

БОЛГОВА АНЖЕЛИКА ОЛЕГОВНА

**Особенности зимостойкости сливы различного генетического происхождения в
условиях Центральной России**

Специальность 4.1.2 – Селекция, семеноводство и биотехнология растений

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур» (ФГБНУ ВНИИСПК).

Научный руководитель:

Ожерельева Зоя Евгеньевна

кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией физиологии устойчивости плодовых растений ФГБНУ ВНИИСПК, г. Орел

Официальные оппоненты:

Ведущая организация

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности проблемы. Слива (*Prunus*) – ценная косточковая культура. Её плоды содержат до 21% сахаров, 3% кислот, 2,5% пектиновых веществ, 22 мг/100 г витамина С и другие биологически активные соединения (Журавель и др., 2007). Благодаря этому они обладают полезными для здоровья человека противовоспалительными, антиоксидантными и т.д. свойствами (Igwe, Charlton, 2016; Scedei, 2019).

Центральная Россия является зоной рискованного земледелия с точки зрения выращивания косточковых культур (Жученко, 2001). Вследствие чего проблема зимостойкости сливы относится к числу фундаментальных задач. Это связано с воздействием неблагоприятных климатических факторов зимне-весеннего периода. В суровые зимы, особенно с чередованием оттепелей и морозов у сливы сильно подмерзают цветковые почки и деревья. Заморозки во время цветения часто лишают эту культуру урожая (Федулов и др., 2015). В связи с этим изучение устойчивости сливы различного генетического происхождения к неблагоприятным факторам зимне-весеннего периода и выделение зимостойких сортов сохраняет свою актуальность. Использование зимостойких сортов сливы в производстве позволяет значительно улучшить состояние культуры в Центральной России и способствует интенсификации садоводства.

Работа выполнена в ФГБНУ ВНИИСПК при поддержке Государственного задания по теме НИР FGZS-2024-0008.

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 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.

Методология исследований базировалась на анализе и комплексном решении основной проблемы диссертационной работы – оценке зимостойкости сливы разного генетического происхождения на основе обзора отечественных и зарубежных научных публикаций, использовании комплекса классических и современных методов.

Научная новизна. В условиях Центральной России выявили особенности физиолого-биохимических процессов адаптации, проходящие в осенний период у сливы. Установили, что у представителей *Prunus* × *rossica* Erem. и *Prunus salicina* гидролиз крахмала проходил более интенсивно, за счет чего у них значительно увеличилось содержание сахаров в коре однолетних побегов по сравнению с сортами *Prunus 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 на каждом этапе моделирования компонентов зимостойкости. Определили уровень устойчивости сортов сливы к весенним заморозкам. На основе полученных новых знаний об особенностях функциональной сопряженности физиолого-биохимических процессов устойчивости к действию низкотемпературного стресса в зимне-весенний период выделили зимостойкие сорта сливы для селекции и практического применения. Показали экономическую эффективность возделывания сливы зимостойких сортов.

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

Положения, выносимые на защиту:

1. Выявленные особенности функциональной сопряженности физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу в зимне-весенний период 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 сливы являются перспективными для использования в качестве исходных форм в селекции и выращивании в производстве.

Апробация результатов исследования. Материалы диссертации доложены на международных и всероссийских конференциях: «Инновационные технологии в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИСПК, г. Орёл, 2022); «Генетические ресурсы косточковых культур: вчера, сегодня, завтра. Научный онлайн-семинар памяти В.П. Царенко» (ВИР, Санкт-Петербург, 2023); «Физиология растений – методологическая основа растениеводства» (ФГБОУ ВО ОГУ, г. Орёл, 2023); «Проблемы и основные направления развития селекции и сорторазведения плодовых и ягодных культур» (ФГБНУ ВНИИСПК, г. Орёл, 2023 г); «Перспективы отраслевого взаимодействия в комплексной реабилитации» (ФГБОУ ВО ОГУ, г. Орёл, 2023); «Достижения и перспективы молодых учёных в науке» (ФГБНУ ВНИИСПК, г. Орёл, 2023); «Перспективы роста производства и переработки сельскохозяйственной продукции в

АПК России» (ФГБНУ ФНЦ ЗБК, г. Орёл, 2023); «Достижения и перспективы молодых учёных в науке» (ФГБНУ ВНИИСПК, Орёл, 2024 г); «Рациональное использование сырья и создание новых продуктов биотехнологического назначения» (ГАУ, г. Орёл, 2024).

