады температуры наносят сливе, изучение способности сортов сохранять закалку плодовых почек и тканей однолетних побегов после оттепелей остается актуальной научно-практической задачей.

1.4.4. Способность сливы восстанавливать морозостойкость после оттепели и повторной закалки

Для плодовых культур критически важна способность к быстрому восстановлению закалки после оттепели, что позволяет выдерживать возвратные понижения температуры. Особенно опасны мартовские оттепели для сливы, поскольку в этот период растения находятся в состоянии вынужденного покоя. Постепенное снижение температуры после потепления способствует восстановлению устойчивости цветковых почек и коры, тогда как древесина восстанавливает закалённое состояние медленнее, хотя и менее подвержена его утрате в это время (Ожерельева и др., 2013).

Во время повторного понижения температуры растения проходят стадию закаливания, сходную с той, что наблюдается в конце осени – начале зимы, накануне достижения максимальной зимостойкости. Однако вторичное закаливание, как правило, не позволяет достичь изначального уровня устойчивости, сформированного в первом цикле. В связи с этим, в условиях Центральной России температура, при которой наблюдаются повреждения,

соответствующие четвёртому компоненту зимостойкости, варьирует от -25 до -30 °С в зависимости от вида культуры.

Если температура оттепели не превышает физиологический порог возобновления роста, то, как и в фазе глубокого органического покоя, возможно полное восстановление морозостойкости при повторном закаливании. Однако при активации ростовых процессов в ходе оттепели способность к вторичной закалке резко снижается, что значительно повышает риск повреждений при возвратных морозах (Тюрина и др., 2002).

При IV компоненте зимостойкости у сортов косточковых культур генеративные, вегетативные почки и ткани однолетних побегов повреждаются в меньшем степени, чем в условиях III компонента (Федотова и др., 2015).

Четвёртый компонент зимостойкости характеризует способность растений восстанавливать морозоустойчивость после оттепелей и сохранять её при последующем понижении температуры.

По результатам исследований установлено, что сорта сливы Алёнушка, Евразия-21, Красивая вече, Орловская мечта, Скороплодная, а также селекционные формы 18286, 18464, 19-39-41 и 48-15-60 проявляют способность к повторному закаливанию после оттепели при +2 °С и последующего охлаждения до -25 °С в позднезимний период (Ожерельева, Джигадло, 2011).

При оценке степени подмерзания в условиях моделирования четвёртого компонента зимостойкости (температура -23 °С) было установлено, что генеративные почки по всем исследованным сортам получили повреждения на уровне 1,2 балла (Федотова и др., 2015). При этом существенных различий в степени зимостойкости генеративных почек между сортами *P. salicina* и *P. domestica* выявлено не было. Наименьшие повреждения (до 1,0 балла) зафиксированы у сортов Болховчанка, Рекорд, Неженка и Краса Орловщины. Наибольшую чувствительность к возвратному морозу -23 °С продемонстрировал сорт Надежда – генеративные почки этого сорта пострадали на 2,4 балла (Федотова и др., 2015). В результате проведенных лабораторных исследований показаны существенные различия изученных генотипов сливы по степени

устойчивости к критическим температурным воздействиям. Так, понижение температуры до -28 °С после оттепели и последующей закалки существенным образом отразилось только на состоянии генеративной сферы. У большинства изученных форм степень подмерзания цветковых почек варьировала от 1,5 до 2,5 балла, что не является критичным. Снижение температуры промораживания до -30 °С вызвало практически полную гибель генеративных зачатков (Богданов, Богданов, 2020). В связи с тем, что в конце зимы часто наблюдаются длительные оттепели, которые способствуют выходу растений из вынужденного покоя и последующее понижение температуры вызывает гибель плодовых почек, коры и камбия однолетних побегов, важно проводить оценку способности сортов сливы восстанавливать морозостойкость после оттепели.

Таким образом, метод искусственного промораживание обеспечивает возможность скрининга растений сливы для определения их зимостойкости (Кичина, 1999; Linden et al., 2002; Тюрина и др., 2002; Леонченко и др., 2007; Савельев и др., 2010; Красова и др., 2014).

1.5. Физиолого-биохимические процессы при формировании устойчивости растений к неблагоприятным факторам зимнего периода

Изменение в антиоксидантном статусе и в белково-углеводном комплексе, образование продуктов липопероксидации мембран (Кузнецов, Дмитриева, 2006) одни из основных физиолого-биохимических показателей реакции растений на действие гипотермии.

При абиотическом стрессе ключевым повреждающим фактором является образование активных форм кислорода (АФК) (Hernandes et al., 2001). Их избыток вызывает пероксидацию липидов, денатурацию белков и повреждение генетического материала (Mittler et al., 2011). В норме клетки контролируют уровень АФК с помощью антиоксидантов, в частности ферментов – каталазы, пероксидазы (Mittler et al., 2011), которые нейтрализуют образование АФК. Повышение активности антиоксидантных ферментов играет ключевую роль в защите растительных клеток от повреждения отрицательной температурой (Timperio et al., 2008, Shinozaki et al., 2000). Однако при сильном окислительном

стрессе этот баланс нарушается у растений, что приводит к повреждению клеточных мембран.

Каталаза – это фермент класса оксидоредуктаз, катализирующий дисмутацию перекиси водорода (H_2O_2) до воды и молекулярного кислорода (Костерина, 2016). Она играет ключевую роль в антиоксидантной системе растений, предотвращая токсическое накопление в растительной клетке H_2O_2 , который образуется при воздействии различных неблагоприятных факторов (Gill, Tuteja, 2010). В зимний период активность каталазы в растительных тканях может изменяться в зависимости от вида растения, условий окружающей среды и физиологического состояния (Кошкин, 2010). В некоторых случаях наблюдается повышение активности фермента, что связано с адаптацией к окислительному стрессу, вызванному снижением температуры, сокращением фотопериода и перестройкой метаболических процессов (Костерина, 2016). Увеличение активности каталазы в этот период может способствовать защите клеточных структур от повреждений, вызванных перекисным окислением липидов и белков. Каталаза выполняет важную функцию в поддержании окислительно-восстановительного баланса растений, особенно в условиях сезонных изменений (Гончарова, 2005; Кошкин, 2010).

Другим важным ферментом является пероксидаза – фермент, катализирующий окисление различных субстратов с использованием H_2O_2 в качестве окислителя (Андреева, 1988; Новиков, 2016). Кроме того, пероксидаза участвует в нейтрализации H_2O_2 , предотвращая окислительный стресс и поддерживая клеточный гомеостаз. Активность пероксидаз в растениях может изменяться под воздействием различных факторов, включая сезонные изменения. Существуют исследования, указывающие на связь активности пероксидаз с метаболическими процессами, происходящими в клетках растений, и их реакции на стрессовые факторы (Рогожин, 2004; Кошкин, 2010). Пероксидазы играют важную роль в жизнедеятельности растений, включая защиту от окислительного стресса и участие в различных физиологических процессах (Inze, Montague, 1995). Изменения их активности в течение года, включая осенний и зимний периоды,

являются сложным и многогранным процессом, требующим дальнейшего изучения для полного понимания их роли в адаптации растений к сезонным изменениям (Ненько и др., 2021).

Поскольку оба антиоксидантных фермента нейтрализуют перекись водорода и защищают растительные клетки от окислительного стресса (Hernandez et al., 2001), их активность тесно связана с уровнем малонового диальдегида (МДА) – одного из ключевых биомаркеров перекисного окисления липидов (Жиров и др., 2007; Прудников и др., 2017). МДА играет важную роль в оценке уровня окислительного стресса у растений в зимний период. Его концентрация может варьировать в зависимости от видовых особенностей, физиологического состояния растения и условий окружающей среды, что делает его важным индикатором адаптационных возможностей растений к низкотемпературному стрессу. В условиях низкотемпературного стресса зимой, когда у растений усиливается выработка АФК, баланс между антиоксидантной защитой и окислительными процессами становится критически важным (Grazianoa et al., 2015). Если система антиоксидантных ферментов, недостаточно эффективна, накопление АФК приводит к повреждению мембран и увеличению концентрации МДА. Накопление МДА указывает на повреждение клеточных структур АФК и служит индикатором степени окислительного стресса в растительных тканях (Gill, Tuteja, 2010). Однако у устойчивых к низкотемпературному стрессу растений уровень МДА может оставаться сравнительно низким, что объясняется более эффективными механизмами антиоксидантной защиты, включая высокую активность ферментов, таких как супероксиддисмутаза, каталаза и пероксидазы (Huang et al., 2019).

К тому же в осенне-зимний период плодовым растениям необходимы сахара и свободный пролин, так как эти вещества выполняют функции осмопротекторов. Они функционируют как низкомолекулярные осмолиты, стабилизируя клеточные структуры и предотвращая повреждения у растений, вызванные низкотемпературным стрессом (Колупаев и др., 2018). Повышение их концентрации способствует снижению точки замерзания клеточного сока и

защите клеточных мембран растений от повреждений (Колупаев и др., 2014). Накопление этих осмотически активных веществ помогает растениям удерживать воду в клетках и предотвращает их обезвоживание, что особенно важно в условиях отрицательных температур.

Наряду с этим, сахара регулируют осмотический потенциал растений, предотвращают образование кристаллов льда, поглощают активные формы кислорода (Chen, Yang, 2020). При этом они повышают устойчивость клеточных мембран, чтобы растение перенесла низкотемпературный стресс. Кроме того, сахара участвуют в стабилизации мембранных структур и поддержании энергетического обмена у растений в условиях стресса (Mollo et al., 2011, Krasensky, Jonak, 2012).

Пролин, помимо осмопротекторной функции, действует как антиоксидант, защищая клетки растений от повреждений, вызванных АФК (Колупаев и др. 2014). Пролин считается биомаркером устойчивости растений к гипотермии (Primo-Capella et al., 2021). Он нейтрализует АФК и регулирует экспрессию генов, связанных с осмотическим стрессом (Robe et al., 2021; Shkryl et al., 2021), повышая устойчивость клеточных мембран растительных клеток.

Таким образом, для диагностики устойчивости к низкотемпературному стрессу сортов сливы целесообразно в зимний период вести мониторинг активности компонентов антиоксидантной системы защиты растений, уровня накопления низкомолекулярных соединений и количества образования продуктов перекисного окисления липидов. Изучение ответных реакций на физиологобиохимическом уровне способствует выявлению признаков комплексной устойчивостью к низкотемпературному стрессу (I, II, III и IV компоненты зимостойкости), лимитирующим получение урожая в регионе возделывания сливы, что может помочь в создании новых сортов, устойчивых к этим стрессорам.

1.6. Устойчивость сливы к весенным заморозкам

Современные исследования подтверждают уязвимость цветущих садовых культур к весенным заморозкам. Наиболее чувствительными фазами развития

цветковой почки являются: бутоны (-1,5 °C), раскрывшиеся цветки и завязи (-1,0 °C). Эти данные, полученные в условиях Центральной России (Ожерельева, Гуляева, 2015, 2021; Krasova et al., 2020), согласуются с наблюдениями в умеренном климате Европы (Lamichhane, 2021; Szalay et al., 2018).

Рост среднегодовой температуры (Pfleiderer, 2019) привел к активации ростовых процессов в конце зимы – начале весны. При этом распускание и цветение садовых культур происходит в более ранние сроки (Chitu, Paltineanu, 2020), из-за чего риск повреждения весенними заморозками цветков и бутонов плодовых культур возрастает (Vitasse et al., 2018).

Устойчивость генеративных органов к температурным стрессам – фактор, определяющий продуктивность косточковых культур (Winkler et al., 2013). Потери урожая в экстремальных условиях могут достигать 100%, что ставит под угрозу экономическую рентабельность садоводства (Дорошенко и др., 2010). Так, в условиях степного Крыма весенние заморозки -2 °C и -4 °C сопровождались порывами северо-восточного ветра, что вызвало 100% гибель генеративных почек гибридов *P/ × rossica* в 2017 г. (Горина, Лукичева, 2019). В Тамбовской области (Леонченко, 2007) наблюдали понижение температуры в 1999 г. до -6 °C и до -3 °C в 2000 г., что привело к существенным потерям урожая плодовых растений. В Южной степи Украины в 2004 и 2009 гг. весенние заморозки температурой -6...-11 °C во время цветения привели к значительному повреждению бутонов и цветков алычи (82-85%) (Красуля, Толстолик, 2011). В Краснодарском крае в те же годы в фазу формирования бутонов у косточковых культур зафиксированы понижения температуры до -6,5 °C (2004 г.) и -9 °C (2009 г.), что вызвало 100% повреждение генеративных органов (Алёхина, Доля, 2011).

В Орловской области в период цветения плодовых культур практически ежегодно фиксируются пониженные положительные температуры и утренние заморозки. Так, в 1999 году в первой декаде мая температура воздуха опускалась до -3 °C, а во второй – до -1,5 °C. В 2000 году аналогичные погодные условия проявились при снижении температуры до -2 °C и -1 °C соответственно. Между тем, уже в середине апреля среднесуточные температуры превышали +10 °C, а в

третьей декаде достигали +24,8 °C (в 1999 г.) и +25,8 °C (в 2000 г.). Такая резкая смена температур способствовала раннему началу цветения, что, в свою очередь, сделало репродуктивные органы растений уязвимыми к возвратным заморозкам. Особенно неблагоприятные погодные условия наблюдались в мае 2017 года, когда в период активного цветения 11 и 13 мая температура воздуха снижалась до -2 °C, а у поверхности почвы – до -3,7 °C при усилении северного и северо-восточного ветра. Эти условия привели к повреждению завязей у косточковых культур (Ожерельева, Гуляева, 2018), а также к повреждению цветков яблони (Krasova et al., 2020).

Схожие явления наблюдались и за рубежом. В Австрии, например, в апреле 2016 и 2017 годов резкое потепление спровоцировало преждевременное цветение яблоневых садов, что впоследствии привело к гибели до 80% урожая в результате заморозков (Unterberger et al., 2018). В апреле 2017 года аналогичное похолодание стало причиной сокращения урожайности яблони на 24 % и груши – на 12 % в ряде европейских стран (WAPA, 2018). Во Франции весной 2021 г. температурные аномалии стали причиной повреждения 24-30% виноградников (Trompiz, 2021). Швейцарские учёные за последние 10 лет зафиксировали значительные убытки в плодоводстве и виноградарстве вследствие воздействия весенних заморозков (Hu et al., 2018). В штате Мичиган (США) заморозки 2007 г. нанесли существенный ущерб урожаю вишни: степень повреждения цветочных почек колебалась от 26,7% до 99,3% в зависимости от сорта (Demirsoy et al., 2022). Устойчивость к весенным заморозкам определяется физиологическим состоянием растений, а также интенсивностью и продолжительностью воздействия низких температур. Учитывая возрастающую частоту экстремальных погодных явлений весной, негативно влияющих на растения и стабильность их плодоношения, изучение устойчивости сортов плодовых культур к возвратным заморозкам остается приоритетной задачей для современного садоводства.

С учетом вышеуказанных факторов, селекция зимостойких сортов сливы представляет собой важное направление для оптимизации сортового разнообразия. Это обусловлено тем, что климатические особенности зимне-

весеннего периода в Центральной России существенно ограничивают реализацию продуктивного потенциала косточковых культур (Ожерельева и др., 2022). Для решения данной задачи необходимы сорта, обладающие не только стабильной урожайностью, товарными характеристиками и потребительской ценностью, но и адаптированные к специфике местных агроклиматических условий.

ГЛАВА 2. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Условия проведения исследований

Исследования проводились в лаборатории физиологии устойчивости плодовых растений ВНИИСПК, а также на участках первичного сортознечения косточковых культур в период с 2022 по 2025 годы. В качестве объекта изучения использовались экспериментальные посадки сливы, размещённые на территории 5 и 10 кварталов, где преобладают тёмно-серые лесные почвы. Почвенные условия характеризуются содержанием гумуса на уровне 3-4%, при мощности гумусового горизонта 30-35 см. В качестве почвообразующей породы выступает лёссовидный суглинок среднезернистого механического состава. Посадка опытных насаждений была произведена в 2019 году по схеме 5 × 3 м. В междурядьях применяется система содержания в виде чёрного пара, в зоне приствольных кругов осуществляется гербицидная обработка. Все агротехнические мероприятия проводились в соответствии с общепринятыми методическими рекомендациями по возделыванию сливы.

Климат Орловской области относится к умеренно континентальному и характеризуется следующими показателями: среднегодовая температура составляет +4,9 °C; длительность вегетационного периода – около 180 дней. Сумма активных температур выше +10 °C варьирует в пределах 2150-2300 °C. Продолжительность безморозного периода составляет в среднем 146 дней, охватывая интервал с середины апреля до конца сентября. Годовое количество осадков достигает 571 мм, при этом 265-295 мм выпадает в течение вегетационного сезона. Несмотря на вероятность возвратных весенних

заморозков, которые в отдельные годы могут наблюдаться даже в начале июня, а также умеренно нестабильное увлажнение при средней относительной влажности воздуха 79 %, агроклиматические условия региона являются благоприятными для возделывания адаптированных сортов сливы.

2.1.1. Метеорологические условия в 2022 году

Январь 2022 года характеризовался умеренными морозами. Среднесуточная температура составила $-5,4^{\circ}\text{C}$, что на $3,8^{\circ}\text{C}$ выше многолетней нормы. Количество выпавших осадков превысило стандартные значения на 15,9 мм. В феврале установилась тёплая погода: среднесуточная температура воздуха достигла $-2,0^{\circ}\text{C}$, что на $7,2^{\circ}\text{C}$ выше климатического стандарта. С конца первой декады до конца месяца отмечались выраженные температурные перепады: дневные температуры варьировали от $+1,0$ до $+5,3^{\circ}\text{C}$, а ночные – от $-0,5$ до $-8,5^{\circ}\text{C}$. К завершению месяца высота снежного покрова уменьшилась до 23 см. Март оказался теплее обычного: среднесуточная температура составила $-2,9^{\circ}\text{C}$, что на $1,5^{\circ}\text{C}$ выше среднемноголетнего значения. В апреле установилась тёплая и влажная погода: температурный режим превысил норму на $0,9^{\circ}\text{C}$, а количество осадков значительно превысило средние показатели – на 112,4 мм. Первая декада мая сопровождалась понижением температур: среднесуточные значения оказались на $1,8^{\circ}\text{C}$ ниже нормы при недостатке осадков на 12,7 мм. Июнь прошёл при повышенном тепловом фоне ($+19,1^{\circ}\text{C}$, что на $2,3^{\circ}\text{C}$ выше нормы) и дефиците влаги (осадки ниже нормы на 18,4 мм, гидротермический коэффициент – 0,74). В июле погодные условия соответствовали климатической норме (ГТК – 1,2), тогда как август оказался заметно жарче обычного: температурный режим был выше на $3,0^{\circ}\text{C}$, а осадков выпало на 29,8 мм меньше нормы (ГТК – 0,46). Сентябрь, напротив, отличался пониженной температурой воздуха (среднее значение $+9,4^{\circ}\text{C}$, на $2,2^{\circ}\text{C}$ ниже нормы) и избыточным увлажнением – суммарное количество осадков составило 96 мм. Октябрь ($+1,8^{\circ}\text{C}$ к норме) и ноябрь ($+1,43^{\circ}\text{C}$) сохранили теплый температурный режим при осадках 69,1 мм и 39,3 мм соответственно. Декабрь был аномально теплым ($+6,4^{\circ}\text{C}$ к норме) и обильными

дождями (+70,7 мм), что отражено в таблице 1 и рисунке 1.

Таким образом, зимний период 2022 г. характеризовался умеренными морозами, без резких перепадов температур. В весенний период наблюдали длительное похолодание в мае, что повлияло на срок вступления плодовых культур в фенофазу «цветение». Летом и осенью отметили неравномерное распределением осадков и температуры.

2.1.2. Метеорологические условия в 2023 году

В январе 2023 г. пятидневная оттепель с значениями до +7 °C сменилась резким похолоданием до -25°C, что спровоцировало повреждение генеративных почек косточковых культур. Февраль и март отличались аномально высокими температурами: отклонение от среднемноголетних показателей составило +4,4 °C и +3, 1°C соответственно. Апрель продолжил тенденцию с превышением температурной нормы на +3,9 °C. Май характеризовался засушливостью (9 мм осадков) и возвратными заморозками: в фенофазу цветения и формирования завязей сливы температура опускалась до -4,2 °C. Летние месяцы соответствовали климатическим нормам по температуре, однако осадки распределялись неравномерно. Сентябрь выделился теплой (+13,2 °C) и крайне сухой погодой (0,3 мм осадков). В октябре температурный фон оставался в пределах нормы, но количество осадков превысило средние значения в 2 раза. Ноябрь оказался теплее обычного (+0,9 °C) с экстремально высокой влажностью (102,9 мм, +300% к норме). Декабрь был очень теплым (+2,7 °C), минимальными значениями до -15 °C и продолжительной оттепелью в конце месяца (максимум +4,5 °C). Подробные данные представлены в таблице 1 и рисунке 1.

Таким образом, в зимний период 2023 г. сложились неблагоприятные условия для косточковых культур. В зимние месяцы отмечены перепады температуры после продолжительных оттепелей, что вызвало в разной степени подмерзание цветковых почек у сливы. В мае наблюдали заморозки, которые способствовали тому, что у большинства сортов сливы урожай отсутствовал. Летом и осенью распределением осадков и температуры было неравномерное.

2.1.3. Метеорологические условия в 2024 году

В январе 2024 г. зафиксировано снижение до $-29,5^{\circ}\text{C}$ температуры воздуха. В начале февраля продолжительная оттепель с максимумом $+4^{\circ}\text{C}$ сменилась резким похолоданием до $-24,2^{\circ}\text{C}$. Во второй декаде марта после потепления до $+4,5^{\circ}\text{C}$ произошёл возвратный мороз ($-21,0^{\circ}\text{C}$), что привело к повреждению 70% зачатков цветков у сорта сливы Золотое руно и 78% у сорта Сувенир Востока. Апрель отличался аномально теплой погодой: среднесуточная температура ($+9,6^{\circ}\text{C}$) превысила климатическую норму на $+4,8^{\circ}\text{C}$, ускорив начало вегетации. Большинство сортов сливы вступили в фазу цветения в третьей декаде апреля. 4 мая, во время формирования завязей, температура опустилась до $-6,0^{\circ}\text{C}$, однако существенного ущерба не зафиксировано. Осадки за месяц превысили норму на 22,6 мм. Летний период характеризовался аномально высокими температурами: Июнь: $+1,9^{\circ}\text{C}$ к норме; Июль: $+2,4^{\circ}\text{C}$; Август: $+1,2^{\circ}\text{C}$. Дефицит осадков составил 13 мм (июнь), 13,1 мм (июль) и 10,7 мм (август). Сентябрь выдался экстремально жарким (максимум $+33,0^{\circ}\text{C}$) и абсолютно сухим (осадки 0,0 мм) с отклонением среднесуточной температуры на $+5,6^{\circ}\text{C}$. Октябрь и ноябрь продолжили тенденцию тепла ($+3,6^{\circ}\text{C}$ и $+3,5^{\circ}\text{C}$ к норме) с избытком осадков (+3,4 мм и +15,5 мм). Декабрь завершился значительным потеплением ($+5,6^{\circ}\text{C}$ к норме), минимальными значениями до -12°C и продолжительной оттепелью в конце месяца ($+4,0^{\circ}\text{C}$). Дефицит осадков достиг 25,5 мм (см. таблицу 1 и рисунок 1).

Таким образом, в зимний период 2024 г. отмечены перепады температуры после продолжительных оттепелей, что вызвало в разной степени подмерзание цветковых почек у сортов сливы. В мае отметили весенние заморозки. Летом и осенью распределением осадков и температуры было неравномерное, как и предыдущий год.

2.1.4. Метеорологические условия в 2025 году

Январь 2025 года отличался аномально тёплой погодой: среднесуточная температура составила $+0,8^{\circ}\text{C}$, что на 10°C выше климатической нормы.

Минимальные значения температуры опускались до -5 °C, тогда как максимальные достигали +7,5 °C. Осадков выпало значительно меньше обычного — дефицит составил 17,6 мм. В феврале наблюдалось похолодание: среднесуточная температура снизилась до -6,1 °C, с экстремальными значениями до -16,0 °C. Количество осадков также оказалось ниже многолетних значений — дефицит составил 11,4 мм. В марте температурный фон существенно превышал среднемноголетние значения: отклонение составило +7,9 °C, при максимальных дневных температурах до +15,5 °C. Однако во второй декаде месяца были зарегистрированы возвратные заморозки с понижением температуры до -1,0...-6,0 °C. При этом отмечался избыток осадков на 10,2 мм выше нормы. Апрель начался с установления тёплой погоды: температура воздуха поднималась до +18,5 °C. Эти условия способствовали преждевременному началу вегетации, в частности — раннему выдвижению бутонов у косточковых культур. К концу первой декады похолодание до -4°C сопровождалось снегопадами. В середине месяца температура резко возросла до +27°C, но к третьей декаде вновь установились холодные условия. Во время массового цветения и формирования завязей сливы отмечено снижение температуры до -1,0°C. Осадки за месяц превысили норму на +3,9 мм (см. таблицу 1 и рисунок 1).

Таблица 1 – Температура воздуха, °C (данные метеопоста ВНИИСПК 2022-2025 гг.)

Месяц	Температура воздуха, °C											
	Min				Max				Среднесуточная			
	2022	2023	2024	2025	2022	2023	2024	2025	2022	2023	2024	2025
Январь	-20,5	-25,0	-29,5	-5,0	3,0	7,0	2,0	7,5	-5,4	-4,9	-10,7	0,8
Февраль	-12,0	-19,0	-24,2	-16,0	5,2	3,5	4,0	5,0	-2,0	-4,9	-5,2	-6,1
Март	-14,5	-9,6	-21,0	-9,0	11,0	15,0	18,0	15,5	-3,1	3,3	-2,3	3,5
Апрель	-3,7	-3,0	-5,0	-1,0	17,1	22,0	27,0	27,0	5,7	8,6	9,6	8,9
Май	1,7	-4,2	-6,0		23,5	25,7	28,7		11,0	2,4	13,0	
Июнь	6,5	0,5	8,0		32,0	29,0	31,0		18,4	21,8	18,7	
Июль	7,0	7,5	7,0		32,5	30,0	38,0		19,3	6,6	21,2	
Август	11,0	7,0	7,0		33,0	34,5	34,0		20,4	8,2	18,6	
Сентябрь	-2,5	-3,8	3,5		22,5	28,0	33,0		9,4	13,1	17,2	
Октябрь	-3,7	-7,0	-1,5		19,0	25,5	25,0		6,7	4,9	8,4	
Ноябрь	-10,8	-13,5	5,6		10,5	18,0	10,5		0,0	0,9	2,1	
Декабрь	-14,5	-15,0	-12,0		5,0	4,5	4,0		6,4	6,2	-1,2	

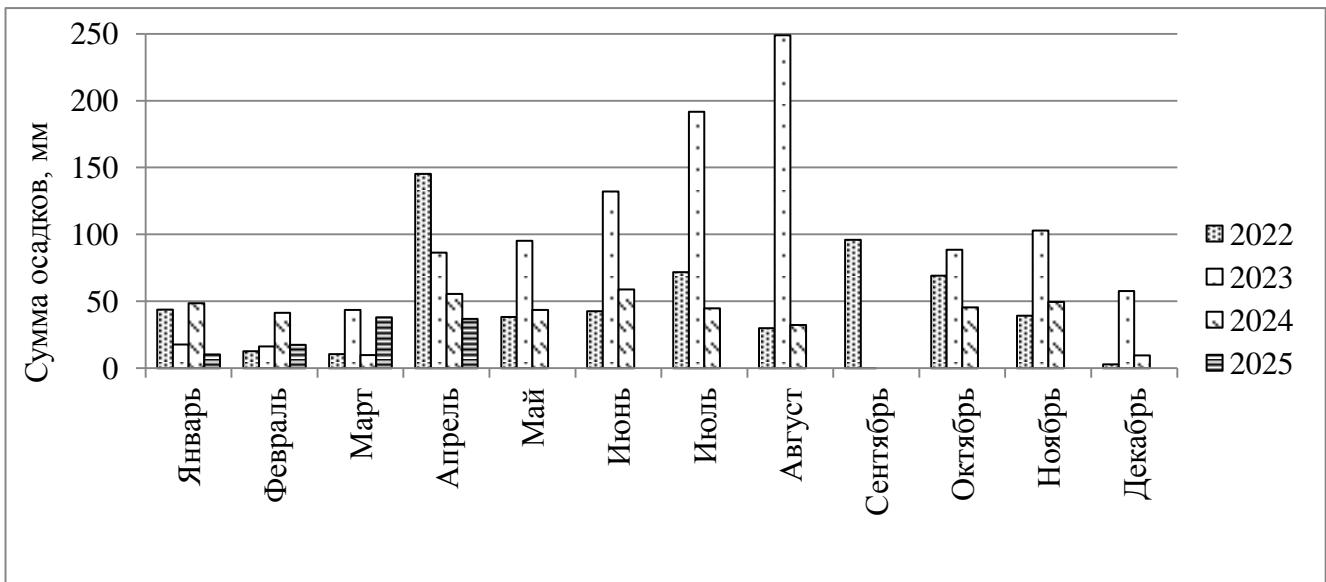


Рисунок 1 – Сумма осадков, мм (данные метеопоста ВНИИСПК 2022-2025 гг.)

Таким образом, в зимне-весенние периоды 2023, 2024 и 2025 гг. сложились неблагоприятные погодные условия для косточковых культур, в частности сливы. Так, в зимние месяцы отмечены перепады температуры после продолжительных оттепелей. В период цветения и завязывания плодов отмечены весенние заморозки. За годы исследований летом и осенью распределение осадков и температуры было неравномерное.

2.2. Объекты исследований

В качестве объектов исследования изучали 13 сортов и 1 элитный сеянец (ЭЛС) сливы различного генетического происхождения (таблица 2) из биоресурсной коллекции ВНИИСПК.

Венгерка белорусская – сорт среднего срока созревания, выведенный в Республике Беларусь. Отличается гармоничным сочетанием высокой урожайности и приятного кисло-сладкого вкуса. Плоды крупные, массой до 40 г, с плотной мякотью и фиолетово-синей окраской кожуры. Вкусовые качества плодов характеризуются как сладкие и сочные, с выраженной кислинкой. Сорт относится к числу самоплодных форм.