Публикации. Результаты диссертационной работы отражены в публикациях 7 статей, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК, и входящих в международную систему цитирования Scopus.

Благодарности. Соискатель выражает признательность научному руководителю, кандидату с.-х. наук Ожерельевой З.Е. за научные и методические рекомендации, просмотр и редакцию рукописи.

Автор выражает благодарность кандидату с.-х. наук Гуляевой А.А. и научному сотруднику Ефремову И.Н. за помощь в подборе объектов исследований, за ценные советы, кандидату биол. наук Прудникову П.С., младшим научным сотрудникам Ступиной А.Ю. и Андросовой А.В. за помощь в проведении физиолого-биохимических анализов, представленных в данной работе, а также экономисту Есиной О.Н. за помощь в расчете экономической эффективности.

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.

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Дано обоснование актуальности и степени разработанности темы, сформирована цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту.

1. Слива как объект селекционных исследований. Представлен обзор отечественной и зарубежной научной литературы, посвященной сливе как сельскохозяйственной культуре, изучению её зимостойкости. Показана актуальность и необходимость проведения комплексных исследований на основе моделирования повреждающих факторов и физиолого-биохимической диагностики устойчивости к низкотемпературному стрессу, позволяющих выделить зимостойкие для селекции и высокорентабельные сорта сливы для производства.

2. Объекты, условия и методика проведения исследований. Исследования проведены в 2022-2025 гг. на базе лаборатории физиологии устойчивости плодовых растений и участках первичного сортоизучения косточковых культур ВНИИСПК.

Объектами исследований являлись 13 сортов и 1 элитный сеянец (ЭЛС) сливы из биоресурсной коллекции ВНИИСПК.

Условия проведения исследований. В зимне-весенние периоды 2023-2025 гг. сложились неблагоприятные погодные условия для косточковых культур. Так, в зимние месяцы отмечены перепады температуры после продолжительных оттепелей. В период цветения и завязывания плодов отмечены весенние заморозки. Летом и осенью распределение осадков и температуры было неравномерное (рисунок 1).

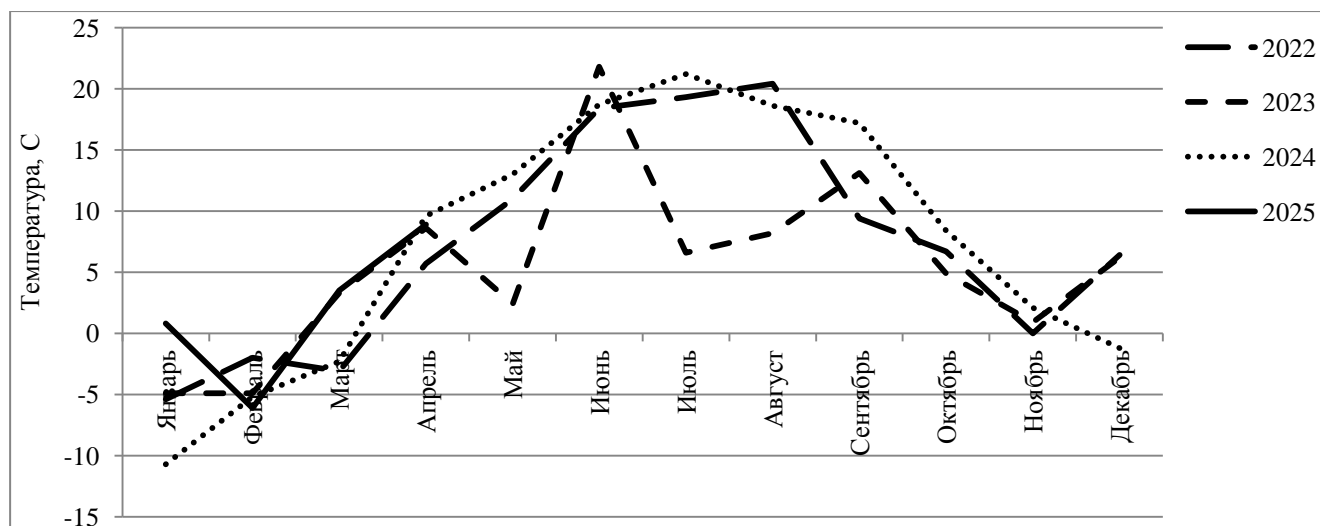


Рисунок 1 – Среднесуточная температура воздуха, °С (данные метеопоста ВНИИСПК)