Таблица 2 – Объекты исследований и их происхождение

№	Сорт	Происхождение
<i>Prunus domestica</i>		
1	Венгерка белорусская	Деликатная х Стенлей
2	Венгерка заречная	Мичуринская х Красная десертная
3	Евразия 21	Получен от спонтанной гибридизации диплоидного сорта Лакресцент
4	Золотое руно	Скороспелка красная х Виктория
5	Stanley	Д'Аген х Гранд Дюк
<i>Prunus salicina</i>		
1	Неженка	Скороплодная × Китаянка
2	Орловская мечта	Аленушка – свободное опыление
3	Скороплодная	Уссурийская красная х Клаймакс
4	Сувенир Востока	Заря х Гигант (повторная гибридизация сортов первого поколения)
5	ЭЛС 18473	Скороплодная – свободное опыление
<i>Prunus × rossica Erem.</i>		
1	Ветразь	Элитная форма 18/1 х Скороплодная
2	Гек	Скороплодная × Отличница
3	Злато скифов	Получен в результате свободного опыления сорта Кубанская Комета с использованием мутагенов
4	Кубанская комета	Скороплодная × Пионерка

Венгерка заречная – сорт селекции ВНИИГиСПР им. И.В. Мичурина, автор Г.А. Курсаков. Плоды крупнее среднего, массой около 27,2 г, яйцевидной формы с округлой вершиной и узкоовальным основанием. Окраска плодов сиреневая, с характерным сизым налётом. Вкусовые качества оцениваются в 4,3 балла. Мякоть жёлто-зелёная, плотная, хрящеватой консистенции. По химическому составу плоды содержат: сухих веществ – 14,03%, сахаров – 9,75%, органических кислот – 0,94%, аскорбиновой кислоты – 3,52 мг/100 г. Сорт относится к среднеспелым, отличается стабильной высокой урожайностью, устойчивостью к засухе и частичной или полной самоплодностью.

Ветразь. Оригинатор – РУП «Институт плодоводства», Беларусь. Плоды среднего размера. Вес плода составляет в среднем – 20-22 г. Форма у них округло-яйцевидная. Окраска желтая. Мякоть у плодов сочная и нежная, цвет у нее желто-зеленый. Вкус плодов кисло-сладкий. Дегустационная оценка – 4,4 балла. Скороплодность средняя. Сорт универсальный, самобесплодный. Раннего срока

созревания. Урожайность высокая. Отличается повышенной устойчивостью к болезням.

Гек. Оригинатор – Крымская опытно-селекционная станция Всероссийского НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова. Авторы: Г.В. Ерёмин, С.Н. Забродина. Плоды округлой формы. Средний вес – 30 г, вкус кисловато-сладкий. Урожайность высокая и регулярная. Плодоношение длится от одного до полутора месяцев. Заасухоустойчивость средняя. Устойчив к болезням. Сорт самобесплодный.

Евразия 21. Оригинатор – Воронежский государственный аграрный университет. Авторы: А.Н. Веньяминов, А.Г. Туровцева. Плоды округлые, выше средней величины (масса 25-30 г), бордовой окраски, с восковым налетом. Мякоть желто-оранжевая, сочная, кисло-сладкая, ароматная.

Золото скифов. Оригинатор – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. Авторы: А.В. Исачкин, Н.В. Агафонов, Б.Н. Воробьев. Плоды крупные, массой около 36 г, имеют округло-ovalную форму. Кожица жёлтого цвета, средней плотности и толщины, слабо выраженный восковой налёт. Мякоть жёлтая, плотная по структуре, волокнистая и отличается повышенной сочностью. Вкусовые характеристики – гармоничный кисло-сладкий вкус. Сорт относится к универсальному типу использования. Показатели урожайности – на среднем уровне.

Золотое руно. Оригинатор – Дубовский опорный пункт Нижне-Волжского научно-исследовательского сельскохозяйственного центра. Дерево среднерослое, с густой кроной плакучего типа. Плоды массой от 30 г, имеют удлинённо-обратнояйцевидную форму с короткой шейкой. Окраска кожуры янтарно-жёлтая, с молочным восковым налётом и мелкими золотистыми подкожными точками. Мякоть янтарного оттенка, плотная, хрящеватой текстуры, с ярко выраженным десертным вкусом. Плоды пригодны для переработки и консервирования. Ветви обладают средней морозостойкостью. Сорт частично самоплодный, демонстрирует относительную устойчивость к основным заболеваниям и вредителям.

Кубанская комета. Оригинатор – Крымская опытно-селекционная станция Всероссийского НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова. Авторы: Г.В. Ерёмин, С.Н. Забродина. Плод крупный, продолговатый. Восковой налет выражен средне. Окраска кожицы красная. Окраска мякоти желтая. Плотность мякоти средняя, консистенция волокнистая, средняя сочность. Кислотность и сахаристость средние, аромат средний, вкусовые качества высокие. Засухоустойчивость средняя. Сорт устойчив к комплексу основных болезней.

Неженка. Оригинатор – Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур. Авторы: А.Ф. Колесникова, Е.Н. Джигадло, Ю.И. Хабаров, А.В. Завьялова. Плоды округлой формы, массой от 24 до 34 г. Окраска основная и покровная – насыщенно-красная, подкожные точки отсутствуют. Мякоть жёлтого цвета, отличается нежной, сочной и тающей консистенцией; сок – бесцветный. По органолептическим характеристикам свежие плоды оцениваются в 4,2 балла. Сорт предназначен для потребления в свежем виде (столовое назначение). Химический состав плодов: содержание сухих веществ – 13,2%, сахаров – 7,6%, кислот – 2,1%. Деревья обладают высокой зимостойкостью, устойчивость цветковых почек – на среднем уровне. Сорт характеризуется хорошей урожайностью и относительной устойчивостью к клястероспориозу.

Орловская мечта. Оригинатор – Всероссийский НИИ селекции плодовых культур. Авторы: Е.Н. Джигадло, А.Ф. Колесникова, Ю.И. Хабаров, А.А. Гуляева, И.Н. Ряполова. Средние урожаи 10-12 кг с дерева. Плоды красные, массой до 40 г. Мякоть жёлтая, сочная, кисло-сладкая. Дерево невысокое 2,5-3 м с пирамидальной кроной. Сорт частично самоплодный. Устойчив к клястероспориозу. Урожайность средняя 99,2 ц/га, максимальная 119,8 ц/га.

Скороплодная. Оригинатор – Институт садоводства ВСТИСП. Авторы: Еникеев Х.К. и Сатарова С.Н. Урожайность 30 кг с дерева. Красноватые плоды с жёлтой сладкой мякотью весом 30 г. Дерево низкорослое около 2,5 м с веерообразной негустой кроной. Переносит сильные морозы до -40 °C, подходит для выращивания в Подмосковье и Средней полосе. Болезнями и вредителями

повреждается незначительно. Засухоустойчивый, скороплодность. Сорт самобесплодный. Относительно устойчив к болезням.

Сувенир Востока. Оригинатор – Воронежский аграрный государственный университет. Авторы – А.Н. Веньяминов, А.Т. Туровцева. Сорт формирует крупные плоды массой до 40 г, округлой формы. В фазе технической зрелости плоды окрашены в ярко-оранжевый цвет, при достижении потребительской зрелости – приобретают насыщенно тёмно-бордовую окраску. Мякоть жёлто-оранжевая, плотная, сочная и хрустящая, отличается насыщенным сладко-пряным вкусом с лёгкой кислотностью и выраженным ароматом. По химическому составу плоды содержат: сухих веществ – 19,3%, сахаров – 13,4%, органических кислот – 0,99%. Отношение сахара к кислоте составляет 13,24, показатель pH в фазе потребительской зрелости – 3,6.

ЭЛС 18473. Оригинатор – Всероссийский НИИ селекции плодовых культур. Плоды темно бордовые, вес – 39,4 г. Вкус плодов 4,4 балла. Зимостойкость дерева и цветковых почек высокая. Средний срок созревания. Урожай 25-35 кг/дер.

Stanley. Оригинатор – США. Плоды обратнояйцевидные, неравнобокие, очень крупный – 49 г. Основная окраска зеленая, покровная темно-фиолетовая, сплошная, опушение отсутствует. Восковой налет густой. Окраска мякоти желтая. Частично самоплодный. Вступает в плодоношение на 4-5 год. Урожайность высокая и регулярная. Засухоустойчивость средняя.

2.3. Методы исследований

В лабораторных условиях определены основные компоненты зимостойкости сливы согласно методическим указаниям (Тюрина и др., 2002) и зимостойкость в полевых условиях по «Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» (1999).

Для изучения физиолого-биохимических процессов адаптации в осенний период (сентябрь-ноябрь) у сливы различного генетического происхождения определили следующие показатели: переход в состояние глубокого покоя,

фракционный состав воды, содержание крахмала и активность фермента амилаза, накопление суммы сахаров и аминокислоты пролин в тканях однолетних побегов.

2.3.1. Определение вступления сливы в состояние глубокого покоя

Повышение морозостойкости плодовых растений в процессе осенней закалки успешно проходит только при вступлении их в состояние покоя. Определение перехода сортов сливы в период глубокого покоя определялось методом отращивания. Однолетние побеги срезали осенью (октябрь-ноябрь) и помещали в сосуды с водой при температуре 18...20 °С для отращивания. Провели подсчет количества распустившихся почек. Отсутствие распускания почек служило показателем вступления растений в состояние глубокого покоя.

2.3.2. Определение фракционного состава воды

Фракционный состав воды оценивали по методике Окунцова-Маринчик (Ожерельева и др., 2019). Образцы растительной ткани помещали в 30%-ный раствор сахарозы, в результате чего часть внутритканевой воды диффундировала в раствор, снижая его концентрацию. На основании данных об исходном объёме раствора, начальной и конечной концентрациях сахарозы рассчитывали объём воды, экстрагированной из растительного материала. Разница между общим содержанием воды в ткани и количеством свободной воды, перешедшей в раствор, позволяла определить долю связанной воды. Концентрацию сахарозы в растворе измеряли с помощью рефрактометра PAL-1 (Atago, Япония).

2.3.3. Определение содержания крахмала

Количество крахмала в коре однолетних побегов сливы определяли согласно методике (Кабашникова и др., 2003). Мелко нарезанная навеска растительного материала (2 г) растирали в 5 мл 80% азотнокислого кальция и 5 мл воды. Смесь кипятили при слабом нагреве 3 мин, для растворения крахмала. В колбу приливали 10 мл воды. Затем центрифугировали при 2000-3000 об/мин в течении 5 мин. Объем жидкости в стакане доводили дистиллированной водой до

метки 50 мл. К 5 мл полученного раствора добавляли 2 мл 0,5% раствора йода. Затем центрифугировали при 4 000 об/мин в течении 10 минут. К осадку добавляли 5 мл 5% раствора азотнокислого кальция, содержащим 0,01% йода. Центрифугировали при 4 000 об/мин в течении 10 минут. К промытому осадку йодкрахмального соединения добавляли 10 мл 0,1 Н раствора NaOH. Пробирки помещали в кипящую водяную баню на 5 минут. Раствор переносили в мерную колбу на 50 мл, к нему прибавляли 0,3 мл 0,5% раствора йода, 2 мл 1 Н раствора HCl и 20 мл воды. Оптическая плотность раствора измеряли при 590 нм.

2.3.4. Определение содержания суммы сахаров

Определение содержания сахарозы проводилось с использованием резорцинового реактива по методике Туркиной и Соколовой (1972). Для анализа навеску образца массой 0,5 г тщательно гомогенизировали в 10 мл этанола, предварительно подогретого до 80 °C. Пробирки с суспензией, помещали на водяную баню – 10 минут, после чего центрифугировали при 7000 об/мин в течение 10 минут. Из полученного супернатанта отбирали 0,5 мл, добавляли 50 мкл 5н NaOH и вновь прогревали на водяной бане в течение 10 минут. После охлаждения в смесь вводили 0,5 мл резорцинового реактива, приготовленного из 100 мг резорцина и 250 мг тиомочевины, растворённых в 100 мл ледяной уксусной кислоты, а также 3,5 мл 30% соляной кислоты. Далее смесь снова прогревали на водяной бане в течение 10 минут. После окончательного охлаждения оптическую плотность раствора измеряли на спектрофотометре SmartSpec Plus (BioRad, США) при длине волны 520 нм. Количественное содержание сахарозы определяли по калибровочной кривой, построенной с использованием стандартных растворов чистой сахарозы.

2.3.5. Определение содержания аминокислоты пролин

Содержание пролина определяли реакцией с реагентом нингидрина (Bates et al., 1973; Прудников, Ожерельева, 2019). Для этого 500 мг коры однолетних побегов растирали в дистиллированной воде и кипятили на водяной бане в

течение 10 минут. Для определения содержания пролина из предварительно полученного экстракта отбирали 2 мл и добавляли равный объём ледяной уксусной кислоты, а затем 2 мл нингидринового реагента. Последний готовили следующим образом: 1,25 г нингидрина растворяли в смеси, содержащей 30 мл ледяной уксусной кислоты и 20 мл 6М ортофосфорной кислоты. Полученную реакционную смесь выдерживали при кипячении на водяной бане в течение 60 минут. После завершения реакции и охлаждения раствора оптическую плотность измеряли при длине волны 520 нм с использованием спектрофотометра SmartSpec Plus (BioRad, США). Количество пролина определяли по калибровочному графику, построеному на основе стандартных растворов чистого пролина. Результаты выражались в мг пролина на 1 кг сырой массы.

2.3.6. Оценка зимостойкости сортов сливы в полевых условиях

Определение степени повреждения деревьев морозами у сортов сливы проводили после цветения в конце мая. Повреждения коры, камбия, древесины однолетних побегов оценивали в саду визуально по шестибалльной шкале на продольных и поперечных срезах:

- 0 – подмерзания нет, ткани имеют нормальную окраску;
- 1 – подмерзание очень слабое, ткани имеют желтоватую окраску;
- 2 – подмерзание слабое, ткани светло-коричневые;
- 3 – подмерзание среднее, ткани коричневые;
- 4 – подмерзание сильное, ткани имеют тёмно-коричневую окраску;
- 5 – подмерзание очень сильное, вплоть до полной гибели, ткани чёрные.

Оценка степени зимостойкости цветковых почек слив проводилась путём срезки многолетних ветвей в конце марта. Полученные образцы помещались в сосуды с водой и выдерживались в условиях комнатной температуры в течение 7 суток для индукции распускания почек. Для анализа использовалось по 100 цветковых почек на каждый сорт. Степень повреждения оценивали визуально на поперечных срезах почек по степени потемнения внутренних тканей. После этого проводился подсчёт количества жизнеспособных и поврежденных зачатков

цветков. В зависимости от уровня устойчивости к зимнему стрессу сорта сливы классифицировались по степени сохранности цветковых почек на пять групп:

1. Высокозимостойкие – гибель цветковых почек до 10%;
2. Зимостойкие – гибель почек от 11 до 25%;
3. Среднезимостойкие – гибель почек от 26 до 50%;
4. Малозимостойкие – гибель почек от 51 до 75%;
5. Незимостойкие – гибель почек от 76 до 100%.

2.3.7. Подготовка материала для искусственного промораживания

Для определения зимостойкости сортов сливы в контролируемых условиях использовали многолетние ветви, растущие с западной или юго-западной стороны дерева на высоте 1,5-2 м. Ветви средней длины, срезали в конце ноября с типичных для сорта деревьев плодоносящего возраста из средней части кроны из расчёта 5 шт. на каждую температуру промораживания. Срезанные в саду ветви этикетировали с указанием сорта, основание обматывали мокрой материей и распределяли в пакеты. На каждый компонент зимостойкости брали отдельный пакет, который также этикетировали с указанием температурного режима. После этого пакеты с ветвями сливы помещали на хранение в холодильный шкаф CV 114-S (Polair, Россия) при температуре -3 °С и вынимали по мере необходимости. Моделирование основных компонентов зимостойкости проводили в климатической камере LO-70/180-1000 ТВХ (Россия), согласно методическим рекомендациям (Тюрина и др., 2002).

2.3.8. Определение устойчивости сливы к раннезимним морозам (I компонент зимостойкости)

Промораживание проводили в начале декабря.

Режимы промораживания:

- стандартная закалка -5 °С – 5 дней; -10 °С – 5 дней;
- промораживание -25 °С продолжительность 8 часов, скорость снижения температуры 5 °С/ч.

2.3.9. Определение максимального уровня морозостойкости сливы (II компонент зимостойкости)

Промораживание проводили в конце декабря.

Режимы промораживания:

- стандартная закалка -5°C – 5 дней; -10°C – 5 дней;
- промораживание -30°C продолжительность 8 часов, скорость снижения температуры $5^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.

2.3.10. Определение способности сливы сохранять устойчивость в период оттепели (III компонент зимостойкости)

Промораживание проводили в феврале.

Режимы промораживания:

- стандартная закалка -5°C – 5 дней; -10°C – 5 дней;
- оттепель: $+2^{\circ}\text{C}$ – продолжительность 3 суток;
- промораживание -20°C продолжительность 8 часов, скорость снижения температуры $5^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.

2.3.11. Определение способности сливы восстанавливать морозостойкость при повторной закалке после оттепелей (IV компонент зимостойкости)

Промораживание проводили в марте.

Режимы промораживания:

- стандартная закалка -5°C – 5 дней; -10°C – 5 дней;
- оттепель: $+2^{\circ}\text{C}$ – продолжительность 3 суток;
- повторная закалка -5°C – 5 дней; -10°C – 5 дней;
- промораживание -25°C продолжительность 8 часов, скорость снижения температуры $5^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.

2.3.12. Оценка повреждений сливы по побурению почек и тканей методом отрашивания после искусственного промораживания

После промораживания ветви сливы отращивали в сосудах с водой (продолжительность 5 дней). Перед тем, как поставить в сосуды с водой ветви подрезали под водой на 2-3 см. Отращивание провели при $t = 18-20^{\circ}\text{C}$ в лабораторных условиях. Воду в сосудах меняли каждые 2 дня, периодически обновляли срезы. Повреждения тканей однолетних побегов после каждого компонента зимостойкости определяли визуально по степени побурения на продольных и поперечных срезах по следующей шкале:

0 – повреждений нет, ткани светлые;

0,5* – в тканях имеются побуревшие участки до 5-10%;

1 – побурело от 10 до 20% площади тканей;

2 – побурело от 20 до 40% участков тканей;

3 – побурело от 40 до 60% площади ткани;

4 – побурело от 60 до 80% площади ткани;

5 – погибло более 80% площади ткани.

* – балл 0,5 дается для выявления начальной стадии повреждения.

Повреждения генеративных почек сортов сливы после промораживания по каждому компоненту зимостойкости определяли по следующей шкале:

0 – повреждений нет;

1 – погибло до 10% зародышей цветков;

2 – погибло до 30% зародышей цветков, ожидается некоторое снижение урожая;

3 – погибло 70% зародышей цветков, повреждена сосудистая система почки.

Ожидается снижение урожая до 50%;

4 – погибло более 90% зародышей цветков, повреждена сосудистая система почки. Возможен лишь слабый урожай;

5 – почка погибла.

С целью изучения структурно-функциональной целостности мембран растительных клеток после каждого этапа моделирования основных компонентов зимостойкости проводился анализ образования продукта перекисного окисления

липидов – малонового диальдегида (МДА); активность ферментов антиоксидантной системы – пероксидаза, каталаза; содержания низкомолекулярных соединений – свободного пролина и суммы сахаров.

2.3.13. Определение образования малонового диальдегида

Количество малонового диальдегида (МДА) определяли на основе качественной реакции с тиобарбитуровой кислотой (Стальная, Гаришвили, 1977; Прудников, Ожерельева, 2019). Для этого 500 мг растительного материала растирали в 10 мл 0,35M NaCl с добавлением 1 мл трисHCl буфера (рН=8). Центрифугировали 10 мин. К 3 мл вытяжки из центрифугата добавляли 2 мл реактива (0,5% тиобарбитуровая кислота + 20% трихлоруксусная кислота). Пробирки помещали в кипящую водяную баню на 30 мин. После охлаждения пробы фильтровали. Фильтрат спектрофотометрировали при длине волны 535 нм (Стальная, Гаришвили, 1977; Прудников, Ожерельева, 2019).

2.3.14. Определение пероксидазы

Активность пероксидазы в листьях определяли методом Бояркина (Ермаков и др., 1987). В качестве субстрата использовали бензидин, который при окислении образует соединение синего цвета. Навеску растительного материала 500 мг растирали в ступке в 10 мл ацетатного буфера pH 5,4. Затем переносили в мерную колбу на 25 мл и доводили до метки водой. Каждая вытяжка настаивали 5-10 мин и центрифугировали в течение 10 мин при 3000 об/мин. Измерение проводили на ФЭКе при длине волны 670 нм на SmartSpec Plus (BioRad, США).

2.3.15. Определение каталазы

Определение активности каталазы проводили по методике (Аслидинов и др., 1995; Прудников, Ожерельева, 2019). Навеску растительного материала (100 мг) растирали в ступке со стеклянным порошком. Для уменьшения кислотности к растертой пробе добавляли на кончике шпателя CaCO₃, после чего приливали 10 мл 3%-ной перекиси водорода и 10 мл 3%-ного раствора иодистого калия в 50%-

ном ацетоне. Смесь фильтровали, затем центрифугировали и спектрофотометрировали при 440 нм на SmartSpec Plus (BioRad, США).

2.3.16. Определение содержания суммы сахаров

Определение концентрации сахарозы осуществлялось по методу, основанному на взаимодействии с резорциновым реагентом (Туркина, Соколова, 1972). Для анализа навеску образца массой 0,5 г экстрагировали в 10 мл этанола, предварительно подогретого до 80 °C. Смесь, выдерживали на водяной бане в течение 10 минут, после чего проводили центрифugирование при 7000 об/мин в течение 10 минут. Отобрав 0,5 мл супернатанта, к нему добавляли 50 мкл раствора 5н NaOH, затем снова прогревали образец на водяной бане в течение 10 минут. После охлаждения вносили 0,5 мл резорцинового реагива, приготовленного из 100 мг резорцина и 250 мг тиомочевины, растворённых в 100 мл ледяной уксусной кислоты, и дополнительно добавляли 3,5 мл 30% раствора соляной кислоты. Смесь вновь прогревали в течение 10 минут. По завершении реакционного этапа и охлаждения определяли оптическую плотность раствора при длине волны 520 нм с использованием спектрофотометра SmartSpec Plus (BioRad, США). Количественное содержание сахарозы определяли по калибровочной кривой, построенной на стандартных растворах чистого вещества, и выражали в мг/г.

2.3.17. Определение содержания аминокислоты пролин

Количественное определение пролина в образцах коры однолетних побегов проводилось с использованием реакции с нингидриновым реагентом по методике L.S. Bates и соавт. (1973) с модификациями, приведёнными в методической рекомендации П.С. Прудникова и З.Е. Ожерельевой (2019). Для анализа отбирали 500 мг растительного материала, который гомогенизировали в дистиллированной воде и подвергали нагреванию на водяной бане в течение 10 минут. Из полученного экстракта отбирали 2 мл, к которым добавляли 2 мл ледяной уксусной кислоты и 2 мл реагива нингидрина. Последний готовили из смеси 30

мл ледяной уксусной кислоты, 20 мл 6М ортофосфорной кислоты и 1,25 г нингидрина. Реакционную смесь инкубировали при кипячении на водяной бане в течение одного часа. После завершения реакции и охлаждения раствора оптическую плотность измеряли на спектрофотометре SmartSpec Plus (BioRad, США) при длине волны 520 нм. Содержание пролина определяли по калибровочной кривой, построенной на основе стандартных растворов чистого пролина, и выражали в мг на 1 кг сырой массы.

2.3.18. Оценка устойчивости цветков и бутонов сортов сливы к весенним заморозкам в полевых и лабораторных условиях

Оценку устойчивости цветков и бутонов сортов сливы к весенным заморозкам провели согласно методическим рекомендациям (Леонченко и др., 2007). В лабораторных условиях промораживали ветви с соцветиями, так как это больше соответствует естественным условиям. Ветви связывали в пучки так, чтобы соцветия были открыты, часть листьев удаляли. Основание ветвей смазывали садовым варом и обертывали влажной тканью. Искусственное промораживание проводили в климатической камере LO-70/180-1000 ТВХ (Россия). Для промораживания брали по 100 шт. цветков, бутонов каждого сорта сливы в 3-х кратной повторности:

-1 °C (продолжительность промораживания 3 часа) – скорость снижения температуры 1 °C/ч;

-2 °C (продолжительность промораживания 3 часа) – скорость снижения температуры 1 °C/ч;

-3 °C (продолжительность промораживания 3 часа) – скорость снижения температуры 1 °C/ч;

-4 °C (продолжительность промораживания 3 часа) – скорость снижения температуры 1 °C/ч.

Ветви после промораживания ставили на оттаивание при 0...2 °C, затем температуру постепенно повышали до 20...22 °C со скоростью 3 °C в час. Опытный материал выдерживали в лаборатории (24 ч) в сосудах с водой при t 22

°С. В каждом соцветии были просмотрены цветки и бутоны. Подсчитывали количество здоровых и поврежденных цветков и бутонов. Подмерзание пестика (Salazar-Gutiérrez et al., 2014; Matzneller et al., 2016) означает, что завязывания плодов не будет. Оценку степени повреждения бутонов и цветков в полевых и лабораторных условиях проводили визуально в процентах по потемнению тканей пестика и тычинок после отращивания веток в сосудах с водой (продолжительность 24 часа). Состояние завязей оценивали на продольных срезах. Ранжирование сортов сливы на группы устойчивости к заморозкам проводили согласно методическим рекомендациям (Леонченко и др., 2007):

1. Высокоустойчивые – количество поврежденных цветков, бутонов и завязи после промораживания при $t = -4,0$ °С не более 25,0%;
2. Устойчивые – количество поврежденных цветков, бутонов и завязи после промораживания при $t = -4,0$ °С от 25,1 до 50,0%;
3. Среднеустойчивые – количество поврежденных цветков и бутонов при $t = -4,0$ °С от 50,1 до 75,0%;
4. Неустойчивые – количество поврежденных цветков и бутонов после промораживания при $t = -4,0$ °С более 75,0%.

2.4. Статистическая обработка результатов исследований

Экспериментальные данные обработаны методами дисперсионного (ANOVA) и корреляционного анализа с использованием программного пакета MS Excel.

2.5. Экономическая эффективность

Расчет экономической эффективности возделывания зимостойких сортов сливы сделан на основе сравнения прямых затрат на посадочный материал, удобрения, средства защиты растений, горюче-смазочные материалы, уборку урожая и другие работы по уходу за растениями в соответствии с методикой (Дядченко, Шейкина, 1999).

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Изучение физиолого-биохимических процессов адаптации сливы разного генетического происхождения в осенний период

3.1.1. Определение вступления сливы в состояние глубокого покоя

Рост растений не является непрерывным процессом. В осенне-зимний период у них замедляются или полностью приостанавливаются ростовые процессы, т.е. наступает период глубокого покоя. В период глубокого покоя у сливы наиболее чувствительны к низким температурам сердцевина и древесина однолетних побегов, а также генеративные почки. Деревья с поврежденной древесиной и сердцевиной начинают позже вегетировать, а завязь у них часто осыпается. Повышение морозостойкости плодовых растений в процессе закалки успешно проходит только при прекращении роста и вступлении их в состояние покоя.

Для определения вступления в период покоя многолетние ветки сортов сливы срезали в конце октября. Многолетние ветки отращивали при температуре 18...20 °C в сосудах с водой. При этом отсутствие распускания почек служило показателем вступления растений сливы в состояние глубокого покоя.

Так, на протяжении последующих 34 дней у опытных сортов не наблюдали распускания почек, это подтверждает то, что растений изученных сортов сливы в ноябре находились в состояние глубокого покоя.

В дальнейшем многолетние ветки срезали в конце ноября. При этом отметили различия по сроку выхода сортов сливы из периода глубокого покоя. Первыми вышли (через 43 дня) из состояния покоя сорта Гек, Неженка, Сувенир Востока и ЭЛС 18473. Во II декаде декабря выход из состояния покоя наблюдали у сортов Орловская мечта, Скороплодная (через 46 дней), Венгерка заречная, Ветразь, Злато скифов, Золотое руно, Евразия 21 и Кубанская комета (через 52 дня). Самый поздний выход из состояния глубокого покоя (в начале III декады декабря) отмечен у сортов Венгерка белорусская и Stanley (таблица 3).

Таблица 3 – Сроки выхода сортов сливы разного генетического происхождения из периода глубокого покоя

Сорт	Дата выхода из состояния покоя			
	09.12.	12.12.	18.12.	21.12.
<i>P. domestica</i>				
Венгерка белорусская				+
Венгерка заречная			+	
Евразия 21			+	
Золотое руно			+	
Stanley				+
<i>P. × rossica</i>				
Ветразь			+	
Гек	+			
Злато скифов			+	
Кубанская комета			+	
<i>P. salicina</i>				
Неженка	+			
Орловская мечта		+		
Сувенир Востока	+			
Скороплодная		+		
ЭЛС 18473	+			

Таким образом, на основании проведённых наблюдений следует сказать, что сорта сливы характеризуются коротким периодом глубокого покоя, из которого выходят уже в декабре. Более продолжительный период глубокого покоя отметили у сортов *P. domestica* – Венгерка белорусская и Stanley.

3.1.2. Определение фракционного состава воды в коре однолетних побегов сливы

В осенний период одним из существенных признаков адаптивности растений к сезонным изменениям является динамика соотношения связанной воды к свободной (Красова и др., 2014).

Проведённые исследования показали, что к концу ноября – началу зимнего периода – в однолетних побегах сливовых растений наблюдается существенное увеличение содержания связанной воды на 10,9% и одновременное снижение доли свободной воды на 20,6% по сравнению с показателями сентября. Наиболее низкое соотношение между связанным и свободным состоянием воды (1,9) было зафиксировано в сентябре и октябре, тогда как к ноябрю оно достигло

максимального значения – 2,7 (таблица 4). Кроме того, общая оводнённость тканей побегов в ноябре снизилась на 5,7% по отношению к октябрю.

Повышение содержания связанной воды в тканях растений накануне зимы связано с изменениями в структуре гидрофильных компонентов клеток. Эти трансформации сопровождаются ослаблением метаболической активности, изменением состава протоплазмы и накоплением осмопротекторов (таблицы 7, 8), которые способствуют поддержанию водного баланса и повышают морозоустойчивость растений (Красова и др., 2014).

Таблица 4 – Соотношение связанная вода/свободная вода в тканях однолетних побегов сливы в осенний период (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В, месяц		
	сентябрь	октябрь	ноябрь
<i>P. domestica</i>			
Венгерка белорусская	1,9	2,1	4,4
Венгерка заречная	2,9	3,1	3,8
Евразия 21	2,5	2,1	2,5
Золотое руно	1,9	1,9	2,5
Stanley	1,9	2,6	3,3
<i>P. × rossica</i>			
Ветразь	1,7	1,5	4,0
Гек	1,5	1,9	3,3
Злато скифов	1,7	1,6	2,3
Кубанская комета	1,4	1,4	1,9
<i>P. salicina</i>			
Неженка	1,5	1,5	1,6
Орловская мечта	2,1	1,4	3,0
Сувенир Востока	1,9	2,3	2,1
Скороплодная	1,4	1,7	1,7
ЭЛС 18473	1,9	1,4	1,8
А НСР ₀₅ =1,0		В НСР ₀₅ =0,5	
AB F _φ <F _τ			

Так, в ноябре по сравнению с сентябрём отмечено увеличение соотношения связанной воды к свободной: у *P. × rossica* – в 1,8 раза, у *P. salicina* – в 1,2 раза, а у *P. domestica* – в 1,5 раза. Максимальные значения данного показателя на начало зимы были зарегистрированы у следующих сортов: *P. domestica* – Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Stanley; *P. × rossica* – Ветразь, Гек; *P. salicina* – Орловская мечта (таблица 4).

Таким образом, в результате определения фракционного состава воды установлено значительное повышение связанной воды в однолетних побегах изученных сортов сливы к началу зимы, что предположительно будет снижать риск обезвоживания и гибель растительной клетки в условиях низкотемпературного стресса.

3.1.3. Определение содержания крахмала и активности амилазы в коре однолетних побегов

Осенью при снижении активности метаболизма активизируются защитные механизмы растений, происходит, как говорилось выше, снижение оводненности и накопление крахмала с последующим его гидролизом, при этом в растительных тканях увеличивается количество сахаров (таблица 7).

В сентябре у сортов *P. domestica* в коре однолетних побегов зафиксировано максимальное содержание крахмала – 0,876 мг/см³ (таблица 5). При этом их отличала пониженная активность амилазы (таблица 6) – фермента, катализирующего гидролиз крахмала.

У представителей *P. salicina* концентрация крахмала в коре составила в среднем 0,73 мг/см³ при активности амилазы 77,71 мг крахмала·ч/г. Сорта *P. × rossica* продемонстрировали наименьшее накопление крахмала (0,62 мг/см³), но активность амилазы у них была выше на 24,6% и 17,9% по сравнению с *P. domestica* и *P. salicina* соответственно, достигнув уровня 91,59 мг крахмала·ч/г.

В октябре гидролиз крахмала у всех изученных сортов замедлился. Это подтверждается снижением содержания крахмала в 2,5-3,6 раза (таблица 5) относительно сентябрьских показателей на фоне уменьшения активности амилазы в 1,3-1,8 раза (таблица 6). Параллельно зафиксировано сокращение содержания сахаров в коре побегов (таблица 7), что, вероятно, связано с их расходом на биосинтез белков. Примечательно, что в октябре наиболее интенсивный гидролиз крахмала наблюдался у *P. salicina* благодаря высокой активности амилазы (31,31 мг крахмала·ч/г), тогда как у *P. domestica* и *P. × rossica* значения составили 26,78 и 26,60 мг крахмала·ч/г соответственно (таблица 6).

Таблица 5 – Содержание крахмала в коре однолетних побегов сливы
в осенний период, мг/см³ (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В, месяц		
	сентябрь	октябрь	ноябрь
<i>P. domestica</i>			
Венгерка белорусская	0,96±0,57	0,18±0,05	0,15±0,05
Венгерка заречная	1,05±0,54	0,29±0,10	0,16±0,05
Евразия 21	1,14±0,53	0,22±0,07	0,32±0,13
Золотое руно	0,33±0,10	0,22±0,04	0,22±0,08
Stanley	0,90±0,37	0,31±0,05	0,18±0,09
<i>P. × rossica</i>			
Ветразь	0,73±0,31	0,32±0,03	0,15±0,02
Гек	0,72±0,32	0,20±0,05	0,15±0,03
Злато скифов	0,55±0,20	0,27±0,08	0,16±0,05
Кубанская комета	0,47±0,24	0,24±0,07	0,14±0,07
<i>P. salicina</i>			
Неженка	0,99±0,59	0,12±0,05	0,16±0,05
Орловская мечта	1,01±0,55	0,29±0,01	0,16±0,05
Сувенир Востока	0,48±0,15	0,54±0,30	0,16±0,05
Скороплодная	0,51±0,19	0,17±0,09	0,14±0,06
ЭЛС 18473	0,66±0,23	0,17±0,06	0,17±0,04
A F _Φ <F _T	B HCP ₀₅ =0,2	AB F _Φ <F _T	

Таблица 6 – Активность амилазы в коре однолетних побегов сливы
в осенний период, мг крахмала·ч/г сырой массы (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В, месяц		
	сентябрь	октябрь	ноябрь
<i>P. domestica</i>			
Венгерка белорусская	78,32±41,98	29,26±15,23	52,66±35,46
Венгерка заречная	148,35±78,90	21,00±6,91	61,20±32,66
Евразия 21	62,68±18,93	26,98±15,13	56,69±35,41
Золотое руно	68,82±35,87	28,43±13,60	22,56±16,56
Stanley	9,29±1,44	28,25±19,97	54,29±25,60
<i>P. × rossica</i>			
Ветразь	90,95±47,02	20,92±14,29	58,56±30,86
Гек	84,10±40,44	27,63±13,95	41,29±33,06
Злато скифов	95,88±45,45	17,97±4,04	54,42±30,70
Кубанская комета	95,41±49,59	39,87±17,87	47,75±26,62
<i>P. salicina</i>			
Неженка	27,95±9,02	32,05±17,59	41,84±36,58
Орловская мечта	115,58±57,79	35,78±18,48	78,04±38,95
Сувенир Востока	49,30±20,47	28,10±15,89	76,07±36,01
Скороплодная	68,82±32,24	18,47±2,59	34,34±29,64
ЭЛС 18473	126,90±65,34	42,14±17,62	70,82±33,38
A F _Φ <F _T	B HCP ₀₅ =19,4	AB F _Φ <F _T	

В ноябре продолжилась тенденция к снижению концентрации крахмала в коре однолетних побегов сливы, сопровождавшаяся усилением его гидролитического расщепления. Содержание крахмала у сортов *P. domestica*, *P. salicina* и *P. × rossica* уменьшилось в 4,2, 4,6 и 4,2 раза соответственно по сравнению с сентябрьскими значениями (таблица 5). Параллельно зафиксирован рост активности амилазы: у *P. domestica* – в 1,8 раза, у *P. salicina* – в 1,9 раза, у *P. × rossica* – в 2,0 раза относительно исходных показателей (таблица 6).

Установлено, что понижение температуры воздуха активирует ферменты, катализирующие преобразование крахмала в сахара. В данном случае ключевую роль играет амилаза, чья активность напрямую коррелирует с адаптацией растений к холодовому стрессу.

Таким образом, крахмал, являясь запасным энергетическим веществом, при подготовке растений к зиме накапливается в коре однолетних побегов сливы. Так, максимальное количество крахмала в коре однолетних побегов сливы отметили в начале осени на фоне более высокой активности амилазы. При понижении среднесуточной температуры воздуха содержание полисахарида в вегетативных органах сортов сливы понижается в результате его гидролиза с участием фермента амилаза, с последующим увеличением сахаров (таблица 7). При этом отмечено, что гидролиз крахмала в осенний период более интенсивно проходил у сортов *P. × rossica* и *P. salicina*, чем у *P. domestica*.

3.1.4. Определение содержания сахаров в коре однолетних побегов сливы

Сахара усиливают гидрофильные свойства коллоидов протоплазмы, предотвращая кристаллизацию внутриклеточной жидкости и экстремальную дегидратацию (Luo et al., 2011). Их накопление обусловлено процессами гидролитического расщепления крахмала. Совместно с другими осмолитами (например, пролином) сахара повышают осмотическую концентрацию клеточного сока за счет увеличения доли связанной воды, что обеспечивает защиту при воздействии отрицательных температур. Анализ осеннего накопления сахаров в коре однолетних побегов выявил межвидовые различия. В сентябре у *P. domestica*

содержание сахаров было ниже на 29,1% и 26,4% по сравнению с *P. salicina* и *P. × rossica* соответственно. Максимальные показатели зафиксированы у *P. salicina* (сорта Неженка, Орловская мечта, Скороплодная, Сувенир Востока): 1,184-1,432 мг/г; *P. × rossica* (сорта Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета): 1,085-1,415 мг/г; *P. domestica* (сорта Венгерка белорусская, Евразия 21): 1,001-1,108 мг/г (таблица 7).

В октябре концентрация сахаров снизилась: *P. domestica* – 29,9%; *P. salicina* – 34,5%; *P. × rossica* – 18,6% (относительно сентября). Это может быть связано с их участием в биосинтезе белков или транспортом в почки. При этом *P. domestica* сохраняла на 24,2-33,2% меньше сахаров, чем другие виды. Наибольшее накопление отмечено у сортов *P. salicina*: Орловская мечта, Сувенир Востока; *P. domestica*: Евразия 21; *P. × rossica*: Ветразь, Гек, Злато скифов (таблица 7).

Таблица 7 – Содержание суммы сахаров в коре однолетних побегов сливы
в осенний период, мг/г (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В, месяц		
	сентябрь	октябрь	ноябрь
<i>P. domestica</i>			
Венгерка белорусская	1,00±0,15	0,75±0,08	1,24±0,17
Венгерка заречная	0,96±0,17	0,78±0,11	1,04±0,12
Евразия 21	1,11±0,14	0,83±0,08	1,32±0,16
Золотое руно	0,90±0,18	0,67±0,09	1,24±0,25
Stanley	0,86±0,16	0,70±0,08	1,06±0,10
<i>P. × rossica</i>			
Ветразь	1,42±0,13	1,02±0,16	1,60±0,22
Гек	1,09±0,14	0,97±0,19	1,56±0,34
Злато скифов	1,10±0,16	1,09±0,28	1,74±0,28
Кубанская комета	1,29±0,32	0,89±0,13	1,52±0,32
<i>P. salicina</i>			
Неженка	1,18±0,24	0,86±0,17	1,53±0,10
Орловская мечта	1,43±0,21	0,99±0,16	1,38±0,27
Сувенир Востока	1,42±0,29	1,02±0,15	1,55±0,25
Скороплодная	1,28±0,39	0,88±0,17	1,51±0,32
ЭЛС 18473	0,92±0,21	0,89±0,17	1,64±0,16
А HCP ₀₅ =0,21 В HCP ₀₅ =0,1 AB F _Φ <F _T			

Интенсификация гидролиза крахмала (таблицы 5, 6) в ноябре вызвала рост сахаров: *P. domestica*: +58,1%; *P. salicina*: +64,2%; *P. × rossica* Erem.: +61,4% (относительно октября). Представители *P. × rossica* и *P. salicina* накопили на 36%

и 29% больше сахаров, чем *P. domestica*. Среди последних выделились сорта Венгерка белорусская, Золотое руно и Евразия 21 (таблица 7).

В осенний период у сливы активировался механизм холодовой адаптации, при котором гидролиз крахмала обеспечивал накопление сахаров. Эти соединения выполняют криопротекторную функцию, минимизирующую повреждения клеток при зимних температурных стрессах.

3.1.5. Определение содержания пролина в коре однолетних побегов сливы

В процессе закалки растения аккумулируют осмотически активные соединения (пролин, сахара и др.), повышающие вязкость цитоплазмы. Пролин, взаимодействуя с сахарами, стабилизирует белковые структуры и снижает точку замерзания клеточного содержимого, предотвращая их денатурацию (Прудников и др., 2017).

В осенний период у исследуемых сортов сливы наблюдалась различная динамика накопления свободного пролина в коре однолетних побегов. В сентябре его содержание оказалось значительно ниже – на 15,9-32,9% по сравнению с октябрём и на 48,8-81,3% меньше, чем в ноябре. Минимальные концентрации пролина были характерны для сортов *P. domestica* – уровень данной аминокислоты у них был в 2,1 раза ниже, чем у представителей *P. salicina*, и в 2,6 раза ниже по сравнению с *P. × rossica* (таблица 8).

В октябре тенденция к накоплению пролина сохранилась. Максимальные значения зафиксированы у *P. × rossica* – 146,05 мг/кг; у *P. salicina* – 132,34 мг/кг. Минимальная концентрация аминокислоты отмечена у *P. domestica* – 64,60 мг/кг (таблица 8).

К началу зимы тенденция к накоплению свободного пролина в коре однолетних побегов сливы сохранилась. У сортов *P. domestica* концентрация аминокислоты оказалась в 2,5 и 2,6 раза ниже, чем у *P. salicina* и *P. × rossica* соответственно. Наибольшее содержание низкомолекулярного осмолита к зимнему сезону зафиксировано у следующих сортов *P. salicina*: Орловская мечта,

Скороплодная; *P. domestica*: Венгерка заречная, Евразия 21; *P. × rossica*: Ветразь, Гек, Золото скифов (таблица 8).

Таблица 8 – Содержание свободного пролина в коре однолетних побегов сливы в осенний период, мг/кг (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В, месяц		
	сентябрь	октябрь	ноябрь
<i>P. domestica</i>			
Венгерка белорусская	49,44±9,15	41,13±6,65	59,48±23,67
Венгерка заречная	39,59±12,03	92,74±24,51	74,47±29,47
Евразия 21	72,59±20,07	98,62±23,01	102,51±3,86
Золотое руно	47,90±15,72	39,13±4,18	63,22±24,45
Stanley	33,57±4,52	51,37±13,26	61,99±19,09
<i>P. × rossica</i>			
Ветразь	125,11±60,02	146,20±3,62	191,07±60,57
Гек	140,19±60,69	142,82±14,04	199,95±62,81
Золото скифов	122,49±62,81	153,64±9,29	216,68±54,65
Кубанская комета	116,20±54,67	141,53±11,76	154,35±67,36
<i>P. salicina</i>			
Неженка	92,84±11,32	124,03±9,63	161,99±55,26
Орловская мечта	97,76±48,60	155,35±7,24	206,01±60,29
Сувенир Востока	100,70±47,49	129,47±6,20	170,82±42,62
Скороплодная	97,49±34,34	138,48±10,04	200,62±64,25
ЭЛС 18473	118,04±53,85	114,38±13,09	179,61±55,04
A HCP ₀₅ =45,73	B HCP ₀₅ =21,17	AB F _Φ <F _T	

Таким образом, при прохождении закалки осенью в коре однолетних побегов сортов сливы наблюдали значительное увеличение содержания свободного пролина, который наряду с сахарами играет защитную роль в условиях отрицательной температуры.

3.1.6. Зависимость между физиолого-биохимическими показателями адаптации и метеорологическими условиями в осенний период

Корреляционный анализ показал, что динамика физиолого-биохимических показателей адаптивности сортов сливы зависела от погодных условий осеннего периода в разной степени по годам.

Так, повышение уровня связанной воды в однолетних побегах сортов сливы в 2022 году сильнее зависело от суммы осадков, чем от температуры воздуха. При этом выявили отрицательную корреляционную связь между количеством

связанной воды и погодными условиями. Содержание суммы сахаров в большей степени зависело от температурного режима в осенние месяцы, чем от количества выпавших осадков. При этом отметили отрицательную корреляционную зависимость. Количество свободного пролина в коре однолетних побегов изменялось в зависимости от количества выпавших осадков и температуры воздуха. На интенсивность гидролиза крахмала сильно влияли температура воздуха и осадки.

В результате анализа погодных условий осени 2023 года установлено, что повышение уровня связанной воды в однолетних побегах сортов сливы демонстрировало выраженную отрицательную корреляцию с температурными показателями и положительную – с уровнем атмосферных осадков.

Содержание сахара в коре однолетних побегов в большей степени зависело от температурного режима в течение осеннего периода, чем от водного. На содержание свободного пролина, уровень крахмала и активность фермента амилазы существенное влияние оказывали температура и условия увлажнения осенних месяцев, что согласуется с результатами предыдущего года. Кроме того, была установлена чёткая отрицательная корреляционная связь между интенсивностью гидролиза крахмала и количеством выпадающих осадков в этот период.

В 2024 году между содержанием связанной воды в однолетних побегах сортов сливы установили сильную положительную корреляционную связь с температурой воздуха и суммой осадков. Содержание сахаров в меньшей степени зависело от температуры и количества выпавших осадков в осенние месяцы, чем в предыдущие годы.

Интенсивность биосинтеза свободного пролина также сильно зависела от метеоусловий осеннего периода. В 2024 году на содержание крахмала в коре однолетних побегов сильно влияли осадки, при этом установили сильный уровень зависимости активности фермента амилаза от температуры воздуха (таблица 9).

Таблица 9 – Зависимость между физиолого-биохимическими показателями адаптации и метеорологическими условиями в осенний период, г

Год	Физиолого-биохимические показатели адаптации	Минимальная температура, °C	Максимальная температура, °C	Среднесуточная температура, °C	Сумма осадков, мм
2022	Доля связанный воды, %	-0,44	-0,57	-0,56	-0,72
	Содержание сахаров, мг/г	-0,76	-0,65	-0,65	-0,48
	Содержание пролина, мг/кг	-0,52	-0,64	-0,64	0,78
	Содержание крахмал, мг/см ³	0,70	0,79	0,79	0,90
	Активность амилазы, мг крахмала·ч/г сырой массы	0,77	0,85	0,85	0,94
2023	Доля связанный воды, %	-0,99	-0,99	-0,92	0,83
	Содержание сахаров, мг/г	-0,72	-0,78	-0,40	0,21
	Содержание пролина, мг/кг	-0,92	-0,95	-0,69	0,54
	Содержание крахмал, мг/см ³	0,75	0,70	0,95	-0,99
	Активность амилазы, мг крахмала·ч/г сырой массы	0,81	0,75	0,97	-0,99
2024	Доля связанный воды, %	1,00	0,98	0,99	0,92
	Содержание сахаров, мг/г	-0,46	-0,64	-0,42	0,10
	Содержание пролина, мг/кг	-0,76	-0,88	-0,73	0,45
	Содержание крахмал, мг/см ³	-0,47	-0,26	-0,50	0,77
	Активность амилазы, мг крахмала·ч/г сырой массы	-0,84	-0,94	-0,82	0,57

Таким образом, в результате проведенных исследований в осенний период было установлено, что для изученных сортов сливы характерно увеличение связанной воды на фоне снижения общей оводненности однолетних побегов. К началу зимы у всех изученных сортов отмечено значительное увеличение соотношения связанная вода/свободная вода в тканях побегов. Максимальные значения выявлены у *P. domestica*: Венгерка белорусская, Венгерка заречная,

Stanley; у *P. × rossica*: Ветразь, Гек; у *P. salicina*: Орловская мечта. Интенсификация гидролиза крахмала у *P. × rossica* и *P. salicina* способствовала активному накоплению сахаров в коре побегов. Параллельно зафиксирован рост содержания свободного пролина, что подтверждает усиление осмотической защиты. Наиболее выраженные адаптивные реакции осенью продемонстрировали: *P. × rossica*: Ветразь, Гек, Кубанская комета; *P. salicina*: Орловская мечта, Скороплодная. Среди *P. domestica* выделились сорта Венгерка белорусская, Евразия 21 и Stanley, показавшие повышенную активность метаболических процессов в период закалки по сравнению с другими представителями этого вида.

3.2. Оценка зимостойкости сортов сливы в полевых условиях

За годы исследований деревья большинства сортов сливы не имели существенных повреждений в зимний период. Известно, чаще всего зимой у косточковых пород повреждаются цветковые почки. Поэтому возможность эффективного возделывания сортов сливы определяется, прежде всего, зимостойкостью цветковых почек. Так, погодные условия зимнего периода 2021/22 гг. способствовали тому, что сорта сливы не имели подмерзания плодовых почек и тканей однолетних побегов.

Условия зимнего периода 2022/23 г. привели к подмерзанию цветковых почек у сортов сливы Золотое руно (погибло 39,0%) и Сувенир Востока (погибло 56,6%). Высокую зимостойкость цветковых почек показали сорта *P. domestica* – Венгерка белорусская; *P. × rossica* – Гек; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная, ЭЛС 18473. Остальные сорта проявили достаточно хорошую зимостойкость генеративных почек.

В зимний период 2023/24 гг. значительные повреждения зачатков цветков отмечены у сортов *P. domestica* Золотое руно (гибель 70,0%) и *P. salicina* Сувенир Востока (гибель 78%). Наибольшую устойчивость генеративных почек продемонстрировали *P. domestica*: Венгерка белорусская, Венгерка заречная,

Евразия 21; *P. × rossica*: Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета; *P. salicina*: Орловская мечта, Неженка, Скороплодная, ЭЛС 18473 (таблица 10).

Погодные условия зимнего периода 2024/25 г. привели к наибольшему подмерзанию засадок цветков у сорта сливы Сувенир Востока (погибло 40%). У этого сорта сильно также повредились ткани однолетних побегов (максимальная степень повреждения коры, камбия и древесины до 4-5 баллов). У остальных изученных сортов сливы подмерзание цветочных почек не выявили (таблица 10).

Таблица 10 – Доля погибших генеративных почек сливы в полевых условиях,
(2022-2025 гг.)

Сорт	Доля погибших засадок цветков, %			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
<i>P. domestica</i>				
Венгерка белорусская	0,0	8,0	5,0	0,0
Венгерка заречная	0,0	17,6	9,3	0,0
Евразия 21	0,0	16,0	5,0	0,0
Золотое руно	0,0	39,0	70,0	0,0
Stanley	0,0	20,0	8,2	0,0
<i>P. salicina</i>				
Орловская мечта	0,0	3,1	0,0	0,0
Неженка	0,0	15,9	5,0	0,0
Сувенир Востока	0,0	56,6	78,0	40,0
ЭЛС 18473	0,0	10,0	0,0	0,0
Скороплодная	0,0	1,7	0,0	0,0
<i>P. × rossica</i>				
Ветразь	0,0	26,0	9,8	0,0
Гек	0,0	10,0	6,0	0,0
Злато скифов	0,0	18,1	0,0	0,0
Кубанская комета	0,0	14,5	0,0	0,0

Таким образом, в полевых условиях зимостойкость проявили сорта сливы сорта *P. domestica* – Венгерка белорусская; Венгерка заречная, Евразия 21 и Stanley; *P. × rossica* – Гек, Злато скифов и Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная, Неженка и ЭЛС 18473.

3.3. Оценка зимостойкости сортов сливы в контролируемых условиях

3.3.1. Определение устойчивости сливы к раннезимним морозам (I компонент зимостойкости)

Формирование морозоустойчивости у растений происходит в процессе закаливания, который приходится на осенний период.

Согласно результатам экспериментов по искусственному промораживанию, исследуемые сорта сливы характеризуются достаточно высокой скоростью вхождения в закалённое состояние. Это обеспечивает им способность переносить раннезимние морозы до -25°C в начале декабря без повреждений генеративных и вегетативных почек, а также коры, камбия и древесины однолетних побегов (таблица 11).

Сердцевина побегов при этом демонстрировала лишь незначительные повреждения, оцененные не выше 1,0 балла, что подтверждает высокую степень адаптации сортов к низким температурам в раннезимний период.

Таблица 11 – Степень подмерзания почек и тканей однолетних побегов сливы при -25°C (I компонент зимостойкости), (2022-2024 гг.)

Сорт	Кора	Камбий	Древесина	Вегетативные почки	Доля погибших цветковых зачатков, %
	Средний балл повреждения				
<i>P. domestica</i>					
Венгерка белорусская	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Венгерка заречная	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Евразия 21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Золотое руно	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Stanley	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>P. salicina</i>					
Орловская мечта	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Неженка	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Сувенир Востока	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ЭЛС 18473	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Скороплодная	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>P. × rossica</i>					
Ветразь	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Гек	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Злато скифов	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Кубанская комета	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Таким образом, изученные сорта сливы обладают высокой морозостойкостью при I компоненте зимостойкости.

3.3.2. Определение максимальной морозостойкости сливы (II компонент зимостойкости)

Ко времени выхода растений плодовых культур из состояния органического покоя развивается максимальная способность к закалке (Тюрина и др., 2002).

Наибольшую устойчивость в условиях II компонента зимостойкости выявили у сортов *P. domestica*: Венгерка белорусская, Stanley; *P. salicina*: Орловская мечта, Скороплодная; *P. × rossica*: Гек, Кубанская комета. У данных сортов зафиксированы минимальные повреждения вегетативных почек и коры однолетних побегов. Гибель генеративных почек при -30°C не превысила 31,0% (таблица 12).

В большей степени генеративные и вегетативные почки, ткани однолетних побегов повредились отрицательной температурой у сорта Золотое руно. Обратимые повреждения вегетативных почек и коры однолетних побегов отметили у сорта Сувенир Востока. У сортов Венгерка заречная, Ветразь, Неженка и Злато скифов выявили обратимые повреждения вегетативных почек. Кора и камбий у них повредились отрицательной температурой незначительно. Данные сорта характеризовались средним уровнем морозостойкости генеративных почек, которые у них подмерзли от 37,5 до 60,5% (таблица 12).

Таблица 12 – Степень подмерзания почек и тканей однолетних побегов сливы при -30 °С (II компонент зимостойкости), (2022-2024 гг.)

Сорт	Kора	Камбий	Древесина	Вегетативные почки	Доля погибших цветковых засадок, %
	Средний балл повреждения				
<i>P. domestica</i>					
Венгерка белорусская	1,0	0,0	0,0	1,0	26,5
Венгерка заречная	1,0	0,5	0,0	1,5	40,3
Евразия 21	1,0	0,0	0,0	1,0	37,5
Золотое руно	2,0	0,5	1,0	2,5	75,3
Stanley	1,0	0,0	0,0	1,0	27,8
<i>P. salicina</i>					
Орловская мечта	0,0	0,0	0,0	1,0	25,1
Неженка	1,0	0,0	0,0	1,5	51,7
Сувенир Востока	1,5	0,5	0,0	2,0	60,5
Скороплодная	1,0	0,0	0,0	1,0	30,3
ЭЛС 18473	1,0	0,0	0,0	1,0	39,2

Продолжение Таблица 12

<i>P. × rossica</i>					
Ветразь	1,0	0,0	0,0	1,5	39,9
Гек	0,0	0,0	0,0	1,0	30,0
Золото скифов	1,0	0,0	0,0	1,0	38,7
Кубанская комета	0,0	0,0	0,0	1,0	30,0
HCP ₀₅	0,4	$F_\phi < F_T$	-	0,6	17,7

Таким образом, в результате проведенных исследований выявили максимальный уровень морозостойкости (II компонент зимостойкости) у сортов *P. × rossica* – Гек и Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта и Скороплодная; *P. domestica* – Венгерка белорусская и Stanley.

3.3.3. Определение способности сохранять морозостойкость сливы в период оттепели (III компонент зимостойкости)

В феврале при снижении температуры до -20 °С после трехдневной оттепели +2 °С повредились вегетативные почки до 1,0 балла у сортов *P. domestica* – Венгерка заречная, Золотое руно, Евразия 21, Stanley, у сорта *P. salicina* – Неженка, Скороплодная, Сувенир Востока, ЭЛС 18473, у *P. × rossica* – Гек. При этом отметили максимальное повреждение коры (1,5 балл) у сортов Золотое руно и Сувенир Востока. У данных сортов незначительно повредился камбий однолетних побегов. У сорта Скороплодная и ЭЛС 18473 отметили повреждение коры однолетних побегов (1,0 балл) (таблица 13).

Таблица 13 – Степень подмерзания почек и тканей однолетних побегов при -20 °С после трехдневной оттепели +2 °С (III компонент зимостойкости)

Сорт	Kора	Камбий	Древесина	Вегетативные почки	Доля погибших цветковых засадок, %
	Средний балл повреждения				
<i>P. domestica</i>					
Венгерка белорусская	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0
Венгерка заречная	0,0	0,0	0,0	1,0	23,0
Золотое руно	1,5	0,5	0,0	1,0	46,7
Евразия 21	0,0	0,0	0,0	0,7	22,2
Stanley	0,0	0,0	0,0	0,5	15,0
<i>P. salicina</i>					
Орловская мечта	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
Неженка	0,0	0,0	0,0	1,0	31,3

Продолжение Таблица 13

Сувенир Востока	1,5	0,5	0,0	1,0	40,7
ЭЛС 18473	1,0	0,0	0,0	1,0	35,0
Скороплодная	1,0	0,0	0,0	1,0	20,0
<i>P. × rossica</i>					
Ветразь	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0
Гек	0,0	0,0	0,0	0,5	21,0
Злато скифов	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
Кубанская комета	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0
HCP ₀₅	0,1	-	-	0,2	15,9

Остальные исследованные сорта также продемонстрировали высокую морозоустойчивость вегетативных почек и основных анатомических тканей однолетних побегов. Повреждение генеративных почек при воздействии температуры -20 °C, наступившей после трёхдневной оттепели при +2 °C, оказалось незначительным и не превышало 25,0% у следующих сортов: Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Ветразь, Гек, Злато скифов, Евразия 21, Кубанская комета, Орловская мечта, Скороплодная и Stanley (таблица 13).

Таким образом, при III компоненте зимостойкости выявили максимальный уровень способности сохранять морозостойкость в период оттепелей у сортов *P. × rossica* – Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета; *P. domestica* – Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21, Stanley; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная.

3.3.4. Определение способности восстанавливать морозостойкость сливы после оттепели и повторной закалки (IV компонент зимостойкости)

Одним из важных аспектов зимостойкости является способность растений восстанавливать морозоустойчивость после оттепелей. Четвертый компонент отражает резистентность к повторным заморозкам, возникающим после потеплений.

После трехдневной оттепели (+2 °C) и последующего снижения температуры до -25 °C (конец марта) повреждение генеративных почек варьировало от 17,8% до 69,8%. Максимальные потери отмечены у *P. domestica* Золотое руно, у которого также сильнее пострадали вегетативные почки, кора и

камбий (таблица 14). Среди представителей *P. salicina* сорта Неженка и Сувенир Востока имели наибольшее количество погибших зачатков цветков при действии температуры -25 °С после трехдневной оттепели +2 °С и повторной закалки (таблица 14).

Таблица 14 – Степень подмерзания тканей и вегетативных почек однолетних побегов при -25 °С после трехдневной оттепели +2 °С и повторной закалки (IV компонент зимостойкости) (2023-2025 гг.)

Сорт	Кора	Камбий	Древесина	Вегетативные почки	Доля погибших зачатков цветков, %
	Средний балл повреждения				
<i>P. domestica</i>					
Венгерка белорусская	0,0	0,0	0,0	1,0	18,3
Венгерка заречная	0,5	0,0	0,0	1,0	41,2
Евразия 21	0,0	0,0	0,0	1,0	37,4
Золотое руно	0,8	0,3	0,0	1,3	69,8
Stanley	0,0	0,0	0,0	1,0	24,9
<i>P. salicina</i>					
Орловская мечта	0,0	0,0	0,0	0,5	17,8
Неженка	0,0	0,0	0,0	0,7	44,1
Сувенир Востока	0,5	0,0	0,0	1,0	55,2
ЭЛС 18473	0,0	0,0	0,0	0,8	30,7
Скороплодная	0,0	0,0	0,0	0,8	24,6
<i>P. × rossica</i>					
Ветразь	0,0	0,0	0,0	0,9	30,3
Гек	0,0	0,0	0,0	1,0	26,5
Злато скифов	0,0	0,0	0,0	0,7	24,2
Кубанская комета	0,0	0,0	0,0	0,8	26,2
HCP ₀₅	0,1	-	-	0,3	13,3

Таким образом, результаты искусственного промораживания выявили наибольшую способность восстанавливать морозостойкость у сортов *P. domestica* – Венгерка белорусская, Stanley; *P. × rossica* – Гек, Злато скифов, Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная.

3.3.5. Устойчивость сортов сливы разного генетического происхождения по комплексу компонентов зимостойкости

Наибольшую степень зимостойкости демонстрируют те генотипы, которые на высоком уровне сочетают все компоненты устойчивости к неблагоприятным

зимним условиям. Вместе с тем, в селекционной работе при выведении новых сортов особую ценность представляют и доноры отдельных компонентов зимостойкости. Объединение таких признаков в одном генотипе путём целенаправленной гибридизации открывает возможность получения новых, более устойчивых форм плодовых культур (Кичина, 1986, 1993).

Проведённые испытания методом искусственного промораживания позволили выявить потенциал устойчивости сортов сливы разного происхождения по основным компонентам зимостойкости.

Наибольшую морозоустойчивость по всем четырём компонентам показали следующие сорта: *P. × rossica* – Гек, Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная; *P. domestica* – Венгерка белорусская, Stanley. Эти генотипы продемонстрировали способность переносить температуру -25 °С в начале зимы, -30 °С в её середине, -20 °С после трёхдневной оттепели +2 °С и -25 °С после трёхдневной оттепели +2 °С в условиях повторной закалки в конце зимнего периода.

При этом сорта *P. × rossica* – Ветразь, Злато скифов характеризовались морозостойкостью по I, III и IV компонентам зимостойкости, но в условиях II компонента эти сорта проявили средний уровень морозостойкости.

Сорта сливы Венгерка заречная и Евразия 21 (*P. domestica*) показали средний уровень морозостойкости по II и IV компонентам зимостойкости и относительно высокий потенциал устойчивости по I и III компонентам.

Сорта сливы Неженка и ЭЛС 18473 (*P. salicina*) показали средний уровень морозостойкости по II, III и IV компонентам зимостойкости и высокий потенциал устойчивости по I компоненту.

Наименьший потенциал морозостойкости по II, III и IV компонентам установили у сортов Золотое руно (*P. domestica*) и Сувенир Востока (*P. salicina*). При этом данные сорта характеризовались высокой морозостойкостью при I компоненте.

3.4. Изучение особенности физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу сливы при I компоненте зимостойкости

В ряде лет для Европейской части России характерны резкие снижения температуры в начале декабря, достигающие отметок $-22\ldots-25$ °C. В этих условиях жизненно важно, чтобы районированные сорта обладали способностью к формированию морозоустойчивости уже на ранних этапах зимнего сезона (Данилова, 2011).

Прекращение роста и вхождение в состояние покоя является стартовым моментом развития способности к закалке. С этого времени постепенно вследствие определенных биохимических, физиологических и структурных изменений растения подготавливаются к перезимовке. Разные виды и сорта плодовых культур значительно различаются по времени начала подготовительных к перезимовке процессов, скорости прохождения отдельных этапов и сроках достижения максимальной способности к закалке (Тюрина и др., 2002).

3.4.1. Определение активности антиоксидантных ферментов пероксидаза и каталаза в коре однолетних побегов сливы

К антиоксидантным ферментам относятся каталаза и пероксидаза. Пероксидаза является одной из важнейших каталитических систем среди биохимических факторов защиты растений и относится к полифункциональным ферментам, выступают в качестве одного из звеньев альтернативной дыхательной цепи, обладающая повышенной чувствительностью к внешним воздействиям (Андреева, 1988).

В условиях понижения температуры до -25 °C, что соответствует проявлению первого компонента зимостойкости, на начальном этапе зимовки была зафиксирована заметная редукция активности фермента пероксидазы по сравнению с периодом предварительной закалки. Установленное снижение составило 3,4 раза у *P. × rossica*, 1,4 раза у *P. salicina* и 1,6 раза у *P. domestica*.

Подобная динамика указывает на ослабление интенсивности метаболических реакций, что типично для фазы глубокого физиологического покоя (таблица 15).

Таблица 15 – Активность пероксидазы в коре однолетних побегов сливы при действии температуры -25 °С после закалки, у.е. (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В	
	Закалка -5 °, -10 °C	I компонент -25 °C
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	6,4±3,2	3,0±2,7
Венгерка заречная	7,7±7,4	6,6±6,3
Евразия 21	18,1±7,4	3,0±2,2
Золотое руно	7,9±7,6	3,3±3,0
Stanley	12,6±12,2	9,8±9,3
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	7,1±6,8	3,1±2,8
Гек	11,8±6,9	3,5±3,0
Злато скифов	12,6±12,2	6,1±5,7
Кубанская комета	18,1±17,2	3,0±2,3
<i>P. salicina</i>		
Неженка	12,6±12,1	12,2±11,9
Орловская мечта	8,8±8,3	3,6±3,0
Сувенир Востока	3,6±3,2	1,5±1,3
Скороплодная	13,6±13,1	8,5±7,9
ЭЛС 18473	12,6±7,8	12,1±11,7
A F _φ <F _T	B HCP ₀₅ =3,3	AB F _φ <F _T

Каталаза нейтрализует супероксид анион-радикал и пероксид водорода на воду и молекулярный кислород, предотвращая повреждение растительной клетки. В условиях низкотемпературного стресса активность данного антиоксидантного фермента усиливается. Известно, что у морозостойких сортов наблюдается повышенная активность каталазы зимой.

Проведённые исследования показали, что у сортов *P. × rossica*, таких как Ветразь, Гек и Злато скифов, после воздействия температуры -25 °C в начале зимнего периода наблюдалось повышение активности фермента каталазы на 6,2...11,0% по сравнению с показателями, зафиксированными в фазе закалки. У сортов, происходящих от *P. domestica* – Венгерка белорусская (увеличение на 15,0%), Золотое руно (рост в 2,8 раза) и Stanley (на 16,8%) – также зафиксировано усиление активности каталазы в условиях действия первого компонента зимостойкости (таблица 16).

При снижении температуры до -25 °С в большей степени активность каталазы повысилась у представителей *P. salicina*: Неженка – на 29,6%, Орловская мечта – на 9,3%, Сувенир Востока – в 2,8 раза и Скороплодная – в 4,6 раза (таблица 16). Понижение температуры до -25 °С в начале декабря не повлияло на активность каталазы у сортов Кубанская комета и ЭЛС 18473, ее уровень не изменился по сравнению с закалкой. Отметили при этом понижение активности каталазы в коре однолетних побегов у сортов Венгерка заречная (на 9,6%) и Евразия 21 (на 5,5%). По-видимому, в нейтрализации АФК наряду с пролином (таблица 17) могли в этих сортах в большей степени участвовать и другие антиоксиданты, например, полифенолоксидаза, у которого с каталазой есть конкуренция за субстрат – пероксид водорода (Прудников и др., 2015).

Таблица 16 – Активность каталазы в коре однолетних побегах сливы при действии температуры -25 °С после закалки, у.е. (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В	
	Закалка -5 °, -10 °C	I компонент -25 °C
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	18,6±9,3	21,4±10,7
Венгерка заречная	16,0±8,4	14,6±7,8
Евразия 21	12,4±4,7	11,7±5,6
Золотое руно	6,1±4,1	16,8±11,1
Stanley	17,3±10,3	20,2±7,8
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	17,3±8,9	18,4±6,6
Гек	26,8±12,8	29,8±15,1
Злато скифов	23,7±13,4	24,8±12,9
Кубанская комета	28,3±13,7	28,1±13,8
<i>P. salicina</i>		
Неженка	23,5±14,0	30,5±19,8
Орловская мечта	26,4±15,7	28,8±15,9
Сувенир Востока	6,4±3,6	17,8±9,5
Скороплодная	7,2±3,6	33,3±23,3
ЭЛС 18473	30,7±17,6	30,5±21,8
A HCP ₀₅ =13,4	B F _φ <F _T	AB F _φ <F _T

3.4.2. Определение содержания пролина и сахаров в коре однолетних побегов сливы

Известно, что в условиях низкотемпературного стресса пролин и сахара защищают растительную клетку от образования внутриклеточного льда.

Низкомолекулярный антиоксидант пролин сохраняет функциональную активность клеточных мембран, защищает ферменты от инактивации, а также обеспечивает целостность структурных белков (Прудников, Ожерельева, 2019).

В результате воздействия температуры -25 °C, соответствующей первому компоненту зимостойкости, в среднем для сортов *P. × rossica* было зафиксировано снижение концентрации аминокислоты пролин в коре однолетних побегов на 29,97%. У представителей *P. domestica* данный показатель уменьшился на 51,22%, а у *P. salicina* – на 24,94% по сравнению с фазой закалки. Снижение содержания пролина объясняется его антиоксидантной функцией: он способствует нейтрализации активных форм кислорода (АФК), что, в свою очередь, способствует увеличению морозостойкости растений. Примечательно, что у гибридной формы ЭЛС 18743, напротив, отмечено увеличение содержания пролина в коре однолетних побегов в 1,9 раза (таблица 17), где он выполняет роль криопротектора.

Таблица 17 – Содержание аминокислоты пролин в коре однолетних побегов сливы при действии температуры -25 °C после закалки, мг/кг (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В	
	Закалка -5 °, -10 °C	I компонент -25 °C
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	104,6±41,2	54,4±23,2
Венгерка заречная	89,1±50,3	61,7±30,7
Евразия 21	119,9±24,9	67,2±25,6
Золотое руно	47,0±19,4	34,6±12,0
Stanley	64,6±24,0	61,6±18,0
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	103,5±33,5	90,9±17,8
Гек	172,3±9,2	141,5±19,2
Злато скифов	182,3±19,3	113,3±31,5
Кубанская комета	137,5±15,9	131,9±32,4
<i>P. salicina</i>		
Неженка	143,8±9,4	109,4±38,7
Орловская мечта	163,6±33,0	132,0±20,1
Сувенир Востока	131,7±16,2	107,6±38,1
Скороплодная	149,3±10,5	122,4±41,9
ЭЛС 18473	134,5±14,7	146,6±25,4
A HCP ₀₅ =44,5		B HCP ₀₅ =16,8
AB F _φ <F _T		

Известно, что под воздействием отрицательной температуры в растительных клетках запускаются механизмы, останавливающие процесс образования кристаллов льда, предотвращая обезвоживание цитоплазма.

Так, криопротекторы регулируют внутриклеточную концентрацию растворенных веществ, снижают температуру замерзания, препятствуют образованию льда и сохраняют текучесть плазматической мембраны. Кроме того, эти молекулы обладают антиоксидантной активностью, поглощая АФК, предотвращая денатурацию белков и, следовательно, снижая клеточные повреждения (Jahed et al., 2023).

Сахара также обладают криопротекторным эффектом. При накоплении растворимых сахаров в клетке понижается водный потенциал цитоплазмы, снижается точка её замерзания, что препятствует образованию внутриклеточного льда.

Результаты определения содержания углеводов показали, что при воздействии температуры -25 °C, соответствующей первому компоненту зимостойкости, количество сахаров в коре однолетних побегов у большинства исследуемых сортов сливы снизилось, аналогично отмеченному ранее уменьшению уровня свободного пролина в сравнении с фазой закалки. В частности, у сортов *P. × rossica* содержание сахаров уменьшилось на 27,9%, у представителей *P. domestica* – на 26,51%, а у *P. salicina* – на 16,1% (таблица 18).

Снижение углеводов, вероятно, произошло в результате синтеза белка при действии отрицательной температуры. Сахара, по данным авторов (Колупаев, Трунова, 1992), входят в комплексные соединения с белками и, повышая их устойчивость, оказывают защитное действие к стрессовым воздействиям.

К тому же, сахара наряду с пролином и другими осмолитами увеличивают концентрацию клеточного сока за счет снижения свободной воды, что оказывает защитное действие в условиях действия отрицательной температуры.

Таблица 18 – Содержание суммы сахаров в коре однолетних побегов сливы при действии температуры -25 °С после закалки, мг/г (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В	
	Закалка -5 °, -10 °C	I компонент -25 °C
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	1,1±0,05	1,0±0,03
Венгерка заречная	1,0±0,07	0,8±0,07
Евразия 21	1,1±0,11	0,8±0,09
Золотое руно	1,0±0,07	0,8±0,01
Stanley	1,0±0,06	0,7±0,15
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	1,2±0,07	1,0±0,16
Гек	1,3±0,26	1,1±0,08
Злато скифов	1,5±0,34	1,2±0,16
Кубанская комета	1,3±0,28	1,0±0,16
<i>P. salicina</i>		
Неженка	1,1±0,26	1,1±0,13
Орловская мечта	1,1±0,09	1,0±0,04
Сувенир Востока	1,2±0,18	1,1±0,05
Скороплодная	1,1±0,24	0,9±0,13
ЭЛС 18473	1,1±0,19	1,0±0,15
A HCP ₀₅ =0,23	B HCP ₀₅ =0,1	AB F _φ <F _т

3.4.3. Определение количества МДА в коре однолетних побегов сливы

Низкотемпературный стресс нарушает протекание физиологобиохимических процессов, что приводит к появлению активных форм кислорода (АФК) с последующим перекисным окислением мембранных липидов (ПОЛ). При этом происходит активация липоксигеназ, что приводит к возникновению в клетке окислительного стресса (Кузнецов, 2005). Уровень повреждения клеточных мембран можно оценить по изменению уровня малонового диальдегида (МДА) – одного из продуктов ПОЛ (Прудников и др., 2017).

Проведённые опыты показали, что в условиях действия первого компонента зимостойкости у исследуемых сортов сливы наблюдалось снижение интенсивности процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) после воздействия температуры -25 °С. Так, у сортов *P. × rossica* содержание малонового диальдегида (МДА) снизилось на 12,6% по сравнению с показателями, зафиксированными в период закалки. У *P. salicina* после охлаждения также отмечено уменьшение уровня МДА в коре однолетних побегов

на 15,7% относительно контрольного варианта. Аналогичная динамика была установлена и у сортов *P. domestica*, у которых количество МДА снизилось на 30,2% под действием низких температур (таблица 19).

Клеточные мембранные являются одной из основных мишеней токсического действия активных форм кислорода (АФК), которые способны запускать цепные реакции перекисного окисления мембранных липидов. И, когда антиоксидантные ферменты перестают справляться с повышением уровня АФК, начинается повреждение мембранного аппарата клетки (Спивак, 2010). В данном случае можно предположить, что антиоксиданты каталаза и пролин нейтрализовали образование АФК, защищая тем самым клеточные мембранные у изученных сортов сливы. Сахара, вероятно, предотвращали образование внутриклеточного льда, увеличивая концентрацию клеточного сока.

Таблица 19 – Содержание МДА в коре однолетних побегов сливы при действии температуры -25 °C после закалки, мкМоль/г (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В	
	Закалка -5 °, -10 °C	I компонент -25 °C
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	16,0±6,0	12,9±4,9
Венгерка заречная	13,7±4,5	13,3±3,7
Евразия 21	19,6±8,6	12,4±5,1
Золотое руно	11,6±4,8	8,5±3,0
Stanley	11,6±4,1	11,7±4,4
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	13,2±3,9	13,0±5,2
Гек	11,6±4,3	10,0±4,7
Злато скифов	16,3±6,6	14,4±6,2
Кубанская комета	13,0±4,9	10,9±4,2
<i>P. salicina</i>		
Неженка	13,4±5,7	11,2±5,0
Орловская мечта	13,4±5,3	12,9±4,7
Сувенир Востока	14,2±5,9	12,5±4,9
Скороплодная	14,1±6,0	10,1±3,7
ЭЛС 18473	11,2±4,3	11,0±5,2
A F _Φ < F _T	B HCP ₀₅ =1,4	AB F _Φ < F _T

Таким образом, на основе изучения интенсивности ПОЛ, активности антиоксидантных ферментов и низкомолекулярных осмопротекторов отмечена физиолого-биохимическая устойчивость к I компоненту зимостойкости у

изученных сортов сливы, что согласуется с данными искусственного промораживания.

3.5. Изучение особенностей физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу сливы при II компоненте зимостойкости

3.5.1. Определение активности пероксидазы и каталазы в коре однолетних побегов сливы

Морозостойкость растений непосредственно связана с интенсивностью обмена веществ, а, следовательно, и с активностью ферментов. Ко времени выходы из глубокого покоя у плодовых культур развивается максимальная способность к закалке. В это время растения обладают максимальной величиной морозостойкости.

При снижении температуры до -30 °С (II компонент зимостойкости) в конце декабря, у вышедших из глубокого покоя сортов сливы, повышается активность фермента пероксидаза по сравнению с периодом закалки. Так, активность фермента пероксидаза при II компоненте зимостойкости повысилась у сортов *P. × rossica* – на 52,5%, у *P. salicina* – на 54,2% и у *P. domestica* – на 70,1% по сравнении с условиями закалки. Повышение активности пероксидазы возможно связано с окончанием глубокого покоя у сортов сливы, а также с нейтрализацией АФК при низкотемпературном стрессе в период вынужденного покоя растений. Максимальный уровень активности пероксидазы отметили у следующих сортов: Ветразь, Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Гек, Неженка, Орловская мечта, Скороплодная и ЭЛС 18473. Большая активность антиоксидантного фермента пероксидаза в однолетних побегах плодовых культур характеризует повышенную устойчивость к окислительному стрессу. Только у сорта *P. domestica* Золотое руно наблюдали снижение в 2,8 раза активности пероксидазы (таблица 20), что может указывать на начало повреждения клеточных мембран в условиях низкотемпературного стресса. Снижение активности пероксидазы у

растений в период вынужденного покоя влияет негативно на устойчивость к окислительному стрессу.

Таблица 20 – Активность пероксидазы в коре однолетних побегов сливы при действии температуры -30 °С после закалки, у.е. (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В	
	Закалка -5 °, -10 °C	II компонент -30 °C
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	3,30±3,06	9,53±5,39
Венгерка заречная	7,76±7,48	11,30±7,79
Евразия 21	9,22±8,90	11,32±7,78
Золотое руно	9,44±9,16	3,39±2,23
Stanley	11,05±10,60	13,61±9,33
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	7,99±7,63	13,52±9,36
Гек	7,35±6,96	13,73±9,28
Злато скифов	10,63±10,31	13,61±9,33
Кубанская комета	14,34±13,66	18,04±12,23
<i>P. salicina</i>		
Неженка	12,09±11,81	21,06±14,64
Орловская мечта	9,61±9,08	14,28±9,68
Сувенир Востока	2,01±1,37	2,39±1,42
Скороплодная	10,55±10,35	19,86±13,77
ЭЛС 18473	12,11±11,80	17,10±11,63
A F _φ <F _T	B HCP ₀₅ =2,11	AB F _φ <F _T

На основании полученных экспериментальных данных установлено, что у сортов *P. × rossica* – Ветразь, Гек и Злато скифов – после воздействия температуры -30 °C наблюдалось повышение каталазной активности на 6,69-19,74% по сравнению с фазой закалки. У сортов, происходящих от *P. domestica*, таких как Венгерка белорусская и Евразия 21, также зафиксировано увеличение активности фермента каталаза – на 5,61% и 3,22% соответственно – в условиях воздействия второго компонента зимостойкости, по сравнению с исходными значениями в период закалки. При снижении температуры до -30 °C в большей степени активность каталазы повысилась на 7,5-58,65% у представителей *P. salicina* (таблица 21).

Повышение активности антиоксидантного фермента каталаза обеспечивает ограничение процессов окисления и сохранение структурно-функциональной целостности мембранных липидов растительной клетки. При понижении

температуры до -30 °С отметили понижение активности каталазы у сортов Кубанская комета (на 13,54%), Венгерка заречная (на 34,73%) и Stanley (на 11,94%), что может вызвать перекисное окисление липидов (таблица 21).

Таблица 21 – Активность каталазы в коре однолетних побегов сливы при действии температуры -30 °С после закалки, у.е. (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В	
	Закалка -5°, -10°C	II компонент -30°C
<i>Prunus domestica</i>		
Венгерка белорусская	17,47±8,28	18,45±13,75
Венгерка заречная	12,53±5,18	9,30±6,64
Евразия 21	11,50±4,53	11,87±5,43
Золотое руно	11,60±5,70	3,61±2,44
Stanley	16,87±10,26	15,07±8,87
<i>Prunus × rossica Erem.</i>		
Ветразь	16,87±10,63	20,20±11,40
Гек	25,90±13,67	28,50±13,29
Золото скифов	22,87±15,09	24,40±12,80
Кубанская комета	24,90±12,55	21,93±10,85
<i>Prunus salicina</i>		
Неженка	20,53±12,75	32,57±21,21
Орловская мечта	24,00±14,52	32,37±21,87
Сувенир Востока	15,07±5,29	16,20±6,45
Скороплодная	20,40±13,54	23,87±19,70
ЭЛС 18473	18,33±16,85	32,40±20,65
A HCP ₀₅ =11,86	B F _Φ <F _T	AB F _Φ <F _T

Тем не менее, в нейтрализации АФК наряду с пролином (таблица 22) могли в этих сортах в большей степени участвовать и другие антиоксиданты, например, пероксидаза (таблица 20) и полифенолоксидаза, у которых с каталазой также есть конкуренция за субстрат – пероксид водорода (Прудников и др., 2015). У сорта Золотое руно, установили существенное понижение (в 3,2 раза) активности каталазы, как и другого фермента пероксидаза (таблица 20), что может указывать на повреждение мембранныго аппарата растительных клеток.

3.5.2. Определение содержания пролина и сахаров в коре однолетних побегов сливы

Ограничение процессов окисления и поддержания структурно-функционального состояния мембранных липидов в основном осуществляется за

счет работы компонентов антиоксидантной системы защиты, в частности аминокислоты пролин (Прудников, Ожерельева, 2019).

При действии температуры -30 °С (II компонент зимостойкости) выявлено существенное повышение на 47,2% свободного пролина в коре однолетних побегов сортов *P. × rossica* по сравнению с вариантом закалка. У сортов *P. salicina* содержание аминокислоты увеличилось на 32,3% при II компоненте зимостойкости. При этом у представителей *P. domestica* уровень свободного пролина повысился на 10,6% после действия температуры -30 °С (таблица 22).

Таблица 22 – Содержание аминокислоты пролин в коре однолетних побегов сливы при действии температуры -30 °С после закалки, мг/кг (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В	
	Закалка -5 °, -10 °C	II компонент -30 °C
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	78,0±36,4	103,2±28,0
Венгерка заречная	110,6±37,6	115,0±24,7
Евразия 21	136,4±30,4	119,6±26,9
Золотое руно	63,3±35,7	72,4±11,5
Stanley	80,2±41,7	81,6±10,7
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	120,8±38,5	284,7±72,1
Гек	177,6±27,0	290,5±88,2
Злато скифов	195,6±18,3	301,3±66,5
Кубанская комета	166,0±12,5	389,0±133,4
<i>P. salicina</i>		
Неженка	162,4±19,6	253,1±30,9
Орловская мечта	128,5±11,6	283,3±72,1
Сувенир Востока	151,9±23,7	191,7±25,4
Скороплодная	158,6±19,6	245,2±21,2
ЭЛС 18473	125,2±6,25	202,5±55,0
А НСР ₀₅ =79,6		В НСР ₀₅ =30,1
		AB F _Φ <F _T

Согласно исследованиям (Alia et al., 1997) решающую роль в нейтрализации АФК принадлежит пролину. Следовательно, усиливая биосинтез пролина, растение пытается уйти от воздействия активных форм кислорода. Наибольшее количество свободного пролина образовалось в коре однолетних побегов сортов Венгерка белорусская, Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета, Орловская мечта и Скороплодная (таблица 22), что может свидетельствовать о максимальной морозостойкости этих сортов. Известно, что данная аминокислота препятствует

развитию не только окислительного стресса, но как осмолит, предотвращает образование внутриклеточного льда, что также повышает устойчивость растительных клеток к отрицательной температуре (Прудников и др., 2017).

При воздействии температуры -30 °C у *P. × rossica* наблюдалось уменьшение содержания сахаров в коре однолетних побегов в 1,9-2,1 раза, у *P. domestica* – в 1,3-2,6 раза, а у *P. salicina* – в 1,7-2,2 раза по сравнению с показателями в период закалки (таблица 23).

Таблица 23 – Содержание суммы сахаров в коре однолетних побегов сливы при действии температуры -30 °C после закалки, мг/г (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В	
	Закалка -5 °, -10 °C	II компонент -30 °C
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	1,40±0,42	0,96±0,08
Венгерка заречная	1,21±0,30	0,95±0,07
Евразия 21	1,43±0,37	0,85±0,07
Золотое руно	0,81±0,24	0,80±0,02
Stanley	1,31±0,24	0,81±0,06
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	1,57±0,47	1,13±0,04
Гек	1,67±0,26	0,96±0,04
Злато скифов	1,88±0,42	1,22±0,09
Кубанская комета	1,78±0,27	1,07±0,03
<i>P. salicina</i>		
Неженка	1,62±0,16	0,96±0,18
Орловская мечта	1,48±0,16	0,96±0,04
Сувенир Востока	2,09±0,25	0,99±0,17
Скороплодная	1,46±0,19	1,04±0,10
ЭЛС 18473	1,44±0,31	0,91±0,07
А HCP _{0,05} =0,35 В HCP _{0,05} =0,13 AB F _Φ <F _T		

Вероятной причиной снижения уровня углеводов является их участие в синтезе белков под воздействием низкотемпературного стресса, что способствует усилинию морозоустойчивости растений. Согласно данным исследователей (Колупаев, Трунова, 1992), сахара способны образовывать комплексные соединения с белками, стабилизируя их структуру и обеспечивая защиту от стрессовых факторов. Помимо этого, сахара выполняют функцию низкомолекулярных осмопротекторов: они связывают свободную воду,

способствуют увеличению концентрации клеточного сока, что, в свою очередь, улучшает устойчивость растений к неблагоприятным условиям. Отдельно стоит отметить, что у сорта Золотое руно после воздействия температуры -30 °C уровень общего содержания сахаров в коре однолетних побегов остался на том же уровне, что и после закалки (таблица 23).

3.5.3. Определение количества МДА в коре однолетних побегов сливы

Под воздействием различных стрессовых факторов у растений активизируются процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ), что ведёт к нарушению целостности клеточных мембран и снижению функциональной активности тканей, вплоть до их гибели. Как отмечалось ранее, интенсивность ПОЛ оценивается по степени накопления малонового диальдегида – одного из ключевых конечных продуктов этого процесса (Прудников и др., 2017; Прудников, Ожерельева, 2019).

Так, в условиях II компонента зимостойкости после промораживания (-30 °C) интенсивность ПОЛ снижалась в 1,2 раза у представителей *P. × rossica*, в 1,5 раза у *P. domestica* и в 1,4 раза у *P. salicina* по сравнению с вариантом закалка (таблица 24), этому способствовало повышение активности антиоксидантных ферментов пероксидазы и каталазы, которые нейтрализуют АФК, предотвращая тем самым значительные повреждения клеточных мембран у изученных сортов сливы при моделировании условий II компонента зимостойкости.

На фоне резкого снижения активности антиоксидантных ферментов (пероксидазы и каталазы) у сорта Золотое руно отметили повышение в 1,8 раза содержания МДА в коре однолетних побегов, что предположительно указывает на структурно-функциональные повреждения клеточных структур у него после действия температуры -30 °C (таблица 24).

Таким образом, на основе изучения интенсивности процессов ПОЛ, активности антиоксидантных ферментов и низкомолекулярных осмопротекторов выявлена физиологово-биохимическая устойчивость ко II компоненту зимостойкости у сортов *P. × rossica* – Ветразь, Гек и Кубанская комета; у сортов

P. domestica – Венгерка белорусская, Евразия 21 и Stanley; у сортов *P. salicina* – Орловская мечта и Скороплодная.

Таблица 24 – Содержание МДА в коре однолетних побегов сливы при действии температуры -30 °C после закалки, мкМоль/г (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В	
	Закалка -5 °, -10 °C	II компонент -30 °C
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	14,85±5,59	9,63±2,90
Венгерка заречная	20,76±9,51	12,29±2,90
Евразия 21	19,75±9,12	16,12±5,26
Золотое руно	8,54±5,79	15,09±2,81
Stanley	13,49±4,94	10,48±4,24
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	13,48±4,02	10,95±3,85
Гек	14,34±5,72	11,34±3,78
Золото скифов	18,69±7,56	16,43±6,20
Кубанская комета	16,50±5,85	12,73±4,28
<i>P. salicina</i>		
Неженка	14,42±5,66	10,46±3,44
Орловская мечта	12,27±5,17	9,50±2,69
Сувенир Востока	18,97±8,25	10,98±2,46
Скороплодная	13,79±5,30	8,63±3,08
ЭЛС 18473	9,63±3,72	9,09±3,61
A F _Φ < F _T	B HCP ₀₅ =2,11	AB F _Φ < F _T

3.6. Изучение особенностей физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу сливы при III компоненте зимостойкости

3.6.1. Определение активности пероксидазы и каталазы в коре однолетних побегов сливы

На основе проведённых экспериментов установлено, что повышение температуры воздуха до +2 °C в течение трёх дней в феврале вызывает значительное увеличение активности фермента пероксидазы у различных сортов сливы. У *P. × rossica* наблюдалось повышение активности в 16,4 раза, у *P. domestica* – в 8 раз, а у *P. salicina* – в 8,7 раза по сравнению с уровнем, зафиксированным в фазе закаливания. Эти данные свидетельствуют об

активизации обменных процессов в условиях временного потепления в период вынужденного покоя растений (таблица 25).

Наибольший рост активности пероксидазы в условиях кратковременного потепления был зафиксирован у таких сортов, как Венгерка белорусская, Ветразь, Гек, Кубанская комета, Неженка и Stanley. При воздействии температуры, соответствующей третьему компоненту зимостойкости (-20 °C), наблюдалось увеличение активности этого фермента в 2,6 раза у сортов *P. × rossica*, в 13,2 раза – у *P. domestica* и в 8,2 раза – у *P. salicina* по сравнению с показателями в условиях оттепели (таблица 26). Максимальные значения активности пероксидазы были отмечены у сортов Венгерка белорусская, Золотое руно, Сувенир Востока и Stanley. Повышение активности данного фермента связано с необходимостью нейтрализации активных форм кислорода (АФК), возникающих при резких температурных колебаниях в период вынужденного покоя.

Таблица 25 – Активность пероксидазы в коре однолетних побегов сливы при температуре -20 °C после оттепели +2 °C, у.е. (2023-2025 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В		
	Закалка -5 °, -10 °C	Оттепель +2 °C	III компонент-20 °C
<i>P. domestica</i>			
Венгерка белорусская	0,13±0,02	1,55±1,38	22,45±20,10
Венгерка заречная	0,17±0,05	1,55±1,35	8,43±6,90
Евразия 21	0,12±0,03	0,64±0,46	2,54±2,00
Золотое руно	0,11±0,03	0,15±0,05	6,00±5,6
Stanley	0,24±0,06	2,91±2,67	6,75±5,88
<i>P. × rossica</i>			
Ветразь	0,13±0,02	2,34±2,07	7,43±6,70
Гек	0,23±0,03	3,44±3,14	7,31±6,55
Злато скифов	0,26±0,10	2,96±2,72	10,09±9,66
Кубанская комета	0,31±0,08	6,64±6,29	10,10±9,23
<i>P. salicina</i>			
Неженка	0,32±0,13	6,34±6,09	13,80±13,10
Орловская мечта	0,22±0,05	1,17±0,93	7,45±6,91
Сувенир Востока	0,09±0,02	0,48±0,35	10,95±10,15
Скороплодная	0,35±0,09	3,14±2,66	2,63±2,08
ЭЛС 18473	1,54±1,31	6,55±6,33	10,44±9,93
A F _φ <F _T	B HCP ₀₅ =3,62	AB F _φ <F _T	

В условиях трёхдневного повышения температуры до +2 °C была зафиксирована тенденция к снижению активности другого фермента антиоксидантной системы каталаза – в 1,4 раза у *P. × rossica*, в 1,5 раза у *P. domestica* и в 1,4 раза у *P. salicina* по отношению к значениям, наблюдаемым в период закалки. При дальнейшем снижении температуры до -20 °C (III компонент зимостойкости) наблюдали дальнейшее снижение в 1,2-2,1 раза активности фермента каталаза в условиях низкотемпературного стресса у изученных сортов сливы (таблица 26), возможно из-за того, что в нейтрализации АФК в большей степени участвовал другой антиоксидантный фермент пероксидаза (таблица 25), у которого, как известно, есть конкуренция за общий субстрат – пероксид водорода с каталазой (Прудников и др., 2015).

Таблица 26 – Активность каталазы в коре однолетних побегах сливы при действии температуры -20 °C после трехдневной оттепели +2 °C, у.е. (2023-2025 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В		
	Закалка -5 °, -10 °C	Оттепель +2 °C	III компонент -20 °C
<i>P. domestica</i>			
Венгерка белорусская	11,67±4,10	12,93±2,19	8,17±1,67
Венгерка заречная	12,63±1,69	7,33±1,33	6,05±4,15
Евразия 21	11,53±3,47	8,13±0,79	7,23±0,88
Золотое руно	15,43±3,95	11,83±1,81	11,4±0,61
Stanley	16,83±4,56	10,93±1,41	10,67±0,57
<i>P. × rossica</i>			
Ветразь	17,03±6,40	10,93±2,34	10,47±2,20
Гек	21,33±8,27	16,17±3,51	15,53±3,23
Злато скифов	17,13±9,68	13,97±1,81	14,10±2,97
Кубанская комета	17,70±4,14	18,00±3,26	17,87±3,68
<i>P. salicina</i>			
Неженка	18,20±5,81	12,83±1,90	14,67±3,03
Орловская мечта	17,57±5,55	13,43±0,37	13,03±2,97
Сувенир Востока	13,80±2,38	10,37±2,41	11,77±2,98
Скороплодная	21,20±6,52	12,13±0,74	10,07±2,28
ЭЛС 18473	20,60±5,81	15,77±3,96	17,80±6,44
А НСР ₀₅ =4,02		В НСР ₀₅ =1,86	
AB F _Φ < F _T			

3.6.2. Определение содержания пролина и сахаров в коре однолетних побегов сливы

По завершении трёхдневной оттепели при температуре +2 °C у сортов Венгерка белорусская, Ветразь, Гек, Злато скифов, Евразия 21, Орловская мечта и

Stanley было зафиксировано снижение содержания свободного пролина в коре однолетних побегов на 8,18-28,42% по сравнению с уровнями, определенными в фазе закалки. Подобное уменьшение может быть обусловлено двумя основными факторами: активацией белкового синтеза, в котором пролин используется как субстрат, а также снижением стрессового воздействия в условиях положительной температуры. В то же время у других сортов – Венгерка заречная, Золотое руно, Кубанская комета, Неженка, Скороплодная и ЭЛС 18473 – в условиях той же оттепели наблюдалось увеличение уровня свободного пролина на 1,4-15,68% в коре однолетних побегов. Повышение количества пролина может свидетельствовать об усилении метаболических процессов у растений, вызванных действием положительной температуры. Резкое понижение температуры до -20 °C, соответствующее третьему компоненту зимостойкости, после периода оттепели привело к увеличению содержания аминокислоты в коре однолетних побегов у сортов *P. × rossica* (Ветразь, Гек, Злато скифов) на 12,60-37,83%, у сорта *P. salicina* (Сувенир Востока) – на 7,26%, а у представителей *P. domestica* (Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21, Stanley) – на 6,40-44,19% по сравнению с предыдущими значениями. В то же время у сортов Золотое руно, Кубанская комета, Неженка, Орловская мечта, Скороплодная и ЭЛС 18473 наблюдалось снижение уровня пролина в коре однолетних побегов (таблица 27).

Таблица 27 – Содержание аминокислоты пролин в коре однолетних побегов сливы при действии температуры -20 °C после трехдневной оттепели +2 °C, мг/кг (2023-2025 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В		
	Закалка -5 °, -10 °C	Оттепель +2 °C	III компонент -20 °C
<i>P. domestica</i>			
Венгерка белорусская	74,16±25,68	62,78±17,97	66,98±21,18
Венгерка заречная	65,08±19,11	65,97±28,43	70,19±30,06
Евразия 21	74,03±23,49	57,70±16,96	83,20±23,51
Золотое руно	51,72±21,81	57,97±26,58	52,19±11,12
Stanley	77,09±29,82	60,03±20,50	77,52±26,96
<i>P. × rossica</i>			
Ветразь	99,97±34,66	76,36±20,18	105,25±16,53
Гек	110,91±34,07	101,35±14,85	124,62±21,20
Злато скифов	108,85±32,76	100,62±13,00	113,30±25,05
Кубанская комета	116,39±40,19	134,64±45,41	106,68±34,09
<i>P. salicina</i>			

Продолжение Таблица 27

Неженка	107,53±39,84	111,82±29,10	109,19±28,00
Орловская мечта	131,51±33,11	117,93±19,68	115,03±33,00
Сувенир Востока	103,60±24,37	104,21±10,17	111,78±27,08
Скороплодная	125,92±37,03	138,02±41,62	129,22±26,53
ЭЛС 18473	101,85±31,76	113,83±27,28	110,40±28,05
	A HCP ₀₅ =27,53	B F _Φ <F _T	AB F _Φ <F _T

Повышение пролина может указывать на усилении протекторных свойств у растений при действии отрицательной температуры, так как, являясь совместимым осмолитом, данная аминокислота повышает концентрацию клеточного сока, тем самым предотвращая образование внутриклеточного льда. В то время понижение аминокислоты связано с тем, что пролин, как антиоксидант может снижать уровень АФК и как следствие этого повышается устойчивость растений к гипотермии.

Содержание сахаров в коре однолетних побегов снижается на 7,14-35,29% после трехдневной оттепели +2 °C у большинства изученных сортов сливы против закалки. Снижение углеводов может быть связано с тем, что под действием положительных температур повышается активность обменных процессов у сортов сливы, находящихся в период вынужденного покоя, что может быть связано с их активной работой на связывание свободной воды и в качестве энергетического субстрата на процессы дыхания, синтез белка, аминокислот и т.д. В то время как у сортов сливы Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21, Кубанская комета и Сувенир Востока было зафиксировано увеличение содержания сахаров в коре однолетних побегов на 11,59-96,49% по сравнению с периодом закалки, воздействие температуры -20 °C привело к снижению этого показателя на 6,3% у сорта Гек и на 5,48% – у сорта Кубанская комета. У представителей *P. domestica* в целом содержание сахаров уменьшилось в 1,2-1,9 раза. В условиях, соответствующих третьему компоненту зимостойкости, у сортов Сувенир Востока, Скороплодная и ЭЛС 18473 наблюдалось понижение уровня сахаров в коре однолетних побегов на 3,03-27,54% по сравнению с их содержанием в период оттепели (таблица 28). Снижение углеводов, вероятно, произошло в результате синтеза белка при действии низкотемпературного

стресса. У отдельных сортов Ветразь, Злато скифов и Орловская мечта содержание сахаров в коре однолетних побегов при действии температуры -20 °С повышается на 3,41-14,06%. В этом случае сахара могли выполнять роль низкомолекулярных осмолитов, увеличивая концентрацию клеточного сока, тем самым повышая устойчивость растений к неблагоприятным факторам.

Таблица 28 – Количество сахаров в коре однолетних побегов сливы при действии температуры -20 °С после трехдневной оттепели +2 °С, мг/г (2023-2025 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В		
	Закалка -5 °, -10 °С	Оттепель +2 °С	III компонент -20 °С
<i>P. domestica</i>			
Венгерка белорусская	0,87±0,24	1,19±0,09	0,62±0,07
Венгерка заречная	0,57±0,23	1,12±0,40	0,98±0,13
Евразия 21	0,73±0,17	0,93±0,08	0,56±0,25
Золотое руно	0,75±0,15	0,62±0,30	0,47±0,11
Stanley	0,75±0,28	0,66±0,27	0,54±0,06
<i>P. × rossica</i>			
Ветразь	0,80±0,22	0,64±0,25	0,73±0,11
Гек	0,90±0,20	0,84±0,22	0,79±0,10
Злато скифов	0,88±0,11	0,88±0,22	0,91±0,04
Кубанская комета	0,69±0,14	0,77±0,27	0,73±0,07
<i>P. salicina</i>			
Неженка	0,85±0,15	0,63±0,29	0,63±0,10
Орловская мечта	0,82±0,13	0,62±0,29	0,70±0,10
Сувенир Востока	0,56±0,29	0,96±0,25	0,76±0,17
Скороплодная	0,98±0,22	0,88±0,11	0,69±0,10
ЭЛС 18473	0,92±0,10	0,68±0,25	0,66±0,10
A F _φ <F _T	B F _φ <F _T	AB F _φ <F _T	

3.6.3. Определение количества МДА в коре однолетних побегов сливы

При воздействии на растения различных абиотических стрессоров запускается механизм перекисного окисления липидов (ПОЛ), который сопровождается повреждением клеточных мембран и снижением функциональной активности клеток, вплоть до их гибели (Прудников и др., 2017).

В условиях февраля, после трёхдневного периода оттепели с температурой воздуха +2 °С, у таких сортов сливы, как Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Ветразь, Евразия 21, Злато скифов, Сувенир Востока и Stanley, наблюдалось повышение концентрации МДА в коре однолетних побегов по

сравнению с уровнями, зафиксированными в период закалки. Напротив, у сортов Гек, Золотое руно, Кубанская комета, Неженка, Орловская мечта, Скороплодная и ЭЛС 18473 после аналогичного воздействия была отмечена тенденция к снижению уровня МДА в 1,2-3,7 раза, что может свидетельствовать о более эффективной работе антиоксидантной системы и лучшей устойчивости клеточных структур к стрессу (таблица 29).

Таблица 29 – Содержание МДА в коре однолетних побегах сливы при действии температуры -20 °C после трехдневной оттепели +2 °C, мкМоль/г (2023-2025 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В		
	Закалка -5 °, -10 °C	Оттепель +2 °C	III компонент -20 °C
<i>P. domestica</i>			
Венгерка белорусская	13,57±4,43	15,75±10,61	10,73±4,87
Венгерка заречная	10,59±3,49	18,88±13,33	11,35±3,76
Евразия 21	11,12±5,58	11,80±6,15	9,21±3,80
Золотое руно	13,94±5,38	8,15±2,83	12,96±7,17
Stanley	10,67±4,47	11,19±6,70	9,61±4,80
<i>P. × rossica</i>			
Ветразь	10,90±5,89	11,31±5,87	8,94±3,56
Гек	10,51±5,13	8,90±4,14	6,06±3,14
Злато скифов	12,58±6,39	13,16±8,18	9,03±3,42
Кубанская комета	10,32±5,29	9,11±4,55	7,83±3,07
<i>P. salicina</i>			
Неженка	10,71±6,07	7,03±3,28	6,66±2,67
Орловская мечта	10,50±5,44	7,75±3,81	6,92±3,03
Сувенир Востока	8,23±3,19	11,91±6,96	13,37±8,50
Скороплодная	14,47±9,55	8,65±4,50	8,31±5,04
ЭЛС 18473	14,09±6,85	6,42±2,78	6,83±2,76
A F _Φ <F	B F _Φ <F _T	AB F _Φ <F _T	

При дальнейшем понижении температуры до -20 °C у ряда сортов сливы – *P. × rossica* (Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета), *P. salicina* (Неженка, Орловская мечта), а также *P. domestica* (Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21) – была зафиксирована выраженная тенденция к снижению интенсивности перекисного окисления липидов клеточных мембран. Уровень МДА, выступающего индикатором ПОЛ, снизился в 1,1-2,5 раза по сравнению с показателями, полученными после оттепели. Такая реакция может свидетельствовать о наличии адаптивного механизма, обеспечивающего

устойчивость мембранных структур к температурным стрессам, особенно в условиях резких перепадов температуры. При этом физиолого-биохимической устойчивостью к морозу характеризовался и сорт Stanley, у которого уровень ПОЛ при действии отрицательной температуры не изменился. Показано повышение образования МДА в коре однолетних побегов у сортов Золотое руно (в 1,6 раза), Сувенир Востока (в 1,5 раза) и ЭЛС 18473 (на 6,0%), что может указывать о начале повреждения мембранных липидов отрицательной температурой после оттепели (таблица 29).

Таким образом, оценка активности фермента пероксидазы, концентрации низкомолекулярных соединений и уровня перекисного окисления липидов (ПОЛ) позволила выявить физиолого-биохимические признаки устойчивости к действию третьего компонента зимостойкости у следующих сортов: *P. × rossica* – Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета; *P. domestica* – Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21, Stanley; *P. salicina* – Неженка, Орловская мечта, Скороплодная.

3.7. Изучение особенностей физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу сливы при IV компоненте зимостойкости

3.7.1. Определение активности пероксидазы и каталазы в коре однолетних побегов сливы

Повышенная активность ферментов пероксидазы и каталазы в растениях в период зимних оттепелей указывает на усиление обменных процессов, что, в свою очередь, может увеличивать риск повреждений при последующем резком понижении температуры. Эти антиоксидантные ферменты играют ключевую роль в адаптационных механизмах растений к стрессовым воздействиям, включая низкотемпературные условия, за счёт подавления интенсивности окислительных процессов путём нейтрализации образования активных форм кислорода (АФК).

Так, при повышении температуры в марте до +2 °С в течении 3 суток увеличивается в 1,6 раза активность фермента пероксидаза у сортов *P. domestica* и *P. × rossica* по сравнению с периодом закалки. У представителей *P. salicina* активность данного фермента пероксидаза повысилась в 1,5 раза (таблица 30). Рост активности пероксидазы у изученных сортов сливы связан с повышением интенсивности обменных процессов в условиях оттепели в период вынужденного покоя. После повторной закалки активность пероксидазы значительно повысилась в 53,4 раза у представителей вида *P. domestica*, у *P. × rossica* в 57,2 раза и *P. salicina* в 44,1 раза. При собственно IV компоненте зимостойкости интенсивность разложения пероксида водорода пероксидазой снизилась у сортов *P. × rossica* (в 1,3 раза), у *P. salicina* (1,7 раза) и *P. domestica* уменьшилась в 1,2 раза за счет снижения интенсивности обменных процессов в условиях низкотемпературного стресса (таблица 30). Активность пероксидазы снизилась, возможно, из-за конкуренции с каталазой за общий субстрат – пероксид водорода.

Таблица 30 – Активность пероксидазы в коре однолетних побегах сливы в условиях IV компонента зимостойкости, у.е. (2023-2025 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В				
	Закалка -5 °, -10 °C	Оттепель +2 °C	Повторная закалка -5 °, -10 °C	IV компонент -25 °C	
<i>P. domestica</i>					
Венгерка белорусская	0,18±0,05	0,24±0,05	15,33±5,06	3,50±0,25	
Венгерка заречная	0,22±0,06	0,35±0,03	19,86±2,48	33,63±12,18	
Евразия 21	0,18±0,04	0,28±0,03	8,95±2,70	14,16±4,16	
Золотое руно	0,19±0,07	0,34±0,09	23,98±3,72	14,61±4,10	
Stanley	0,38±0,08	0,64±0,08	30,62±6,14	15,43±5,02	
<i>P. × rossica</i>					
Ветразь	0,18±0,09	0,24±0,004	15,33±1,70	3,50±0,06	
Гек	0,22±0,12	0,35±0,26	19,86±1,51	33,63±10,11	
Злато скифов	0,19±0,16	0,34±0,12	23,98±1,16	14,61±3,02	
Кубанская комета	0,38±0,08	0,64±0,06	30,62±1,02	15,43±0,23	
<i>P. salicina</i>					
Неженка	0,43±0,16	0,71±0,33	37,29±6,91	19,90±9,02	
Орловская мечта	0,21±0,05	0,45±0,19	16,24±3,69	8,41±0,47	
Сувенир Востока	0,27±0,14	0,32±0,18	7,91±1,67	20,98±5,03	
Скороплодная	0,36±0,15	0,38±0,08	11,20±1,53	3,24±0,23	
ЭЛС 18473	0,30±0,12	0,48±0,13	30,56±1,17	9,82±0,23	
A F _Φ <F _T		B HCP ₀₅ =9,76		AB F _Φ <F _T	

Предположительно в уменьшении образования АФК в большей степени участвовал другой фермент каталаза (таблица 31).

Определение активности другого фермента антиоксидантной системы защиты каталаза у сортов *P. × rossica* и сортов *P. domestica* в условиях трехдневной оттепели +2 °С показало незначительное повышение его активности по сравнению с периодом закалки. У сортов *P. salicina* активность фермента каталаза в условиях оттепели сохранилась на том же уровне по сравнению закалкой. После повторной закалки по сравнению с оттепелью активность этого фермента понижается в 1,8, 1,6 и 1,5 раза у сортов *P. × rossica*, *P. domestica* и *P. salicina* соответственно.

Таблица 31 – Активность каталазы в коре однолетних побегах сливы в условиях IV компонента зимостойкости, у.е. (2023-2025 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В			
	Закалка -5 °, -10 °C	Оттепель +2 °C	Повторная закалка -5 °, -10 °C	IV компонент -25 °C
<i>P. domestica</i>				
Венгерка белорусская	11,70±1,59	12,90±3,65	8,13±1,12	32,67±5,33
Венгерка заречная	9,63±1,05	9,70±1,04	7,17±2,83	16,77±1,63
Евразия 21	9,77±0,24	13,73±0,92	6,70±1,21	23,77±3,13
Золотое руно	11,67±1,42	16,20±0,40	9,53±1,08	18,20±5,30
Stanley	13,93±2,31	13,13±3,89	9,93±2,05	15,23±3,37
<i>P. × rossica</i>				
Ветразь	12,20±1,29	9,47±2,95	5,33±1,03	21,47±5,13
Гек	21,77±2,08	21,90±3,37	9,20±4,44	47,77±16,43
Злато скифов	15,23±4,53	20,47±4,66	11,00±4,27	35,67±10,73
Кубанская комета	17,73±0,69	19,10±5,50	13,40±2,34	29,83±9,27
<i>P. salicina</i>				
Неженка	17,63±1,58	21,10±2,95	12,37±1,93	34,80±7,20
Орловская мечта	14,73±2,53	16,87±2,37	12,63±1,91	41,10±8,90
Сувенир Востока	13,30±1,63	14,30±3,70	9,17±0,45	24,20±6,74
Скороплодная	15,83±1,88	14,97±3,36	10,57±2,57	23,53±7,21
ЭЛС 18473	25,13±2,07	19,07±6,57	14,70±1,28	73,93±26,07
A HCP ₀₅ =7,81		B HCP ₀₅ =4,17		AB F _Φ <F _T

Повышенная активность ферментов пероксидазы и каталазы в растениях в период зимних оттепелей указывает на усиление обменных процессов, что, в свою очередь, может увеличивать риск повреждений при последующем резком понижении температуры. Эти антиоксидантные ферменты играют ключевую роль

в адаптационных механизмах растений к стрессовым воздействиям, включая низкотемпературные условия, за счёт подавления интенсивности окислительных процессов путём нейтрализации образования активных форм кислорода (АФК).

3.7.2. Определение содержания пролина и сахаров в коре однолетних побегов сливы

Воздействие стрессовых факторов запускает работу защитных адаптационных механизмов, включающих синтез белков холодового шока, а также накопление стресс-ассоциированных гормонов, антиоксидантов, осмолитов и других соединений, обеспечивающих устойчивость организма (Прудников, Ожерельева, 2019). Установлено, что при недостаточной активности ферментативного звена антиоксидантной системы к нейтрализации активных форм кислорода (АФК) подключаются низкомолекулярные антиоксиданты, такие как пролин, глутатион и витамины (Jahed et al., 2023).

После трёхдневной оттепели при температуре +2 °С было зафиксировано незначительное снижение содержания свободного пролина в коре однолетних побегов: у сортов *P. × rossica* и *P. domestica* – в среднем в 1,03 раза, а у *P. salicina* – в 1,2 раза по сравнению с уровнем, зафиксированным в фазе закалки. В условиях повторной закалки, следующей за оттепельным периодом, содержание пролина, напротив, возросло: у *P. × rossica* – в 1,3 раза, у *P. domestica* – в 1,5 раза, и у *P. salicina* – в 1,3 раза по сравнению с фазой оттепели.

Однако при дальнейшем снижении температуры до -25 °С было отмечено снижение уровня этой аминокислоты у ряда сортов: у *P. × rossica* (Ветразь, Златоскифов, Кубанская комета) – в 1,4-1,7 раза; у *P. salicina* – в 1,2-1,7 раза; и у *P. domestica* – в 1,1-1,9 раза (таблица 32). Как отмечалось ранее, уменьшение концентрации пролина может быть связано с его участием в антиоксидантной защите: пролин нейтрализует активные формы кислорода (АФК), и его расход на эти процессы способствует повышению устойчивости растений к низкотемпературному стрессу.

Таблица 32 – Содержание аминокислоты пролин в коре однолетних побегов сливы в условиях IV компонента зимостойкости, мг/кг (2023-2025 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В				
	Закалка -5 °, -10 °C	Оттепель +2 °C	Повторная закалка -5 °, -10 °C	IV компонент -25 °C	
<i>P. domestica</i>					
Венгерка белорусская	58,09±20,85	63,66±19,56	97,81±17,69	41,75±9,81	
Венгерка заречная	66,67±19,13	49,89±2,97	96,97±32,98	59,89±25,69	
Евразия 21	76,35±20,69	81,37±20,55	114,75±28,81	53,13±25,33	
Золотое руно	49,22±21,97	47,93±17,58	66,77±30,95	97,62±37,77	
Stanley	64,25±21,91	63,15±18,84	95,88±46,08	49,24±23,58	
<i>P. × rossica</i>					
Ветразь	101,15±1,91	100,47±12,42	153,42±11,93	83,05±19,21	
Гек	132,55±19,48	116,18±24,98	155,47±38,10	102,08±21,05	
Злато скифов	137,68±22,08	135,52±13,80	170,73±21,02	88,80±32,39	
Кубанская комета	122,30±33,18	124,22±22,30	154,82±38,71	78,82±32,77	
<i>P. salicina</i>					
Неженка	126,19±34,83	92,89±35,04	145,51±8,52	88,02±16,72	
Орловская мечта	225,45±53,51	148,89±16,67	171,62±5,39	92,34±24,95	
Сувенир Востока	110,6±17,71	101,35±15,83	168,01±18,97	80,73±29,43	
Скороплодная	123,40±28,37	115,14±16,27	121,84±16,27	85,60±35,48	
ЭЛС 18473	113,63±28,12	111,38±24,13	124,53±24,13	54,08±25,28	
A HCP ₀₅ =33,04		B HCP ₀₅ =17,66		AB F _Φ < F _T	

При усилении обменных процессов в условиях трёхдневной оттепели при температуре +2 °C у сортов *P. × rossica* и *P. salicina* наблюдалось увеличение содержания сахаров в коре однолетних побегов в 1,1 раза, а у представителей *P. domestica* – в 1,2 раза по сравнению с периодом закалки. Повторное охлаждение (повторная закалка) привело к снижению уровня сахаров: у *P. × rossica* – в 1,1 раза, у *P. domestica* – в 1,2 раза, у *P. salicina* – в 1,3 раза. Уменьшение концентрации углеводов, вероятно, связано с активацией метаболических процессов в растениях, пребывающих в состоянии вынужденного покоя, под влиянием положительных температур. Сахара при этом выполняют роль энергетического ресурса, необходимого для синтеза дополнительных компонентов антиоксидантной системы. После воздействия температуры -25 °C зафиксировано повышение содержания сахаров: у *P. × rossica* и *P. salicina* – в 1,1 раза, у *P. domestica* – в 1,3 раза по сравнению с уровнем после повторной закалки (таблица 33).

Таблица 33 – Количество сахаров в коре однолетних побегов сливы в условиях IV компонента зимостойкости, мг/г (2023-2025 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В			
	Закалка -5 °, -10 °C	Оттепель +2 °C	Повторная закалка -5 °, -10 °C	IV компонент -25 °C
<i>P. domestica</i>				
Венгерка белорусская	0,82±0,10	1,03±0,19	0,83±0,20	0,97±0,09
Венгерка заречная	0,81±0,19	0,90±0,10	0,78±0,21	1,07±0,01
Евразия 21	0,88±0,21	0,93±0,12	0,80±0,23	1,07±0,07
Золотое руно	0,69±0,11	0,78±0,17	0,61±0,09	0,84±0,06
Stanley	0,77±0,12	0,94±0,19	0,68±0,13	0,98±0,06
<i>P. × rossica</i>				
Ветразь	0,85±0,18	1,09±0,05	0,69±0,17	1,18±0,12
Гек	1,09±0,05	1,02±0,13	0,79±0,15	1,04±0,08
Злато скифов	0,95±0,11	1,13±0,13	1,57±0,64	1,07±0,05
Кубанская комета	0,95±0,19	0,92±0,10	0,77±0,13	1,02±0,12
<i>P. salicina</i>				
Неженка	0,98±0,08	0,82±0,14	0,70±0,16	0,82±0,10
Орловская мечта	1,02±0,05	1,03±0,07	0,84±0,23	1,12±0,20
Сувенир Востока	0,88±0,20	1,09±0,07	0,75±0,16	1,11±0,06
Скороплодная	0,78±0,11	0,81±0,11	0,66±0,24	0,91±0,14
ЭЛС 18473	0,83±0,04	0,94±0,20	0,73±0,15	0,99±0,05
A F _Φ <F _T		B HCP ₀₅ =0,12	AB F _Φ <F _T	

Повышение количества сахаров играет важную роль для восстановления морозостойкости после оттепели и повторной закалки, которые предохраняют растения от образования внутриклеточного льда за счет увеличения концентрации клеточного сока.

3.7.3. Определение количества МДА в коре однолетних побегов сливы

В марте, после трёхдневной оттепели при температуре +2 °C, у сортов *P. × rossica* отмечалось увеличение содержания МДА в 1,2 раза, а у сортов *P. domestica* – в 1,3 раза по сравнению с уровнем, зафиксированным в период закалки. У *P. salicina* концентрация МДА в коре однолетних побегов в условиях оттепели оставалась на уровне, сопоставимом с фазой закалки. После проведения повторной закалки содержание МДА возросло у *P. × rossica* в 1,2 раза, у *P. domestica* – в 1,1 раза, а у *P. salicina* – в 1,3 раза, что может указывать о начале процессов окислительного стресса в тканях (таблица 34).

Таблица 34 – Содержание МДА в коре однолетних побегах сливы в условиях IV компонента зимостойкости, мкМоль/г (2023-2025 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В			
	Закалка -5 °, -10 °C	Оттепель +2 °C	Повторная закалка -5 °, -10 °C	IV компонент -25 °C
<i>P. domestica</i>				
Венгерка белорусская	10,56±3,62	10,58±4,50	13,36±3,37	6,65±0,38
Венгерка заречная	8,52±2,74	13,08±6,07	13,67±2,97	8,33±1,33
Евразия 21	8,97±3,42	9,84±3,64	13,89±2,97	7,40±0,62
Золотое руно	7,34±2,29	12,49±5,29	8,97±3,36	7,98±0,71
Stanley	7,40±2,33	7,62 ±2,57	9,43±2,38	5,40±0,21
<i>P. × rossica</i>				
Ветразь	7,97±3,31	14,72±8,99	12,68±2,35	7,58±1,06
Гек	6,73±2,11	6,81±2,90	9,96±3,48	4,90±0,96
Злато скифов	10,48±5,30	10,74±4,91	11,65±4,41	5,04±0,50
Кубанская комета	7,50±2,67	5,70±1,10	9,32±3,70	4,18±0,23
<i>P. salicina</i>				
Неженка	7,78±3,65	5,03±1,26	10,55±3,95	3,41±0,49
Орловская мечта	10,39±6,87	7,82±3,88	8,77±3,22	4,71±0,83
Сувенир Востока	5,02±3,69	8,37±3,18	11,40±4,23	5,97±0,22
Скороплодная	9,10±5,20	9,00±7,22	10,72±4,23	4,93±1,19
ЭЛС 18473	5,81±1,11	7,44±2,20	8,80±2,66	4,06±0,32
A F _Φ <F _T		B HCP ₀₅ =2,08	AB F _Φ <F _T	

Однако при дальнейшем снижении температуры до -25 °C, соответствующей четвёртому компоненту зимостойкости, было зафиксировано значительное уменьшение образования МДА в коре однолетних побегов – в 1,7-2,2 раза, что свидетельствует о мембранный устойчивости сортов, обеспеченнной функционированием антиоксидантных механизмов защиты (таблица 34).

Таким образом, на основе активности антиоксидантного фермента каталаза и низкой интенсивности процессов ПОЛ, содержания низкомолекулярных соединений выявлена физиолого-биохимическая устойчивость к IV компоненту зимостойкости у сортов *P. × rossica* – Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета; *P. domestica* – Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21, Золотое руно, Stanley; *P. salicina* – Неженка, Орловская мечта, Скороплодная, Сувенир Востока, ЭЛС 18473.

3.8. Изучение физиолого-биохимических процессов адаптации сливы разного генетического происхождения в зимний период 2024/25 гг.

Уровень устойчивости растений в зимний период во многом зависит от состояния внутриклеточной воды, особенно от соотношения связанной и свободной её форм. Свободная вода определяет физиологическую активность: чем выше её содержание, тем интенсивнее проявляется жизнедеятельность растений. В то же время связанная вода, выполняющая структурную функцию, играет ключевую роль в поддержании целостности протопласта и общей устойчивости организма. С наступлением зимних условий доля связанной воды в клетках возрастает, что сопровождается замедлением роста, снижением интенсивности метаболических процессов и, как следствие, усилением морозостойкости.

Так, в декабре (среднесуточная температура месяца -1,2 °С) оводненность однолетних побегов у сортов сливы была в пределах от 38,8 до 50% (таблица 37). Содержание свободной воды варьировало от 5,2 до 11,4% и связанной воды от 29,8 до 40,5% в однолетних побегах изученных сортов сливы (таблица 35, 36). При этом соотношение между связанной водой и свободной повысилось в 1,1-3,0 раза по сравнению с ноябрем (таблица 4), что способствует повышению морозостойкости растений сливы.

Продолжительный период аномально тёплой погоды в январе (среднесуточная температура составляла 0,8 °С, что превышает среднемноголетние значения на 10 °С) способствовал увеличению уровня оводнённости однолетних побегов у большинства изучаемых сортов сливы на 2,9-27,1 % по сравнению с декабрьскими показателями. У сортов Неженка и Сувенир Востока степень оводнённости осталась на прежнем уровне (таблица 37). Одновременно во всех исследуемых сортах наблюдалось увеличение содержания свободной воды в тканях однолетних побегов в 1,1-2,0 раза, что свидетельствует о начале активизации метаболических процессов. Особенno заметное повышение

уровня свободной воды отмечено у сортов Злато скифов, Орловская мечта, Скороплодная и ЭЛС 18473 (таблица 35).

Таблица 35 – Содержание свободной воды в тканях однолетних побегов сливы в зимний период 2024/2025 гг., %

Сорт	Декабрь	Январь	Февраль	Март
<i>P. domestica</i>				
Венгерка белорусская	5,7	7,5	6,5	13,2
Венгерка заречная	8,5	9,4	7,4	11,3
Евразия 21	7,5	10,4	10,3	12,1
Золотое руно	8,5	11,0	5,6	11,3
Stanley	8,5	9,5	7,4	14,2
<i>P. × rossica</i>				
Ветразь	8,5	9,2	8,4	13,3
Гек	10,8	11,3	10,2	19,1
Злато скифов	5,2	10,3	5,6	12,2
Кубанская комета	10,2	13,3	10,3	17,1
<i>P. salicina</i>				
Неженка	11,4	14,4	13,2	17,2
Орловская мечта	10,3	18,1	7,4	16,1
Сувенир Востока	10,4	12,2	10,3	16,2
Скороплодная	11,4	16,1	12,2	19,8
ЭЛС 18473	7,4	14,3	14,2	20,1
HCP ₀₅	3,1	4,2	1,9	3,3

В то же время содержание связанной воды снизилось на 2,8-29,5 % у таких сортов, как Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Злато скифов, Евразия 21, Кубанская комета, Неженка, Орловская мечта, Скороплодная, Сувенир Востока и Stanley. У отдельных сортов, напротив, зафиксировано повышение уровня связанной воды: у сорта Ветразь – на 8,2 %, Гек – на 2,2 % и ЭЛС 18473 – на 13,0 % (таблица 36), что, вероятно, может способствовать повышению морозостойкости этих сортов при последующем понижении температуры.

В феврале, в связи с похолоданием (среднесуточная температура -6,1 °C), наблюдали снижение на 3,1-30,1% общей оводненности тканей однолетних побегов сортов сливы по сравнению с январем (таблица 37). Содержание свободной воды в большей степени уменьшилось в 1,8-2,5 раза у сортов Злато скифов, Золотое руно и Орловская мечта по сравнению с январем. У остальных сортов сливы снижение содержания свободной воды в однолетних побегах

отметили в пределах на 9,1-32,0%. Фактически на том же уровне отметили количество свободной воды в однолетних побегах сорта Евразия 21 и ЭЛС 18473 (таблица 35).

Таблица 36 – Содержание связанной воды в тканях однолетних побегов сливы
в зимний период 2024/2025 гг., %

Сорт	Декабрь	Январь	Февраль	Март
<i>P. domestica</i>				
Венгерка белорусская	40,5	37,5	38,5	33,0
Венгерка заречная	30,2	34,4	32,6	33,7
Евразия 21	35,1	27,1	30,9	42,9
Золотое руно	32,7	32,7	34,4	36,2
Stanley	36,5	34,2	31,4	35,8
<i>P. × rossica</i>				
Ветразь	36,5	39,5	29,1	33,0
Гек	31,7	32,4	32,3	27,2
Злато скифов	36,0	34,7	31,9	34,0
Кубанская комета	34,8	29,2	28,5	39,2
<i>P. salicina</i>				
Неженка	29,8	26,9	34,3	26,5
Орловская мечта	34,7	28,2	35,1	40,1
Сувенир Востока	39,6	37,8	33,5	35,0
Скороплодная	33,6	32,7	31,5	27,7
ЭЛС 18473	33,9	38,3	28,3	26,2
HCP ₀₅	F _φ < F _T	F _φ < F _T	F _φ < F _T	9,8

При этом у большинства сортов сливы отметили снижение на 2,5-35,7% содержания связанной воды в однолетних побегах по сравнению с январем, вероятно за счет уменьшения общей оводненности. У других сортов Венгерка белорусская, Золотое руно, Неженка и Орловская мечта уровень связанный воды в условиях февраля увеличился на 2,7-27,5% (таблица 36).

В конце марта с усилением активности метаболических процессов у сортов сливы отметили повышение на 2,9-45,3% общей оводненности против февраля (таблица 37). В указанный период зафиксировано увеличение доли свободной воды в однолетних побегах в 1,2-2,2 раза по сравнению с февралем. При этом ткани однолетних побегов сортов *P. × rossica* и *P. salicina* содержали больше свободной воды – на 24,2 % и 44,0 % соответственно – по сравнению с сортами *P. domestica* (таблица 35). Стоит подчеркнуть, что у большинства исследованных

сортов сливы отмечалось повышение содержания связанной воды в диапазоне от 3,4 до 38,8 %, что, вероятно, связано с увеличением общего уровня оводнённости тканей однолетних побегов (таблица 37). В то же время у сортов Венгерка белорусская, Гек, Неженка, Скороплодная и ЭЛС 18743, для которых характерно менее выраженное увеличение оводнённости, наблюдалось снижение доли связанный воды в тканях на 8,0-29,4 % (таблица 36).

Таблица 37 – Оводненность тканей однолетних побегов сливы
в зимний период 2024/2025 гг., %

Сорт	Декабрь	Январь	Февраль	Март
<i>P. domestica</i>				
Венгерка белорусская	46,3	45,0	45,0	46,3
Венгерка заречная	38,8	43,8	40,0	45,0
Евразия 21	42,5	45,0	41,3	55,0
Золотое руно	41,3	43,8	40,0	47,5
Stanley	45,0	43,8	38,8	50,0
<i>P. × rossica</i>				
Ветразь	45,0	48,8	37,5	46,3
Гек	42,5	43,8	42,5	46,3
Злато скифов	41,3	45,0	37,5	46,3
Кубанская комета	45,0	42,5	38,7	56,3
<i>P. salicina</i>				
Неженка	41,3	41,3	47,5	43,8
Орловская мечта	45,0	46,3	42,5	56,3
Скороплодная	45,0	48,8	43,8	47,5
Сувенир Востока	50,0	50,0	43,8	51,3
ЭЛС 18473	41,3	52,5	42,5	46,3
HCP ₀₅	$F_{\phi} < F_T$			

Как известно, сахара играют ключевую роль в защите растительных клеток от кристаллизации внутреклеточной влаги, способствуя повышению осмотической концентрации клеточного сока и тем самым предотвращая образование льда. В декабре у большинства исследованных сортов сливы в коре однолетних побегов зафиксировано значительное накопление сахаров – от 6,46 % до 54,85% по сравнению с ноябрьскими показателями (таблица 38; см. также таблицу 7). Однако у некоторых сортов, включая Гек, Золотое руно и Евразия 21, наблюдалась обратная тенденция – снижение содержания сахаров в декабре. У

сорта Венгерка белорусская уровень сахаров остался на уровне ноября, практически без изменений.

Впоследствии, в январе, на фоне продолжительной аномально тёплой погоды, отмечено резкое уменьшение содержания сахаров у всех изученных сортов сливы – от 1,2 до 2,2 раз. Вероятно, температурные условия способствовали активизации обменных процессов в условиях вынужденного покоя, в результате чего сахара активно использовались как источник энергии для обеспечения дыхания и поддержания жизнедеятельности тканей. Несмотря на последующее понижение температуры в феврале, тенденция к снижению концентрации сахаров в коре однолетних побегов сохранилась – их уровень снизился в 1,4-6,6 раза (таблица 38). Видимо, в условиях отрицательных температур часть углеводов перерабатывается на синтез белков, что способствует укреплению и поддержанию морозоустойчивости растений.

В марте, с наступлением тёплой погоды, у большинства сортов сливы наблюдалось заметное увеличение содержания сахаров в коре однолетних побегов. Этот прирост связан с необходимостью обеспечения энергетических и пластических потребностей растений в начале вегетационного периода – в частности, для дыхания, синтеза белков, аминокислот и других метаболически значимых соединений. Так, уровень сахаров в коре однолетних побегов повысился в 2,7 раза у сортов *P. × rossica*, в 2,0 раза – у *P. salicina* и в 1,7 раза – у *P. domestica* (таблица 38). Эти запасы активно используются весной при возобновлении роста, обеспечивая растения необходимыми энергетическими ресурсами и структурными компонентами. Примечательно, что именно у сортов *P. × rossica* и *P. salicina* в этот период отмечено более выраженное набухание почек.

Таблица 38 – Содержание сахаров в коре однолетних побегов сливы
в зимний период 2024/2025 гг., мг/г

Сорт	Сахара, мг/г			
	декабрь	январь	февраль	март
<i>P. domestica</i>				
Венгерка белорусская	1,219	1,002	0,374	1,033
Венгерка заречная	1,231	0,972	0,609	1,040

Продолжение Таблица 38

Евразия-21	1,231	1,081	0,634	0,937
Золотое руно	0,977	0,852	0,605	0,959
Stanley	1,128	0,957	0,593	0,896
<i>P. × rossica</i>				
Ветразь	2,136	1,356	0,600	1,174
Гек	1,113	0,767	0,557	1,218
Злато скифов	2,123	1,446	0,219	1,397
Кубанская комета	2,029	0,906	0,491	1,206
<i>P. salicina</i>				
Неженка	1,539	0,914	0,588	1,149
Орловская мечта	2,137	1,463	0,469	1,386
Скороплодная	2,126	1,084	0,573	1,069
Сувенир Востока	2,021	0,940	0,621	0,994
ЭЛС 18473	2,032	1,185	0,554	1,000
HCP ₀₅	$F_{\phi} < F_T$			

Что касается содержания пролина, то в декабре по сравнению с ноябрём (таблица 8) в коре однолетних побегов исследуемых сортов сливы наблюдалось его снижение в 1,1-2,7 раза (таблица 39). Падение уровня этой аминокислоты, вероятно, связано с её активным вовлечением в нейтрализацию активных форм кислорода (АФК), образующихся в условиях низкотемпературного воздействия. Пролин, обладая антиоксидантными свойствами, выполняет ключевую функцию в формировании защитных механизмов растений в ответ на холодовой стресс, способствуя повышению морозоустойчивости за счёт стабилизации клеточных структур и предотвращения окислительного повреждения.

В январе у сортов Злато скифов и Гек продолжалось снижение на 1,5-1,8% уровня свободного пролина в коре однолетних побегов. У остальных сортов сливы выявили повышение на 3,68-91,36% содержания свободного пролина в условиях низкотемпературного стресса. Известно, что под воздействием отрицательной температуры в растительных клетках запускаются механизмы, останавливающие процесс образования кристаллов льда, предотвращая обезвоживание цитоплазма, за счет увеличения содержания низкомолекулярных осмолитов, в частности аминокислоты пролин. Так, в феврале у сортов Венгерка белорусская, Евразия 21 и Stanley отметили повышение содержание свободного пролина в коре однолетних побегов. Похолодание в феврале способствовало тому, что количество

аминокислоты снизилось на 1,7-29,5% у сортов сливы Венгерка заречная, Ветразь, Гек, Золото скифов, Кубанская комета, Неженка, Скороплодная, Сувенир Востока ЭЛС 18473. Предположительно аминокислота участвовала как антиоксидант в «тушении» оксирадикалов, накапливающихся в растениях при действии абиотических стрессов. В марте у изученных сортов сливы наблюдали повышение количества аминокислоты в коре однолетних побегов. Так, в коре однолетних побегов содержание пролина повысилось в 1,1 раза у сортов *P. × rossica* и *P. salicina*, в 1,4 раза у сортов *P. domestica* (таблица 39).

Таблица 39 – Содержание свободного пролина в коре однолетних побегов сливы в зимний период 2024/2025 гг., мг/кг

Сорт	Пролин, мг/кг			
	декабрь	январь	февраль	март
<i>P. domestica</i>				
Венгерка белорусская	34,78	36,06	34,28	91,10
Венгерка заречная	51,42	58,84	56,29	117,41
Евразия 21	57,98	110,95	163,12	164,52
Золотое руно	22,83	28,41	26,32	50,58
Стенлей	29,99	53,40	105,81	113,44
<i>P. × rossica</i>				
Ветразь	34,78	36,06	34,28	91,10
Гек	51,42	58,84	56,29	117,41
Золото скифов	57,98	110,95	163,12	164,52
Кубанская комета	22,83	28,41	26,32	50,58
<i>P. salicina</i>				
Неженка	119,35	154,24	146,74	156,18
Орловская мечта	162,33	163,12	153,12	162,18
Скороплодная	163,12	162,57	129,69	154,19
Сувенир Востока	120,59	146,20	134,18	151,73
ЭЛС 18473	147,86	162,28	142,60	150,35
HCP ₀₅	F _Φ < F _T			

Повышение количества пролина может свидетельствовать об активности метаболических процессов у растений, вызванных действием положительной температуры. Являясь компонентом белков клеточных мембран, пролин играет важную роль в росте и дифференциации растений (Kishor, Sreenivasulu, 2014). Он

участвует в завязывании и формировании плодов, улучшает эффективность фотосинтеза и регулирует водообмен растений.

Таким образом, в результате проведенных физиолого-биохимических исследований в зимний период показано, что сорта сливы в период вынужденного покоя активно реагируют на действие положительной температуры, т.к. у них меняется характер внутриклеточного обмена веществ. Так, в однолетних побегах сливы значительно повысилась доля свободной воды, и снизилось содержание низкомолекулярных соединений, что говорит о повышении активности метаболических процессов. И, при последующем значительном понижении температуры есть риск подмерзания растений. Однако они могут вновь пройти закалку, если только оттепель не вызвала начало ростовых процессов. В дальнейшем при наступлении весны отметили повышение содержания сахаров и пролина, которые необходимы для роста и развития растений в качестве энергетического и строительного материала. Повысилась доля и свободной воды в однолетних побегах сортов сливы, которая определяет активность физиологических процессов, в растительном организме являясь растворителем и основным транспортером питательных веществ в органы растений.

3.9. Изучение устойчивости цветков и бутонов сливы к весенним заморозкам

3.9.1. Устойчивость к весенним заморозкам сливы в полевых условиях

Плодово-ягодные культуры в настоящее время испытывают значительные фенологические сдвиги, обусловленные продолжающимся потеплением климата. Согласно современным климатическим прогнозам, в условиях умеренной зоны зимние месяцы и ранняя весна будут становиться всё более тёплыми, что, как ожидается, приведёт к ускоренному развитию растений в начале вегетационного сезона. Раннее наступление фенофазы «цветение», обусловленное аномально высокой температурой в начале весны, повышает риск повреждения генеративных органов в случае возвратных весенних заморозков, что может привести к заметному снижению урожайности плодовых культур (Vitasse et al., 2018; Unterberger et al., 2018). На фоне сложных физиологических и

биохимических изменений – включая перестройку метаболизма, изменение структуры тканей и перераспределение воды – растения в активной фазе роста, цветения и плодоношения оказываются особенно уязвимыми к охлаждению, зачастую не перенося даже кратковременных заморозков (Wisniewski et al., 2003).

Весной 2022 года наблюдалось продолжительное похолодание, в результате чего фенофаза цветения у сортов сливы наступила с задержкой от одной до двух недель, в зависимости от сортовых особенностей. В первой декаде мая, когда у изучаемых растений фиксировалась стадия «выдвижения и окрашивания бутонов», температура воздуха опускалась до $-1,7^{\circ}\text{C}$ (рисунок 1). Однако такие условия не привели к повреждению цветковых почек. Основная масса сортов зацвела во второй декаде мая. Для начала цветения у сортов Кубанская комета, Скороплодная и Сувенир Востока потребовалась сумма активных температур (САТ) на уровне $311,3^{\circ}\text{C}$. Более поздние сорта – Венгерка заречная, Ветразь, Злато скифов, Орловская мечта и ЭЛС 18473 – вступили в фазу цветения при накоплении САТ до $354,8^{\circ}\text{C}$. Цветение таких сортов, как Венгерка белорусская, Гек, Золотое руно, Евразия 21 и Stanley, началось при достижении значения активных температур в $366,8^{\circ}\text{C}$.

В 2023 году цветение сливовых сортов началось заметно раньше, что связано с повышением среднесуточной температуры воздуха в апреле до $8,7^{\circ}\text{C}$ – на 3°C выше аналогичного показателя 2022 года ($5,7^{\circ}\text{C}$). Основная часть сортов вступила в фазу цветения уже 25 апреля при накоплении суммы активных температур (САТ) на уровне $287,0^{\circ}\text{C}$. Более позднее начало цветения зафиксировано у сортов Венгерка белорусская и Stanley – 1 мая, при достижении САТ $328,1^{\circ}\text{C}$. Понижение минимальных температур воздуха в начале мая до $-2,5^{\circ}\text{C}$ не привело к значительным повреждениям генеративных органов. Незначительное подмерзание – около 1-2% цветков – было отмечено лишь у сортов Евразия 21 и Неженка. Однако последовавшие заморозки 7 и 8 мая, когда температура опускалась до $-4,2^{\circ}\text{C}$ и $-3,0^{\circ}\text{C}$ соответственно, вызвали более выраженные повреждения цветков, варьирующиеся от 18,9 до 66,4%. Наиболее устойчивыми к поздневесенным заморозкам оказались сорта Кубанская комета,

Скороплодная и Орловская мечта. Максимальный уровень повреждения цветков (более 50%) зафиксирован у сортов Злато скифов, Неженка и ЭЛС 18473 (рисунок 2).

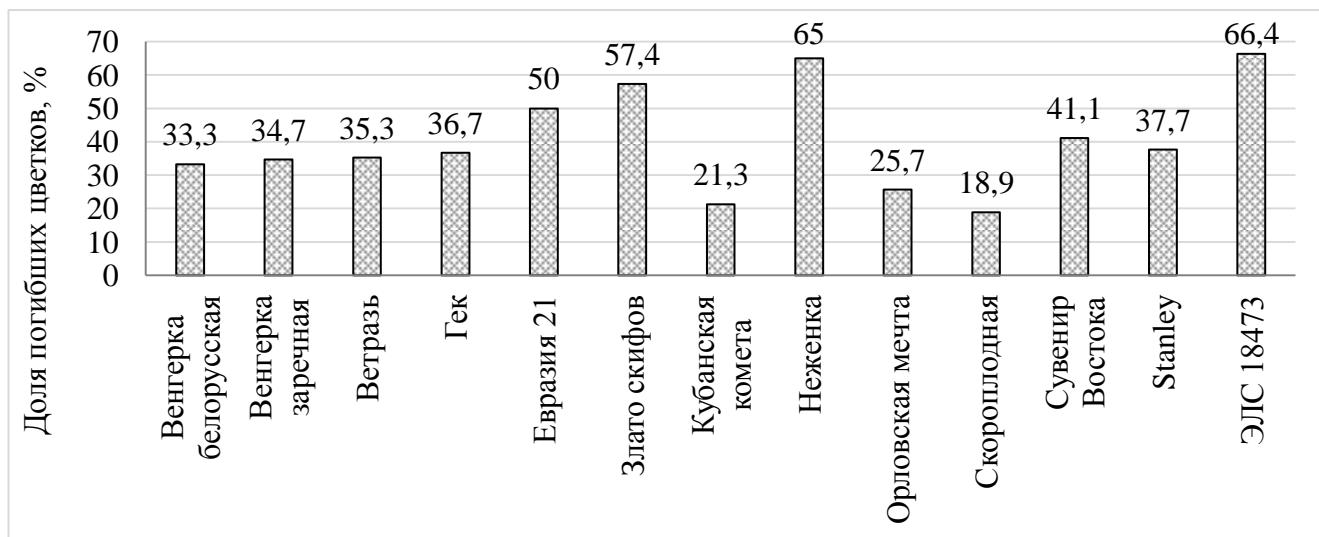


Рисунок 2 – Доля поврежденных цветков сортов сливы весенним заморозком $-4,2^{\circ}\text{C}$ в полевых условиях (07.05.2023 г.), % $\text{HCP}_{05}=13,8$

После воздействия температуры $-4,2^{\circ}\text{C}$ у сорта Венгерка заречная было зафиксировано слабое подмерзание цветочных почек – 9,4%. Несмотря на то, что по результатам визуальной оценки интенсивность цветения у большинства сортов варьировалась от хорошей до средней (4-3 балла), урожай оказался крайне низким. Лишь у отдельных сортов – Гек, Злато скифов и Скороплодная – сбор плодов составил от 1,1 до 2,5 кг с дерева. Максимальный уровень продуктивности был отмечен у сорта Орловская мечта, где урожай достигал 6,1 кг/дер. У остальных сортов плодоношение фактически отсутствовало (таблица 40). Основными причинами низкой урожайности стали неблагоприятные погодные условия весеннего периода, повлекшие повреждение генеративных органов, а также слабый лёд пчёл и других опылителей. Это, вероятно, привело к снижению жизнеспособности пыльцы и, как следствие, нарушению процессов оплодотворения и образования завязи.

В 2024 году цветение сливы произошло на более ранних сроках, что связано с повышением среднесуточной температуры воздуха в апреле до $9,6^{\circ}\text{C}$, что на

3,9 °C выше показателя 2022 года и на 0,9 °C – 2023 года. Ряд сортов, включая Венгерка заречная, Ветразь, Гек, Злато скифов, Золотое руно, Кубанская комета, Неженка, Орловская мечта, Скороплодная, Сувенир Востока и ЭЛС 18473, зацвели в начале третьей декады апреля (22.04) при накоплении суммы активных температур (САТ) 246,5 °C. Цветение сорта Евразия 21 началось позднее, при достижении САТ 282,3 °C, а самые поздние сорта – Венгерка белорусская и Stanley – вступили в фазу цветения 6 мая, при САТ 324,3 °C. Снижение минимальной температуры воздуха до -6,0 °C наблюдали 4 мая, когда у большинства изученных сортов сливы уже образовалась завязь плодов. При этом высокую устойчивость завязи проявили следующие сорта сливы Гек, Злато скифов, Кубанская комета, Орловская мечта. Хорошую устойчивость завязи плодов показали сорта Венгерка заречная, Евразия 21, Скороплодная. Средний уровень устойчивости к весенним заморозкам отметили у сортов Неженка, Ветразь и ЭЛС 18473. У поздних сортов Венгерка белорусская и Stanley на момент наступления весенних заморозков наблюдали фенофазу «обособление бутонов». Установили, что у сорта Венгерка белорусская снижение температуры до -6,0 °C повреждения бутонов не вызвало. У другого сорта Stanley отметили незначительное повреждение бутонов (рисунок 3).

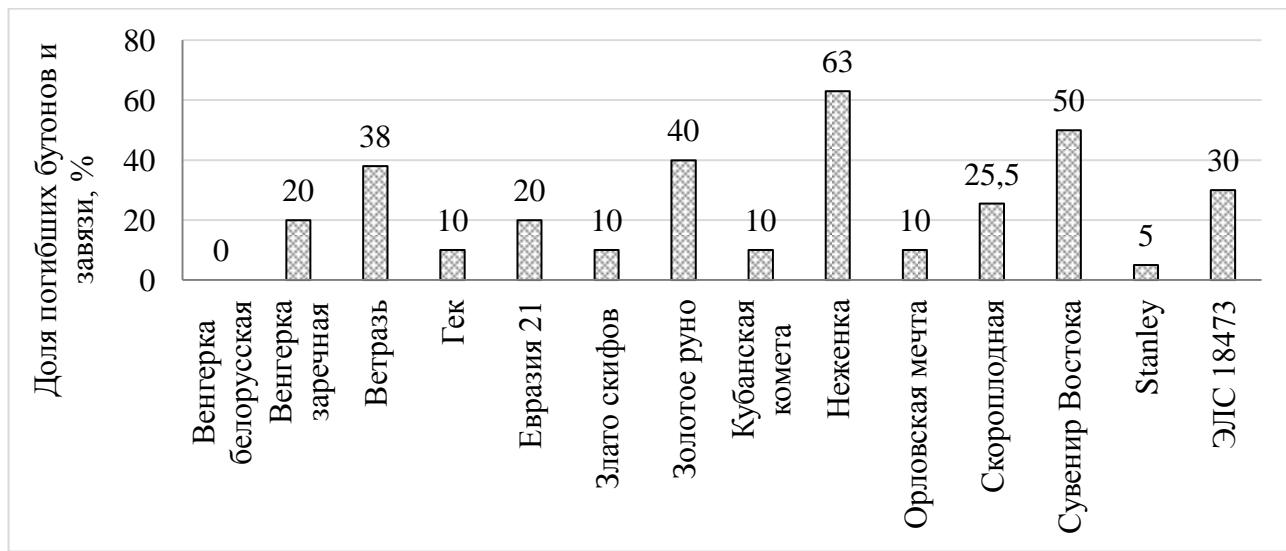


Рисунок 3 – Доля поврежденных бутонов, цветков и завязи сливы весенним заморозком -6,0 °C в полевых условиях (04.05.2024 г.), % НСР₀₅ = 10,9



Рисунок 4 – Плодоношение сорта сливы Орловская мечта в 2024 г.

Несмотря на неблагоприятные погодные условия весной 2024 года, во время цветения и завязывания плодов, изученные сорта сливы сформировали урожай. При этом урожайность варьировала в пределах от 5,4 до 10,8 кг/дер у сортов Венгерка заречная, Гек, Евразия 21, Злато скифов, Кубанская комета, Орловская мечта (рисунок 4), Скороплодная и Stanley (рисунок 5). При этом максимальный уровень урожайности (16,9 кг/дер) отметили у сорта Венгерка белорусская (рисунок 6). Низкую урожайность имели следующие сорта сливы – Ветразь, Золотое руно, Неженка, Сувенир Востока и ЭЛС 18473 (таблица 40).

Таблица 40 – Урожайность сортов сливы, кг/дер. (2023-2024 гг.)

Данные лаборатории селекции и сортоизучения косточковых культур

Сорт	Годы исследований		Среднее значение
	2023	2024	
<i>P. domestica</i>			
Венгерка белорусская	0,0	16,9	8,5
Венгерка заречная	0,0	6,5	3,3
Евразия 21	0,0	7,2	3,6
Золотое руно	0,0	3,6	1,8
Stanley	0,0	7,2	3,6
<i>P. × rossica</i>			

Ветразь	0,0	3,6	1,8
Гек	1,1	10,8	6,0
Золото скифов	2,5	10,8	6,7
Кубанская комета	0,0	10,8	5,4
<i>P. salicina</i>			
Неженка	0,0	1,1	0,6
Орловская мечта	6,1	10,8	8,5
Скороплодная	2,9	5,4	4,2
Сувенир Востока	0,0	3,2	1,6
ЭЛС 18473	0,0	4,7	2,4
HCP ₀₅			F _Φ <F _T

Весной 2025 года во время массового цветения и завязывания плодов сливы отметили понижение температуры воздуха до -1,0 °С. При этом цветки повредились незначительно (не более 10%) у большинства изученных сортов. Только у сорта Золотое руно цветки подмерзли (20%) в большей степени. У сорта Неженка при этом сильно (до 80%) подмерзла завязь (рисунок 7, 8).



Рисунок 5 – Плодоношение сорта сливы Stanley в 2024 г.



Рисунок 6 – Плодоношение сорта сливы Венгерка белорусская в 2024 г.

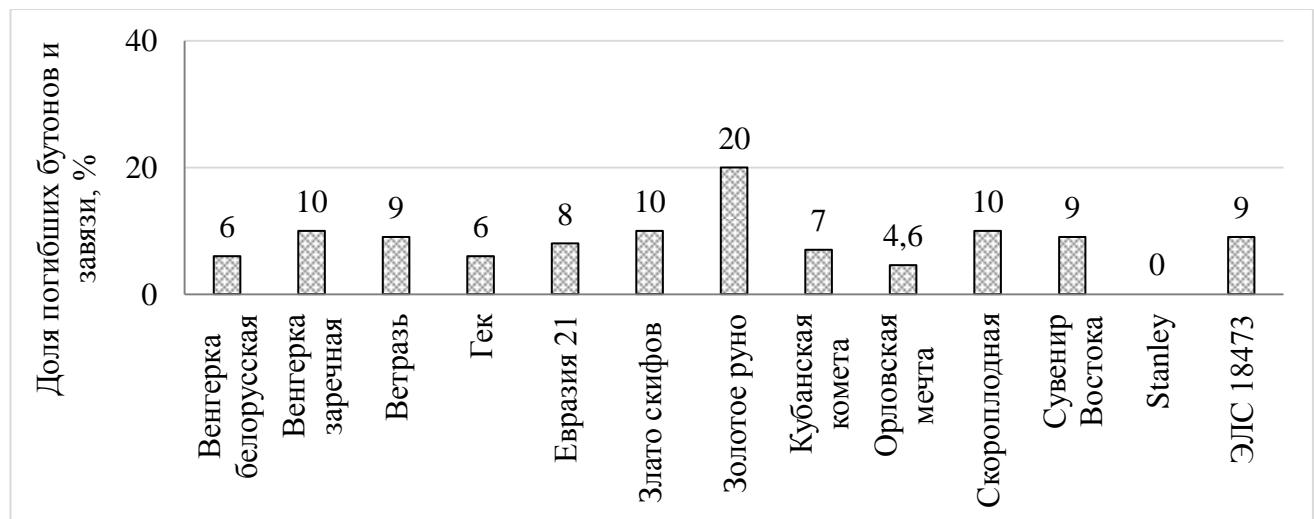


Рисунок 7 – Доля поврежденных цветков сливы весенним заморозком $-1,0^{\circ}\text{C}$ в полевых условиях (28.04.2025 г.), % $\text{HCP}_{05} = 2,7$

3.9.2. Устойчивость к весенним заморозкам сливы в лабораторных условиях

При понижении температуры до -1...-2 °С в контролируемых условиях сорта сливы продемонстрировали высокую устойчивость генеративных почек: степень повреждения цветков не превышала 10%, что согласуется с результатами, полученными в полевых наблюдениях.

Эксперименты по искусственному промораживанию при температуре -3 °С позволили выявить сорта с наибольшей морозоустойчивостью бутонов и цветков. Наивысшую степень устойчивости продемонстрировали сорта Гек, Орловская мечта и Скороплодная. Высокую степень сохранности цветковых органов также показали сорта Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Ветразь, Stanley и Кубанская комета: у этих генотипов погибло не более 20% бутонов, а степень повреждения цветков не превышала 26,3%. В то же время, сорта Евразия 21 и Сувенир Востока проявили повышенную чувствительность к пониженным температурам: у них были зафиксированы значительные повреждения, как бутонов, так и цветков (таблица 41).

Таблица 41 – Доля поврежденных цветков и бутонов у сливы после действия температуры -3 °С в контролируемых условиях, % (2022-2024 гг.)

Сорт	Степень повреждения, %	
	Бутоны	Цветки
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	16,5	19,1
Венгерка заречная	19,5	26,3
Евразия 21	33,5	58,1
Stanley	7,8	20,9
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	19,0	17,7
Гек	10,3	9,3
Злато скифов	14,2	15,8
Кубанская комета	20,7	24,3
<i>P. salicina</i>		
Орловская мечта	0,0	4,5
Скороплодная	6,4	12,0
Сувенир Востока	20,5	38,9
ЭЛС 18473	15,4	25,8
HCP 05	14,8	21,2

В условиях промораживания при температуре -4,0 °С была выявлена дифференцированная реакция сортов сливы на воздействие пониженных температур. Высокую устойчивость бутонов, при которой уровень повреждений не превышал 25%, продемонстрировали сорта Ветразь, Орловская мечта и Stanley. Среднюю степень устойчивости генеративных почек (с потерями от 25 до 50%) зафиксировали у сортов Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Гек, Злато скифов, Евразия 21, Кубанская комета, Скороплодная и Сувенир Востока. У генотипа ЭЛС 18473 установлена слабая устойчивость бутонов к пониженной температуре. При этом средний уровень сохранности цветков наблюдался у сортов Венгерка белорусская, Ветразь, Гек, Кубанская комета, Орловская мечта, Скороплодная и Stanley. У остальных сортов зарегистрировано выраженное повреждение цветков (таблица 42).

Таблица 42 – Доля поврежденных цветков и бутонов у сливы после действия температуры -4 °С в контролируемых условиях, % (2022-2024 гг.)

Генотип	Степень повреждения, %	
	Бутоны	Цветки
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	37,5	50,0
Венгерка заречная	33,7	56,7
Евразия 21	46,3	86,8
Stanley	13,9	26,6
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	17,7	38,0
Гек	25,4	41,3
Злато скифов	50,0	61,4
Кубанская комета	25,6	31,2
<i>P. salicina</i>		
Орловская мечта	22,5	34,6
Скороплодная	30,8	39,7
Сувенир Востока	32,2	52,2
ЭЛС 18473	63,2	75,0
HCP ₀₅	28,8	29,6

При понижении температуры до -5 °С наибольшую морозоустойчивость цветков и бутонов показали такие сорта, как Венгерка белорусская, Ветразь, Гек, Кубанская комета, Орловская мечта, Скороплодная и Stanley. У всех остальных изучаемых сортов сливы эта температура оказалась критической, вызвав

значительные повреждения генеративных органов (таблица 43). Анализ данных, полученных в результате искусственного промораживания, позволил выделить сорта с наиболее выраженной устойчивостью к весенным заморозкам. К таким сортам относятся Венгерка белорусская и Stanley из числа представителей *P. domestica*, Орловская мечта и Скороплодная — из группы *P. salicina*, а также Ветразь, Гек и Кубанская комета, относящиеся к виду *P. × rossica*.

Таблица – 43. Доля поврежденных цветков и бутонов у сливы после действия температуры -5 °С в контролируемых условиях, % (2022-2024 гг.)

Генотип	Степень повреждения, %	
	Бутоны	Цветки
<i>P. domestica</i>		
Венгерка белорусская	50,0	71,0
Венгерка заречная	87,5	93,3
Евразия 21	100,0	100,0
Stanley	27,0	55,5
<i>P. × rossica</i>		
Ветразь	51,3	75,1
Гек	47,5	64,4
Золото скифов	100,0	100,0
Кубанская комета	42,3	69,9
<i>P. salicina</i>		
Орловская мечта	35,0	53,8
Скороплодная	39,4	69,0
Сувенир Востока	69,2	85,5
ЭЛС 18473	100,0	100,0
HCP ₀₅	19,0	13,5



Рисунок 8 – Подмерзание завязи сорта Неженка (а), живые цветки сорта Stanley (б) после действия весеннего заморозка -1°C (28.04.2025 г.)

Таким образом, в результате оценки устойчивости бутонов и цветков к весенним заморозкам в полевых и контролируемых условиях выделены сорта сливы с максимальной выраженностью этого признака: *P. domestica* – Венгерка белорусская, Stanley; *P. × rossica* – Гек, Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная.

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОРТОВ СЛИВЫ

Определение экономической эффективности является важной задачей при изучении сортов, поскольку позволяет в денежной форме определить перспективы их выращивания и рекомендовать лучшие для производства. Устойчивые сорта способны в неблагоприятных условиях среды и давать высокие урожаи. Для промышленного производства подбор сортов производится не только

на основе его пригодности к возделыванию в конкретных условиях региона, но и на основе его экономической эффективности, которая складывается из издержек на производство, прибыли от реализации, рентабельности и других показателей. При определении экономической эффективности производства сортов сливы использовали следующие показатели: урожайность, стоимость валовой продукции, чистый доход и уровень рентабельности.

В результате расчета экономической эффективности среди зимостойких сортов сливы очень высокую рентабельность показали – Венгерка белорусская, Кубанская комета, Орловская мечта. Сорт Гек показал хороший уровень рентабельности. Другие сорта Скороплодная, Stanley характеризовались средним уровнем рентабельности (таблица 44).

Таблица 44 – Экономическая эффективность сортов сливы

Сорт	Средняя урожайность, ц/га	Затраты, тыс. руб./га	Полная себестоимость, тыс. руб./га	Прибыль от реализации, тыс. руб./га	Уровень рентабельность, %
Венгерка белорусская	56,4	265,48	563,62	298,14	112,3
Орловская мечта	56,4	265,48	563,62	298,14	112,3
Кубанская комета	36,0	224,68	432,00	207,80	92,3
Гек	40,0	232,68	400,20	167,52	72,0
Скороплодная	28,0	208,70	336,17	127,50	61,1
Stanley	24,0	200,68	288,14	87,50	43,6
Золото скифов	44,7	241,08	357,60	113,52	42,80
Венгерка заречная	22,0	196,68	264,13	67,50	34,30
Евразия 21	24,0	200,68	264,00	63,50	31,60
ЭЛС 18473	16,0	184,68	192,10	7,42	4,00
Золотое руно	12,0	172,68	144,07	-28,61	-16,60
Ветразь	12,0	172,68	144,07	-121,41	-16,60
Сувенир Востока	10,7	174,08	128,06	-46,02	-26,4
Неженка	4,0	160,68	40,02	-120,66	-75,1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы проведена комплексная работа по изучению особенности функциональной сопряжённости физиологобиохимических процессов устойчивости к действию низкотемпературного стресса в зимне-весенний период.

В результате проведенных исследований в осенний период установили, что для сортов сливы характерно увеличение доли связанной воды на фоне снижения общей оводненности однолетних побегов. Соотношение связанная вода/свободная вода значительно повышается к началу зимы в тканях однолетних побегов у всех сортов. У сортов *P. × rossica* и *P. salicina* гидролиз крахмала проходил более интенсивно, за счет чего у них значительно увеличилось содержание сахаров в коре однолетних побегов. При этом отмечено существенное повышение содержания аминокислоты пролин в коре однолетних побегов. В связи с этим выделили сорта *P. × rossica* – Ветразь, Гек, Кубанская комета и *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная, у которых адаптивные процессы осенью проходили интенсивнее, чем у представителей *P. domestica*.

В полевых условиях высокий уровень зимостойкость установили у сортов сливы *P. domestica* – Венгерка белорусская; Венгерка заречная, Евразия 21 и Stanley; *P. × rossica* – Гек, Злато скифов и Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная, Неженка и ЭЛС 18473.

В результате искусственного промораживания установили высокую устойчивость к раннезимним морозам у изученных сортов сливы. Максимальный уровень морозостойкости в середине зимы выявили у сортов *P. × rossica* – Гек и Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта и Скороплодная; *P. domestica* – Венгерка белорусская и Stanley. Морозостойкость после оттепели показали сорта: *P. × rossica* – Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета; *P. domestica* – Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21, Stanley; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная. Способность к повторной закалке после оттепели продемонстрировали сорта: *P. domestica* – Венгерка белорусская, Stanley; *P. × rossica* – Гек, Злато скифов, Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная.

На основе изучения структурно-функциональной целостности клеточных мембран, активности ферментов антиоксидантной системы защиты и низкомолекулярных осмопротекторов выявили максимальную физиологобиохимическая устойчивость по четырем компонентам зимостойкости у сортов *P.*

× rossica – Ветразь, Гек и Кубанская комета; *P. salicina* – Венгерка белорусская, Евразия 21 и Stanley; *P. salicina* – Орловская мечта и Скороплодная.

На основе оценки устойчивости бутонов и цветков к весенным заморозкам в полевых и контролируемых условиях выделены сорта сливы с максимальной выраженностью этого признака: *P. domestica* – Венгерка белорусская, Stanley; *P. × rossica* – Гек, Кубанская комета, *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная.

В результате комплексных исследований выделили зимостойкие сорта сливы: *P. × rossica* – Гек, Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная и *P. domestica* – Венгерка белорусская, Stanley.

Очень высокий уровень рентабельности отметили у зимостойких сортов Венгерка белорусская, Орловская мечта, которые имели наибольшую урожайность.

Таким образом, в результате проведенных исследований установили потенциал устойчивости сортов сливы разного генетического происхождения к низкотемпературному стрессу в зимне-весенний период.

Разработка темы диссертации в дальнейшем связана с продолжением комплексных исследований гибридных форм сливы из биоресурсной коллекции ВНИИСПК с целью дальнейшего выделения адаптивных к стрессовым факторам внешней среды.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований установили, что у сортов *P. × rossica* – Ветразь, Гек, Кубанская комета, *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная, *P. domestica* – Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21, Stanley адаптивные процессы осенью проходили интенсивнее.

2. В полевых условиях высокий уровень зимостойкости показали сорта сливы *P. domestica* – Венгерка белорусская; Венгерка заречная, Евразия 21 и Stanley; *P. × rossica* – Гек, Злато скифов и Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная, Неженка и ЭЛС 18473.

Сорта *P. × rossica* (Гек, Кубанская комета), *P. salicina* (Орловская мечта, Скороплодная) и *P. domestica* (Венгерка белорусская, Stanley) обладают наибольшим потенциалом устойчивости по основным компонентам зимостойкости.

3. Установлена максимальная физиолого-биохимическая устойчивость по основным компонентам зимостойкости у сортов *P. × rossica* – Ветразь, Гек и Кубанская комета; *P. salicina* – Венгерка белорусская, Евразия 21 и Stanley; *P. salicina* – Орловская мечта и Скороплодная.

4. В результате изучения устойчивости бутонов и цветков к весенным заморозкам в полевых и контролируемых условиях выделены сорта сливы с максимальной выраженностью этого признака: *P. domestica* – Венгерка белорусская, Stanley; *P. × rossica* – Гек, Кубанская комета, *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная.

5. В результате комплексных исследований выделили зимостойкие сорта сливы: *P. × rossica* – Гек, Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная и *P. domestica* – Венгерка белорусская, Stanley.

6. Установили, что зимостойкие сорта сливы имели наибольший уровень рентабельности.

РЕКОМЕНДАЦИИ

В качестве источников ценных признаков рекомендуется использовать в селекции на зимостойкость и устойчивость к весенным заморозкам сорта:

P. × rossica – Гек, Кубанская комета;

P. salicina – Орловская мечта, Скороплодная;

P. domestica – Венгерка белорусская, Stanley.

Для возделывания в производстве рекомендуются сорта Венгерка белорусская и Орловская мечта, которые обладали очень высокой рентабельностью за счет максимальной устойчивости к низкотемпературному стрессу в зимне-весенний период и урожайности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абызов, В.В. Полевая оценка зимостойкости плодовых культур / В.В. Абызов, А.С. Гляделкина, И.В. Зацепина, Р.Е. Кириллов, А.А. Конюхова, Ал.В.

Кружков, Ан.В. Кружков, И.В. Лукьянчук, В.В. Чивилев, А.Н. Юшков // АгроХХI. – 2008. – №. 4–6. – С. 18–20.

2. Агроюг. [Электронный ресурс]. Доступ: http://www.agroyug.ru/page/item/_id-535/ (дата обращения: 05.10.2024).

3. Алёхина, Е.М. Возможности реализации биологического потенциала продуктивности у сортов черешни под влиянием климатических факторов / Е.М. Алёхина, Ю.А. Доля // Совершенствование адаптивного потенциала косточковых культур и технологий их возделывания: материалы межд. науч.-практич. конф., посвящ. памяти ученого-помолога В. П. Семакина (г. Орел, 18–21 июля 2011 г.). – Орел: ВНИИСПК, 2011. – С. 13-19.

4. Андреева, В.А. Фермент пероксидаза. Участие в защитном механизме растений / В.А. Андреева. – М.: Наука, 1988. – 129 с.

5. Аслидинов, С.Д. Способ определения активности каталазы в биологических объектах: пат. №. 2027171 Рос. Федерация / С.Д. Аслидинов, С.Ю. Кучинский, Т.Х. Мукимов, В.Г. Шиманов, Р.А. Халиков; заявл. 20.01.1995.

6. Богданов, Р.Е. Оценка устойчивости гибридов сливы к повторным морозам после оттепелей / Р.Е. Богданов, О.Е. Богданов // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2020. – №. 1-2. – С. 28-30.

7. Босиева, О.И. Сезонная динамика содержания крахмала в древесных растениях / О.И. Босиева, Р.Р. Нартикоева // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 51, №. 4. – С. 407-410.

8. Бурменко, Ю.В. Генетическая коллекция сливы ВСТИСП как основа для селекции культуры в Подмосковье / Ю.В. Бурменко, В.С. Симонов // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2019. – Т. 6, №. 2. – С. 7-9.

9. Веньяминов, А.Н. Селекция вишни, сливы и абрикоса в условиях средней полосы СССР. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 350 с.

10. Гасымов, Ф.М. Оценка сортов абрикоса и сливы по второму компоненту зимостойкости в контролируемых условиях В ФГБНУ ЮУНИИСК / Ф.М. Гасымов // Проблема научного обеспечения садоводства и

картофелеводства. – Челябинск: ФГБНУ «Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства», 2016. – С. 36-45.

11. Гасымов, Ф.М. Изучение сортов сливы по компонентам зимостойкости и в полевых условиях Южного Урала / Ф.М. Гасымов // Селекция, семеноводство и технология плодово-ягодных, овощных культур и картофеля. – 2017. – Т. 19. – С. 70-76.

12. Голицин, Г.С. Глобальные изменения климата / Г.С. Голицин. – М.: РБОФ Знание им. С.И. Вавилова, 2008. – 24 с.

13. Гончарова, Э.А. Водный статус культурных растений и его диагностика / Э.А. Гончарова. – СПб.: ВИР РАСХН, 2005. – 112 с.

14. Горина, В.М. Сортоизучение алычи в коллекции Никитского ботанического сада / В.М. Горина, А.А. Рихтер // Садівництво. – 2006. – №. 58. – С. 56-61.

15. Горина, В.М. Перспективы повышения устойчивости растений алычи (*Prunus cerasifera* Ehrh.) к воздействию отрицательных температур воздуха в условиях степного Крыма / В.М. Горина, Л.А. Лукичева // Бюллєтень ГНБС. – 2019. – №. 132. – С. 67-71.

16. Григорьева, Л.В. Состояние насаждений яблони в ЦЧР после зимы 2005–2006 гг. / Л.В. Григорьева // Садоводство и виноградарство. – 2007. – №. 6. – С. 2-3.

17. Гуляева, А.А. Адаптивность сортов вишни и черешни к экстремальным условиям 2005/2006 и 2009/2010 гг. / А.А. Гуляева // Современное садоводство. – 2010. – №. 2. – С. 49-51.

18. Гуляева, А.А., Джигадло Е.Н., Итоги селекции косточковых культур во ВНИИСПК за 1955–2015 гг. / А.А. Гуляева, Е.Н. Джигадло // Современное садоводство. – 2015. – №. 4 (16). – С. 14-21.

19. Гуляева, А.А. Хозяйственно ценные признаки сортов сливы поволжской селекции / А.А. Гуляева, Т.Н. Берлова, А.А. Галькова, И.Н. Ефремов // Аграрный вестник Урала. – 2025. – № 25 (2). – С. 217-229.

20. Данилова, А.А. Особенности компонентов зимостойкости у новых сортов яблони: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / А.А. Данилова. – Москва, 2011. – 25 с.
21. Декена, Д. Влияние различных подвоев на зимостойкость генеративных почек сливы в зимний период 2010/2011 годов / Д. Декена, И. Алсиня, Х. Янес, Я. Лепсис // Совершенствование адаптивного потенциала косточковых культур и технологий их возделывания: материалы межд. науч.-практ. конф., посвящ. памяти ученого-помолога В. П. Семакина (г. Орел, 18–21 июля 2011 г.). – Орел: ВНИИСПК, 2011. – С. 65-70.
22. Джигадло, Е.Н. Улучшение сортимента косточковых культур в средней полосе России / Е.Н. Джигадло, А.А. Гуляева // Современное садоводство. – 2013. – №. 4 (8). – С. 11-28.
23. Джигадло, Е.Н. Устойчивость сортов косточковых культур к абиотическим факторам среды / Е.Н. Джигадло, А.А. Гуляева // Совершенствование адаптивного потенциала косточковых культур и технологий их возделывания: матер. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти ученого-помолога В. П. Семакина (г. Орел, 18-21 июля 2011 г.). – Орел: ВНИИСПК, 2011. – С. 70-73.
24. Дорошенко, Т.Н. Адаптивный потенциал плодовых растений юга России / Т.Н. Дорошенко, Н.В. Захарчук, Л.Г. Рязанова. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2010. – 131 с.
25. Егоров, Е.А. Актуализация приоритетов в селекции плодовых, ягодных, орехоплодных культур и винограда для субъектов Северного Кавказа / Е.А. Егоров // Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве: сб. науч. тр. – Краснодар: ГНУ СКЗНИИСиВ, 2012. – С. 3-46.
26. Егоров, Е.А. Прецизионность в технологиях промышленного плодоводства / Е.А. Егоров // Методологические аспекты создания прецизионных технологий возделывания плодовых культур и винограда: темат. сб. материалов

юбилейной конф. к 75-летию СКЗНИИСиВ. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2006. – Т. 1. – 381 с.

27. Еникеев, Х.К. Итоги сортозучения и селекции сливы в Московской области / Х.К. Еникеев, С.Н. Сатарова // Совершенствование технологии при интенсификации производства плодов в Нечернозёмной зоне: сб. науч. тр. НИЗИСНП. – М., 1987. – С. 10-27.

28. Ерёмин, Г.В. Слива / Г.В. Ерёмин, В.Л. Витковский – М.: Колос, 1980. – 255 с.

29. Ерёмин, Г.В. Совершенствование сортимента сливы русской / Г.В. Ерёмин // Плодоводство и ягодоводство России. – 2017. – Т. 48. – №. 1. – С. 98-102.

30. Ерёмин, Г. В. Селекция сливы домашней на юге России / Г. В. Ерёмин // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2019. – №. 132. – С. 44-53.

31. Ермаков, А. И. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.

32. Жиров, В.К. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере / В.К. Жиров, Е.И. Голубева, А.Ф. Говорова, А.Х. Хайтбаев. – М.: Наука, 2007. – С. 10-12.

33. Журавель, А. М. Слива / А.М. Журавель, М.П. Рапча, А.С. Короид, С.В. Грицкан, М.К. Магер. – Кишинев: Изд-во ASM, 2007. – 236 с.

34. Жученко, А.А. Адаптивная система селекции растений (экологогенетические аспекты): в 2 т. Т. 1 / А.А. Жученко. – М.: РУДН, 2001. – 780 с.

35. Заремук, Р.Ш. Перспективы использования сортов сливы домашней в южном регионе / Р.Ш. Заремук // Современное садоводство. – 2017. – №. 3. – С. 14-19.

36. Заремук, Р.Ш. Новые интродуцированные сорта сливы домашней в генколекции СКФНЦСВВ / Р.Ш. Заремук, А.А. Кочубей // Научные труды СКФНЦСВВ. – 2018. – Т. 14. – С. 95-98.

37. Захарчук, Н.В. Влияние подвоя на адаптивный потенциал сливы в южном регионе России / Н.В. Захарчук // Совершенствование адаптивного потенциала косточковых культур и технологий их возделывания: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти ученого-помолога В. П. Семакина (г. Орел, 18–21 июля 2011 г.). – Орёл: ВНИИСПК, 2011. – С. 90-94.
38. Исакова, М.Г. Новый сорт сливы Уральские зори / М.Г. Исакова // Аграрный вестник Урала. – 2018. – №. 12 (179). – С. 4-7.
39. Кабашникова, Л.Ф. Количественный анализ свободных и связанных углеводов в одной навеске растительной ткани / Л.Ф. Кабашникова, Л.Н. Калитухо, А.В. Деревенский. – Минск: БГПУ, 2003. – 22 с.
40. Казьмин, Г.Т. Дальневосточные сливы: Селекция. Сортопизучение. Агротехника: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.00.00 / Г.Т. Казьмин. – Хабаровск, 1966. – 327 с.
41. Кальченко, Е.Ю. Подбор сортов и подвоев для размножения сливы на юге Центрального Черноземья: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.08 / Е.Ю. Кальченко. – Воронеж, 2014. – 179 с.
42. Карташова, О.Н. Зимостойкость и продуктивность новых сортов вишни в условиях Нечерноземья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.05 / О.Н. Карташова. – Москва, 2009. – 27 с.
43. Киргизова, Г.Т. Некоторые итоги изучения клоновых подвоев сливы в условиях Бурятии / Г.Т. Киргизова // Совершенствование адаптивного потенциала косточковых культур и технологий их возделывания: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти ученого-помолога В.П. Семакина (г. Орел, 18–21 июля 2011 г.). – Орёл: ВНИИСПК, 2011. – С. 101-105.
44. Кичина, В.В. Проблемы зимостойкости в селекции яблони / В.В. Кичина // Плодовоощное хозяйство. – 1986. – №. 11. – С. 14-17.
45. Кичина, В.В. Современные представления о зимостойкости плодовых культур (концепция и генетические аспекты) / В.В. Кичина // Селекция на зимостойкость плодовых и ягодных культур. – М., 1993. – С. 3-16.

46. Кичина, В.В. Селекция плодовых и ягодных культур на высокий уровень зимостойкости (концепция, приемы и методы) / В.В. Кичина. – М., 1999. – 126 с.
47. Колупаев, Ю.Е. особенности метаболизма и защитные функции углеводов растений в условиях стрессов / Ю.Е. Колупаев, Т.И. Трунова // Физиология и биохимия растений. – 1992. – Т. 24. - № 6. – С. 523-531.
48. Колупаев, Ю.Е. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров / Ю.Е. Колупаев, Ю.Е. Карпец. – Киев: 2010. – 160 с.
49. Колупаев, Ю.Е. Пролин: физиологические функции и регуляция содержания в растениях в стрессовых условиях / Ю.Е. Колупаев, А.А. Вайнер, Т.О. Ястреб // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Серия: Биология. – 2014. – №. 2. – С. 6-22.
50. Колупаев, Ю.Е. Механизмы адаптации растений к гипотермии: роль антиоксидантной системы / Ю.Е. Колупаев, Е.И. Горелова, Т.О. Ястреб // Вісн. Харків.нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2018. – № 1(43). – С. 6-33
51. Костерина, В.В. Каталаза как представитель биологических катализаторов и ее активность в разных сортах картофеля / В.В. Костерина // Вестник СМУС74. – 2016. – №. 4 (15). – С. 31-34.
52. Кошкин, Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур / Е.И. Кошкин. – М.: Дрофа, 2010. – 638 с.
53. Красова, Н.Г. Биоресурсная коллекция яблони ВНИИСПК. Формирование, изучение, использование / Н.Г. Красова. – Орёл: ВНИИСПК, 2024. – 256 с.
54. Красова, Н.Г. Зимостойкость сортов яблони / Н.Г. Красова, З.Е. Ожерельева, Л.В. Голышкина М.А. Макаркина, А.М. Галашева. – Орёл: ВНИИСПК, 2014. – 184 с.
55. Красуля, Т.И. Формирование урожайности и качества плодов сортов алычи (*Prunus cerasifera* Ehrh.) в условиях Южной степи Украины / Т.И. Красуля, Л.Н. Толстолик // Совершенствование адаптивного потенциала косточковых

культур и технологий их возделывания: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти ученого-помолога В.П. Семакина (г. Орел, 18–21 июля 2011 г.). – Орёл: ВНИИСПК, 2011. – С. 101-105.

56. Кузнецов, В.В. Физиология растений / В.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. – М.: Высшая школа, 2006. – 742 с.

57. Кузнецов, В.В. Физиология растений / В.В. Кузнецов. – М.: Высшая школа, 2005. – 736 с.

58. Кузнецов, М.Н. Основные результаты научной деятельности Всероссийского НИИ селекции плодовых культур за 2006 и 2002–2006 гг. / М.Н. Кузнецов, Л.А. Грюнер, Е.А. Долматов, А.Л. Никитин // Селекция и сорторазведение садовых культур. – Орёл: ВНИИСПК, 2007. – 208 с.

59. Куликов, И.М. Роль генетических коллекций в инновационном развитии садоводства России / И.М. Куликов, О.А. Сорокопудова, В.Н. Сорокопудов // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. – 2018. – С. 466-471.

60. Курсаков, Г.А. Отдаленная гибридизация сливы и ее значение для селекции: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.05 / Г.А. Курсаков. – Мичуринск, 1989. – 32 с.

61. Левит, Дж. Повреждение и выживание после замораживания и связь с другими повреждающими воздействиями / Дж. Левит; пер.: Г.Н. Зверевой, М.М. Тюриной // Холодостойкость растений: пер. с англ. – М., 1969. – С. 20.

62. Леонченко, В.Г. Предварительный отбор перспективных генотипов плодовых растений на эколого-генетическую устойчивость и биохимическую ценность плодов / В.Г. Леонченко, Р.П. Евсеева, Е.В. Жбанова. – Мичуринск-наукоград РФ, 2007. – 72 с.

63. Матвеев, В.А. Генетический потенциал устойчивости сливы к стрессовым факторам зимнего периода / В.А. Матвеев, В.С. Волот, М.Н. Васильева // Плодоводство. – 2011. – Т. 23. – С. 114-120.

64. Мичурин, И.В. Итоги шестидесятилетних работ / И.В. Мичурин. – 5-е изд. – М.: Сельхозгиз, 1949. – 672 с.

65. Ненько, Н.И. Активность пероксидазы в листьях винограда при высокотемпературном стрессе / Н.И. Ненько, Г.К. Киселева, И.А. Ильина, В.В. Соколова, Н.М. Запорожец, В.С. Петров, А.В. Караваева, Т.В. Схаляхо // Научные труды СКФНЦСВВ. – 2021. – Т. 31. – С. 137-142.
66. Ненько, Н.И. Физиологические методы в адаптивной селекции / Н.И. Ненько, Т.Н. Дорошенко, Т.А. Гасанова // Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве: сб. науч. тр. – Краснодар, 2012. – С. 189-198.
67. Новиков, Н.Н. Новый метод определения активности пероксидаз в растениях / Н.Н. Новиков // Известия ТСХА. – 2016. – №. 3. – С. 36-46.
68. Ожерельева, З.Е. Изучение зимостойкости новых колонновидных сортов яблони селекции всероссийского НИИ селекции плодовых культур / З.Е. Ожерельева З.Е., С.А. Корнеева, Е.Н. Седов // Плодоводство. – 2013. – Т. 25. – С. 335-340.
69. Ожерельева, З.Е. Влияние заморозков на устойчивость генеративных органов вишни в период цветения / З.Е. Ожерельева, А.А. Гуляева // Современное садоводство. – 2015. – №. 3 (15). – С. 45-51.
70. Ожерельева, З.Е. Изучение морозостойкости косточковых культур в контролируемых условиях / З.Е. Ожерельева, А.А. Гуляева // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 31. – С. 926–930. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/970200.htm> (дата обращения: 12.03.2025).
71. Ожерельева, З.Е. Устойчивость генеративных органов вишни к весенным заморозкам / З.Е. Ожерельева, А.А. Гуляева // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2018. – №. 4. – С. 7-10.
72. Ожерельева, З.Е. Определение морозостойкости земляники садовой в контролируемых условиях: метод. рекомендации / З.Е. Ожерельева, П.С. Прудников, М.И. Зубкова, Д.А. Кривушина, С.Д. Князев. – Орёл: ВНИИСПК, 2019. – 25 с.

73. Ожерельева, З.Е. Изучение морозостойкости сорта вишни Тургеневка в период зимних оттепелей / З.Е. Ожерельева // Овощи России. – 2020. - № 5. – С. 65-70.
74. Ожерельева, З.Е. Выделение исходных форм для селекции *Prunus cerasus* L., устойчивых к весенним заморозкам / З.Е. Ожерельева, И.Н. Ефремов // Вестник аграрной науки. – 2020. – №. 5 (86). – С. 59-65.
75. Ожерельева, З.Е. Устойчивость генеративных органов черешни к весенним заморозкам при искусственном промораживании / З.Е. Ожерельева, А.А. Гуляева // Юг России: экология, развитие. – 2021. – Т. 16. – №. 2. – С. 45-54.
76. Причко, Т.Г. Оптимизация технологических процессов в целях повышения эффективности садоводства / Т.Г. Причко, Е.И. Крицкий // Оптимизация технолого-экономических параметров структуры агроценозов и регламентов возделывания плодовых культур и винограда: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Краснодар, 2008. – С. 20-30.
77. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. – Орёл: ВНИИСПК, 1999. – 608 с.
78. Прудников, П.С. Влияние гипертермии на гормональную систему и антиоксидантный статус *Prunus cerasus* L. / П.С. Прудников, А.А. Гуляева // Современное садоводство. – 2015. – №. 3 (15). – С. 37-44.
79. Прудников, П.С. Действие отрицательной температуры на активность компонентов антиоксидантной системы и интенсивность ПОЛ *Prunus avium* L. / П.С. Прудников, Д.А. Кривушкина, З.Е. Ожерельева, А.А. Гуляева // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 31. – С. 1256-1260. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/970266.htm> (дата обращения: 12.03.2025).
80. Прудников, П.С. Физиолого-биохимические методы диагностики устойчивости плодовых культур к засухе и гипертермии: метод. рекомендации / П.С. Прудников, З.Е. Ожерельева. – Орёл: ВНИИСПК, 2019. – 46 с.

81. Пухальская, А.В. Всемирная конференция по изменению климата (Москва, Россия, 20 сентября – 3 октября 2003 г.) / А.В. Пухальская, Л.В. Осипова // Агрохимия. – 2004. – №. 2. – С. 89-96.
82. Резвякова, С.В. Экологическое обоснование выбора режимов искусственного промораживания плодово-ягодных культур в условиях ЦЧР / С.В. Резвякова // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2011. – №. 3. – С. 26-29.
83. Резвякова, С.В. Теоритические и практические основы повышения биоресурсного потенциала устойчивости садовых культур к температурным факторам: дис. ... д-ра с.-х. наук: 03.02.14 / С.В. Резвякова. – Воронеж, 2015. – 385 с.
84. Рогожин, В.В. Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов / В.В. Рогожин. – СПб., 2004. – 240 с.
85. Рыкалин, Ф.Н. Садоводство / Ф.Н. Рыкалин. – Куйбышев: 1-е Сн. изд-во, 1987. – 248 с.
86. Савельев, Н.И. Генетический потенциал устойчивости плодовых культур к абиотическим стрессорам / Н.И. Савельев, А.Н. Юшков, Н.Н. Савельева, А.С. Земисов, В.В. Чивелев, Р.Е. Кириллов, М.Ю. Акимов, М.Б. Гладышева, А.В. Кружков, А.А. Конюхова, Р.А. Чмир, Р.Е. Богданов, А.А. Кружков. – Мичуринск-наукоград РФ, 2010. – 212 с.
87. Сazonov, Ф.Ф. Адаптивные технологии выращивания плодово-ягодных культур / Ф.Ф. Сazonov, С.Н. Евдокименко, В.Л. Кулагина. – Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2012. – 54 с.
88. Самошенков, Е. Г. Повышение адаптивности и продуктивности сортов сливы Скороплодная и Евразия 21 в средней полосе России / Е. Г. Самошенков, А. Хесами, Л.А. Паничкин Ю.В. Воскобойников // Известия ТСХА. – 2008. – №. 1. – С. 101-110.
89. Седов, Е.Н. Достижения в селекции и сортимент груши / Е.Н. Седов. – М.: ВНИИТЭИСельхоз ВАСХНИЛ, 1980. – 56 с.

90. Седов, Е.Н. Сортовой фонд груши и его использование. Ч. 1 / Е.Н. Седов, Н.Г. Красова. – Орёл: Приокское кн. изд-во, 1979. – 85 с.
91. Симонов, В.С. Селекция сливы во ВСТИСП на зимостойкость / В.С. Симонов // Плодоводство и ягодоводство России. – 2014. – Т. 38, №. 2. – С. 104-111.
92. Симонов, В.С. Современный сортимент сливы и пути повышения его адаптивности в Центральном регионе / В.С. Симонов, С.Н. Кулемеков // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2017. – №. 144 (1). – С. 142-150.
93. Симонов, В.С. Перспективные сортообразцы сливы домашней для Московской области / В.С. Симонов // Садоводство и виноградарство. – 2018. – №. 4. – С. 26-31.
94. Солонкин, А.В. Оценка засухоустойчивости и жаростойкости сортов и форм косточковых культур в условиях Волгоградской области / А.В. Солонкин, А. В. Семенютина, О.А. Никольская, Е.Н. Киктева // Известия Нижневолжского агрониверситетского комплекса. – 2019. – №. 4 (56). – С. 55-64.
95. Солонкин, А.В. Изучение компонентов зимостойкости сливы различного происхождения / А.В. Солонкин, О.А. Никольская, Е.Н. Киктева // Известия Нижневолжского агрониверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – №. 2 (58). – С. 96-104.
96. Спивак, С.Г. Некоторые особенности метаболизма стероидов в трансгенных растениях табака *Nicotiana tabacum*, несущих кДНК СУР11A1 цитохрома p450scc из коры надпочечников быка / С.Г. Спивак, И.Н. Бердичевец, Р.П. Литвиновская, С.В. Драч, Н.А. Картель, Г.В. Шпаковский // Биоорганическая химия. – 2010. – Т. 36. – №. 2. – С. 241-250.
97. Стальная, И.Д. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты / И.Д. Стальная, Т.Г. Гаришвили // Современные методы в биохимии: под ред. В.Н. Ореховича. – М.: Медицина, 1977. – С. 66-68.
98. Стольникова, Н.П. Культура земляники в Западной Сибири / Н.П. Стольникова. – Барнаул: ИП Колмогоров И.А., 2014. – 182 с.

99. Туманов, И.И. Физиологические основы зимостойкости культурных растений / И.И. Туманов. – М.; Л.: Сельхозгиз, 1940. – 368 с.
100. Туманов, И.И. Морозостойкость древесных пород / И.И. Туманов, О.А. Красавцев // Физиология растений. – 1955. – Т. 2. – Вып. 4. – С. 320-333.
101. Туманов, И.И. Физиология закаливания и морозостойкости растений / И.И. Туманов. – М.: Наука, 1979. – 352 с.
102. Туркина, М.В. Изучение мембранных транспорта сахарозы в растительной ткани / М.В. Туркина, С.В. Соколова // Физиология растений. – 1972. – Т. 1. – Вып. 5. – С. 912-919.
103. Тюрина, М.М. Влияние искусственных оттепелей на морозостойкость растений в связи с состоянием покоя / М. М. Тюрина, Г. А. Гоголева // Доклады советских ученых к XVII Международному конгрессу по садоводству. – М.: Колос, 1966. – С. 297-306.
104. Тюрина, М.М. Морозоустойчивость растений в состоянии вегетации и покоя: автореф. дис. ... д-ра доктора биол. наук / М.М. Тюрина. – Л., 1975. – 50 с.
105. Тюрина, М.М. Ускоренная оценка зимостойкости плодовых и ягодных растений: метод. рекомендации / М.М. Тюрина, Г.А. Гоголева. – М., 1978. – 43 с.
106. Тюрина, М.М. Итоги тридцатилетних исследований физиологии зимостойкости плодовых и ягодных растений и разработка методов ее диагностики / М.М. Тюрина // Достижения в плодоводстве в Нечерноземной зоне РСФСР. – М., 1991. – С. 5-17.
107. Тюрина, М.М. Научные основы селекции на зимостойкость / М.М. Тюрина // Селекция на зимостойкость плодовых и ягодных культур: материалы совещ. – М., 1993. – С. 17-29.
108. Тюрина, М.М. Определение устойчивости плодовых и ягодных культур к стрессорам холодного времени года в полевых и контролируемых условиях: метод. указания / М.М. Тюрина, Г.А. Гоголева, Н.В. Ефимова, Л.К. Голоулина, Н.Г. Морозова, Й.Й. Эчеди, Ф.А. Волков, А.П. Арсентьев, Н.А. Матяш. – М.: ВСТИСП, 2002. – 119 с.

109. Упадышева, Г.Ю. Реализация биологического потенциала сливы (*Prunus domestica* L.) в насаждениях с различными конструкциями кроны / Г.Ю. Упадышева // Садоводство и виноградарство. – 2015. – №. 2. – С. 29-34.
110. Фёдорова, Н.А. Взаимосвязь между основными агробиологическими показателями у сливы / Н.А. Фёдорова, Г.Ю. Упадышева // Плодоводство и ягодоводство России. – 2015. – Т. 43. – С. 354-358.
111. Федотова, И.Э. Изучение компонентов зимостойкости сортов сливы в зависимости от видового происхождения в условиях контролируемого режима / И.Э. Федотова, О.В. Острикова, А.Ф. Колесникова // Ученые записки Орловского государственного университета. – 2015. – №. 4 (67). – С. 261-265.
112. Федулов, Ю. П. Устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды / Ю.П. Федулов, В.В. Котляров, К.А. Доценко. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 64 с.
113. Финаев, Е.П. Улучшение сортимента сливы в Среднем Поволжье: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.00.00 / Е.П. Финаев. – Куйбышев, 1957. – 369 с.
114. Хабаров, Ю.И. Основные итоги селекции сливы во ВНИИСПК / Ю.И. Хабаров, Е.Н. Джигадло, А.Ф. Колесникова // Совершенствование сортимента и технологии возделывания косточковых культур: тез. докл. и выступ. на науч.-метод. конф. (г. Орел, 14–17 июля 1998 г.). – Орёл: ВНИИСПК, 1998. – С. 261-262.
115. Яковleva, B.B. Слива русская в Приморье / В.В. Яковлева // Современное садоводство – 2017. – №. 4. – С. 44–48.
116. Allona, I. Review Molecular control of winter dormancy establishment in trees / I. Allona, A. Ramos, C. Ibanez, A. Contreras, R. Casado, C. Aragoncillo // Spanish Journal of Agricultural Research. – 2008. – №. 6. – Р. 201-210. <https://doi.org/10.5424/sjar/200806s1-389>
117. Arjmandi, B.H. Bone-Protective Effects of Dried Plum in Postmenopausal Women: Efficacy and Possible Mechanisms / B.H. Arjmandi, S.A. Johnson, S. Pourafshar, N. Navaei, K.S. George, S. Hooshmand, S.C. Chai, N.S. Akhavan // Nutrients. – 2017. – V. 9(5). – P. 496. <https://doi.org/10.3390/nu9050496>.

118. AtlasBig [Электронный ресурс]. Доступ: <https://www.atlasbig.com/ru> (дата обращения: 05.01.2025).
119. Bates, L.S. Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies / L.S. Bates, R.P. Waldren, I.D. Teare // Plant and Soil. – 1973. – V. 39. – P. 205-207. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00018060>.
120. Bogunovic, I. Biostimulant usage for preserving strawberries to climate damages / I. Bogunovic, B. Duralija, J. Gadze, I. Kisic // Horticultural Science. – 2015. – V. 42(3). – P. 132-140. <https://doi.org/10.17221/161/2014-HORTSCI>
121. Ceccarelli, D. Chemical characterization in the selection of Italian autochthonous genotypes of plum / D. Ceccarelli, F. Antonucci, C. Talento, R. Ciccoritti // Scientia Horticulturae. – 2021. – V. 281. – P. 109922. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109922>
122. Chitu, E. Timing of phenological stages for apple and pear trees under climate change in a temperate-continental climate / E. Chitu, C. Paltineanu // International journal of biometeorology. – 2020. – 64(8). – P. 1263-1271. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01903-2>
123. Dekena, D. Influence of Rootstocks on Winter-Hardiness of Plum Generative Buds During the Wintering Period in Two Growing Regions / D. Dekena, I. Alsiņa, V. Laugale, K. Kahu // Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences. Sciendo. – 2019. – V. 73. – №. 3. – P. 252-256. <https://doi.org/10.2478/prolas-2019-0040>
124. Demirsoy, H., Research on spring frost damage in cherries / H. Demirsoy, L. Demirsoy, G.A. Lang // Horticultural Science. – 2022. – V. 49(2). – P. 89-94. <https://doi.org/10.17221/91/2021-HORTSCI>
125. Fang, J.C. A CCR4-associated factor 1, OsCAF1B, confers tolerance of low-temperature stress to rice seedlings / J.C. Fang, Y.C. Tsai, W.L. Chou, H.Y. Liu, C.C. Chang, S.J. Wu, C.A. Lu // Plant molecular biology. – 2021. – V. 105(1-2). P. 177-192. <https://doi.org/10.1007/s11103-020-01079-8>
126. Fulton, D. C. Beta-AMYLASE4, a noncatalytic protein required for starch breakdown, acts upstream of three active beta-amylases in *Arabidopsis chloroplasts* /

D.C. Fulton, M. Stettler, T. Mettler, C.K. Vaughan, J. Li, P. Francisco, M. Gil, H. Reinhold, S. Eicke, G. Messerli, G. Dorken, K. Halliday, A.M. Smith, S.M. Smith, S.C. Zeeman // The Plant cell. – 2008. – V. 20(4). – P. 1040-1058.
<https://doi.org/10.1105/tpc.107.056507>

127. Gil, M.I. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California / M.I. Gil, F.A. Tomás-Barberán, B. Hess-Pierce, A.A. Kader // Journal of agricultural and food chemistry. – 2002. – V. 50(17). – P. 4976-4982. <https://doi.org/10.1021/jf020136b>

128. Gill, S.S., Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants / S.S. Gill, N. Tuteja // Plant physiology and biochemistry: PPB. – 2010. – V. 48(12). – P. 909-930.

<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>

129. Calabrese, V. Analytical approaches to the diagnosis and treatment of aging and aging-related disease: redox status and proteomics / V. Calabrese, S. Dattilo, A. Petralia, R. Parenti, M. Pennisi, G. Koverech, V. Calabrese, A. Graziano, I. Monte, L. Maiolino, T. Ferreri, E.J. Calabrese // Free Radic Research. 2015. – V. 49(5). – P. 511-24. <https://doi.org/10.3109/10715762.2015.1020799>.

130. Guo, Q. Transcription-associated metabolomic adjustments in maize occur during combined drought and cold stress / Q. Guo, X. Li, L. Niu, P. E. Jameson, W. Zhou // Plant physiology. – 2021. – 186 (1). – P. 677-695.
<https://doi.org/10.1093/plphys/kiacb050>

131. Hernandez, J.A. Antioxidant sistem and O₂-/H₂O₂ production in the apoplast of pea leaves, Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins / J.A. Hernandez, F.J. Corpas, M. Gmez, L.A. de Rio, F. Sevilla // Plant Phisiology. – 2001. – V. 127. – 817.

132. Hu, Y. Review of air disturbance technology for plant frost protection / Y. Hu, E. Amoah Asante, Y. Lu, A. Mahmood N. Ali Buttar, S.A. Yuan // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2018. – V. 11. – P. 21-28.
<https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.3172>

133. Huang, H. Mechanisms of ROS Regulation of Plant Development and Stress Responses / H. Huang, F. Ullah, D.X. Zhou, M. Yi, Y. Zhao // Frontiers in plant science. – 2019. – V. 10. – P. 800. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00800>
134. Igwe, E.O. A Systematic Review on the Health Effects of Plums (*Prunus domestica* and *Prunus salicina*) / E.O. Igwe, K.E. Charlton // Phytotherapy research: PTR. – 2016. – V. 30(5). – P. 701-731. <https://doi.org/10.1002/ptr.5581>
135. Inze, D. Oxidative stress in plants / D. Inze, M. Montague // Current Opinion in Biotechnology. – 1995. – V. 6. – P. 153-158.
136. Jahed, K.R. Coping with the cold: unveiling cryoprotectants, molecular signaling pathways, and strategies for cold stress resilience / K.R. Jahed, A.K. Saini, S.M. Sherif // Frontiers in Plant Science. – 2023. – V. 14. – 1246093. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1246093>
137. Jänes, H. Winter hardiness of plam on different rootstocks in winter 2002/2003 in Estonia / H. Jänes // Acta Horticulturae. – 2001. – V. 734. – P. 295-298.
138. Kishor, P.B.K. Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homoeostasis a more critical issue? / P.B.K. Kishor, N. Sreenivasulu // Plant Cell Environ. – 2014. – V. 37. – P. 300-311. <https://doi.org/10.1111/pce.12157>
139. Krasensky, J. Drought, salt and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks / J. Krasensky, C. Jonak // Journal of Experimental Botany. – V. 63. – P. 1593-1608.
140. Krasova, N. Gene pool assessment in terms of apple tree generative organs resistance of different ploidy to spring frost. / N. Krasova, Z. Ozherelieva, A. Galasheva, O. Panfilova, M. Tsot // E3S Web of Conferences. – 2020. – V. 176. №. 03017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017603017>.
141. Lamichhane, J.R. Rising risks of late-spring frosts in a changing climate July / J.R. Lamichhane // Nature Climate Change. – 2021. – V. 11. V. 7. – P. 554-555. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01090-x>.
142. Lombardi-Boccia, G. Nutrients and antioxidant molecules in yellow plums (*Prunus domestica* L.) from conventional and organic productions: a comparative study

/ G. Lombardi-Boccia, M. Lucarini, S. Lanzi, A. Aguzzi, M. Cappelloni // Journal of agricultural and food chemistry. – 2004. – V. 52(1). – P. 90-94.
<https://doi.org/10.1021/jf0344690>

143. Matzneller, P. Spring frost vulnerability of sweet cherries under controlled conditions / P. Matzneller, K.P. Götz, F.M. Chmielewski // International Journal Biometeorol. – 2016. – V. 60. – P. 123-130.

144. Ming, R. The JA-responsive MYC2-BADH-like transcriptional regulatory module in *Poncirus trifoliata* contributes to cold tolerance by modulation of glycine betaine biosynthesis / R. Ming, Y. Zhang, Y. Wang, M. Khan, B. Dahro, J.H. Liu // The New phytologist. – 2021. – V. 229(5). – P. 2730-2750.
<https://doi.org/10.1111/nph.17063>

145. Mittler, R. ROS signaling: the new wave? / R. Mittler, S. Vanderauwera, N. Suzuki, G. Miller, V. B. Tognetti, K. Vandepoele, M. Gollery, V. Shulaev, F. Van Breusegem // Trends in plant science. – 2011. – V. 16(6). – P. 300-309.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.03.007>

146. Scudei, D.N. Plum varieties features from Lugoj, timis county, Romania, in terms of fruit quality / D.N. Scudei, S. Iordănescu, O. Anca, D. Bala, M. Duma, D.T. Blidariu // Scientific Papers. Series B, Horticulture. – 2021. – V. 63(1). – P. 123-128.

147. Okatan, V. Some pomological and chemical properties of local pear varieties in Uşak, Turkey / V. Okatan, M. Polat, S. Ercişli, M.A. Aşkin // Scientific Papers. Series B, Horticulture. – 2017. V. 61. – P. 11-14.

148. Ozherelieva, Z. Frost hardiness of introduced sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) genotypes in Central Russia / Z. Ozherelieva, P. Prudnikov, N. Bogomolova // Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences., Sciendo. – 2016. – V. 70. – №. 2. – P. 88-95. <https://doi.org/10.1515/prolas-2016-0014>

149. Ozherelieva, Z. Low Temperature Tolerance of Apple Cultivars of Different Ploidy at Different Times of the Winter. / Z. Ozherelieva, E. Sedov // Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and

Applied Sciences., Sciendo. – 2017. – V. 71. – №. 3. – P. 127-131. <https://doi.org/10.1515/prolas-2017-0022>

150. Ozherelieva, Z.E., Changes in water content and carbohydrate metabolism in the annual shoots of contrasting plum varieties in the autumn period / Z.E. Ozherelieva, A.O. Bolgova // BIO Web of Conferences. – 2024. – 02002. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413902002>.

151. Pfleiderer, P. Increasing risks of apple tree frost damage under climate change / P. Pfleiderer, I. Menke, C. Schleussner // Climatic Change. – 2019. V. 157(3). P. 515-525. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02570-y>

152. Potor, D.C. Physical and chemical parameters of the fruit in four *Prunus domestica* local populations from Buzau County / D.C. Potor, A. Dobrin, M.I. Georgescu, D. Hoza // Scientific Papers. Series B, Horticulture. – 2018. – V. 62. – P. 65-70.

153. Quamme, H.A. Relationship of Air Temperature to Water Content and Supercooling of Overwintering Peach Flower Buds / H.A. Quamme, C. Stusnoff // Journal of the American Society for Horticultural Science. – 1983. V. 108(5). P. 697-701. <https://doi.org/10.21273/JASHS.108.5.697>

154. Saddhe, A.A. Plant sugars: Homeostasis and transport under abiotic stress in plants / A.A. Saddhe, R. Manuka, S. Penna // *Physiologia plantarum*. – 2021. – V. 171(4). – P. 739-755. <https://doi.org/10.1111/ppl.13283>

155. Salazar-Gutiérrez, M.R. Variation in cold hardiness of sweet cherry flower buds through different phenological stages / M.R. Salazar-Gutiérrez, B. Chaves, Anothai, J., M.D. Whiting, G. Hoogenboom // *Scientia Horticulturae*. – 2014. – V. 172. – P. 161-167.

156. Satyakam, Z.G. Cold adaptation strategies in plants-An emerging role of epigenetics and antifreeze proteins to engineer cold resilient plants / Z.G. Satyakam, R. K. Singh, R. Kumar // *Frontiers in genetics*. – 2022. – V. 13, – P. 909007. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.909007>

157. Shinozaki, K. Molecular responses to dehydration and low temperature: differences and cross-talk between two stress signaling pathways / K. Shinozaki, K.

Yamaguchi-Shinozaki // Current opinion in plant biology. – 2000. – V. 3(3). – P. 217-223.

158. Szalay, L. Cold hardiness of peach flowers at different phenological stages / L. Szalay, I. Gergő Gyökös, Z. Békefi // Horticultural Science. (Prague). – 2018. – V. 45. – P. 119-124. <https://doi.org/10.17221/146/2016-HORTSCI>.

159. Szalay, L. Frost hardiness of flower buds of three plum (*Prunus domestica* L.) cultivars / L. Szalay, A. Molnár, S. Kovács // Scientia Horticulturae. – 2017. – V. 214. – P. 228-232.

160. Timperio, A.M. Proteomics applied on plant abiotic stresses: role of heat shock proteins (HSP) / A.M. Timperio, M.G. Egidi, L. Zolla // Journal of proteomics. – 2008. – V. 71(4). – P. 391-411. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2008.07.005>

161. Tomić, J. Phytochemical assessment of plum (*Prunus domestica* L.) cultivars selected in Serbia / J. Tomić, F. Stampar, I. Glišić, J. Jakopić // Food chemistry. – 2019. – V. 299. – 125113. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125113>

162. Trompiz, G. France braces for slump in wine output on weather woes / G. Trompiz // Reuters. 2021. [Электронный ресурс]. Доступ: https://uk.news.yahoo.com/france-braces-slump-wine-output-160355043.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xIbmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAFLHCh3sN-vubqOLAa5o5HwjjZvZq1m1orhmmVSfCYtwQc4DpAvMk5rLwAmDo8omeZj3Mm3f1phbsOJOirQhFPZV6BlTn4wtu-3JjNLNVWT0ecybds7INyuEi-nxZCWzUF6W1mYaqYxcTm3a8b6rM7S5YxIZYaGW_6wQU6fJc1B (дата обращения: 21.03.2025).

163. Unterberger, C. Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate / C. Unterberger, L. Brunner, S. Nabernegg // PLoS ONE. – 2018. – V. 13. – №. 7. e0200201. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200201>

164. Vitasse, Y. Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades / Y. Vitasse, L.A. Schneider, C. Rixen, D. Christen, M. Rebetez // Agricultural and Forest

Meteorology. – 2018. – V. 248. №. 15. – P. 60-69.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.09.005>

165. Wang, L. The alleviation of cold-stimulated flesh reddening in ‘Friar’ plum fruit by the elevated CO₂ with polyvinyl chloride (PVC) packaging / L. Wang, K. Hong, R. Xu, Z.L. Zhao, J. Cao // Scientia Horticulturae. – 2021. – V. 281. – P. 109997.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109997>

166. Wisniewski, M. An overview of cold hardiness in woody plants: seeing the forest through the trees / M. Wisniewski, C.L. Bassett, L. Gusta // HortScience. – 2003. – № 38. – P. 952-959.

167. Winkler, J.A. Understanding the Impacts of Climate on Perennial Crops. / J.A. Winkler // Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources / ed. R. A. Pielke. – San Diego: Academic Press. – 2013. – V. 2. – P. 37-49. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384703-4.00208-2>

168. World Apple and Pear Organisation (WAPA). European apple and pear crop forecast – Brussels: WAPA, 2018 [Электронный ресурс]. Доступ: <https://www.wapa-association.org/asp/index.asp>. (дата обращения 05.10.2021)

169. Yue, C. Effects of cold acclimation on sugar metabolism and sugar-related gene expression in tea plant during the winter season / C. Yue, H. Cao, L. Wang, Y. Zhou, Y. Huang, X. Hao, Y. Wang, B. Wang, Y. Yang, X. Wang // Plant Molecular Biology. – 2015. – 88. – P. 591-608.

ПРИЛОЖЕНИЕ



Подмерзание цветков сорта сливы Неженка весной 2023 г.
после действия весеннего заморозка $-4,2^{\circ}\text{C}$



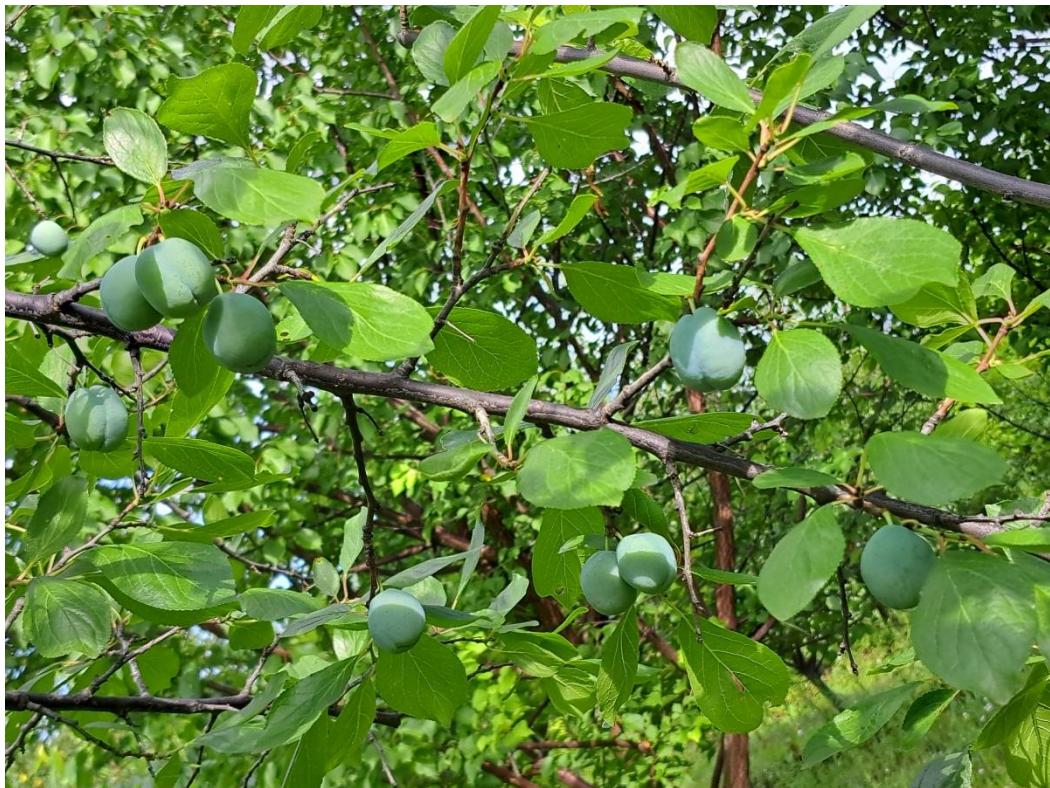
Рисунок 4 – Живые цветки сорта сливы Венгерка заречная весной 2024 г.
после искусственного промораживания при $-3,0^{\circ}\text{C}$



Плодоношение сорта сливы Злато скифов в 2024 г.



Плодоношение сорта сливы Stanley в 2024 г.



Плодоношение сорта сливы Венгерка заречная в 2024 г.



Плодоношение сорта сливы Орловская мечта в 2024 г.



Плодоношение сорта сливы Кубанская комета в 2024 г.



Плодоношение сорта сливы Венгерка белорусская в 2024 г.



Подмерзание однолетних побегов и погибшие цветковые почки сорта сливы

Сувенир Востока зимой 2024/25 г.



Живые цветковые почки сорта сливы Сувенир Востока, весна 2025 г.



Живые цветковые почки сорта сливы Венгерка белорусская, весна 2025 г.



Живые цветковые почки сорта сливы Гек, весна 2025 г.



Живые цветковые почки сорта сливы Орловская мечта, весна 2025 г.



Живые цветковые почки сорта сливы Stanley, весна 2025 г.



Живые цветковые почки сорта сливы Неженка, весна 2025 г.



Живые цветковые почки сорта сливы Скороплодная, весна 2025 г.

АКТ

о внедрении результатов исследований по кандидатской диссертационной работе младшего научного сотрудника ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур»
Болговой Анжелики Олеговны

Настоящий Акт составлен в том, что изученные диссертантом зимостойкие сорта сливы разного генетического происхождения – Венгерка белорусская, Гек, Кубанская комета, Орловская мечта, Скороплодная и Stanley рекомендованы для дальнейшего селекционного использования в ФГБНУ ВНИИСПК.

Директор ФГБНУ ВНИИСПК
доктор с.-х. наук

С.Д. Князев



Заведующая отделом селекции,
сортопитчения и сортовой
агротехники косточковых культур,
кандидат с.-х. наук

А.А. Гуляева

АКТ

о внедрении результатов исследований по кандидатской диссертационной работе младшего научного сотрудника ФГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур»
Болотовой Анжелики Олеговны

Настоящий Акт составлен в том, что изученные диссертантом зимостойкие и высокорентабельные сорта сливы разного генетического происхождения – Венгерка белорусская и Орловская мечта рекомендованы для практического применения в качестве маточных растений.

ИП Глава КФХ

Л.В. Тарасов