Методы и методики исследований. Определение перехода сортов сливы в период глубокого покоя определялось методом отращивания. Для изучения компонентов зимостойкости в конце ноября срезали многолетние ветви сливы из расчёта 5 шт. на каждую температуру промораживания. Моделирование компонентов зимостойкости провели в климатической камере, согласно рекомендациям (Тюрина и др., 2002). Фракционный состав воды однолетних побегов определяли методом Окунцева-Маринчик (Ожерельева и др., 2019). Активность амилазы установили по количеству гидролизованного ферментом крахмала (Ермаков, 1987), количество крахмала в коре однолетних побегов сливы определяли согласно методике (Кабашникова и др., 2003). Содержание сахаров в коре однолетних побегов сливы установили на основе резорцинового реактива (Туркина, Соколова, 1972), содержание пролина по реакции с реагентом нингидрина (Bates et al., 1973). Провели анализ образования продукта перекисного окисления липидов – малонового диальдегида (МДА) (Стальная, Гаришвили, 1977); активности ферментов антиоксидантной системы пероксидаза (Ермаков и др., 1987), каталаза (Аслидинов и др., 1995). Оценку устойчивости генеративных органов сливы к весенним заморозкам провели согласно методическим рекомендациям (Леонченко и др., 2007).

Экспериментальные данные обработаны методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием программного пакета MS Excel. Экономическая оценка эффективности сортов сливы осуществлена в соответствии с методикой (Дядченко, Шейкина, 1999).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Изучение физиолого-биохимических процессов адаптации сливы разного генетического происхождения в осенний период. На основе проведённых наблюдений показано, что изученные 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, Stanley.

В осенний период для изученных сортов сливы характерно увеличение 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 представителей *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 свободного пролина 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*.

Корреляционный анализ показал, что динамика физиолого-биохимических показателей адаптивности сортов сливы зависела от погодных условий осеннего периода (таблица 1).

Так, повышение уровня связанной воды в однолетних побегах сортов сливы зависело от суммы осадков и от температуры воздуха. Содержание суммы сахаров в большей степени зависело от температурного режима в осенние месяцы, чем от количества выпавших осадков. 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.

Таблица 1 – Зависимость между физиолого-биохимическими показателями адаптации сливы 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 связанной 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 связанной 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 сырой массы	0,75	0,70	0,95	-0,99
	Активность амилазы, мг крахмала·ч/г	0,81	0,75	0,97	-0,99
2024	Доля связанной 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	0,97
	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

3.2. Оценка зимостойкости сортов сливы в полевых условиях. Возможность эффективного возделывания сортов сливы определяется, прежде всего, зимостойкостью цветковых почек. В полевых условиях зимостойкость цветковых почек проявили сорта *P. domestica* – Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21, Stanley; *P. × rossica* – Гек, Злато скифов, Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная, Неженка, ЭЛС 18473 (таблица 2).

Деревья при этом значительных повреждений не имели. Исключением послужил сорт Сувенир Востока, у которого в 2025 г. сильно подмерзли кора, камбий и древесина однолетних побегов (4,0-5,0 балла).

Таблица 2 – Доля погибших цветковых почек сливы в полевых условиях, %

Сорт	Доля погибших зачатков 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

3.3. Оценка зимостойкости сортов сливы в контролируемых условиях. Максимальную морозостойкость в условиях II компонента зимостойкости выявили у сортов Венгерка белорусская, Гек, Кубанская комета, Орловская мечта, Скороплодная, Stanley. У них зафиксированы минимальные повреждения вегетативных почек и коры однолетних побегов. Гибель генеративных почек при -30°C не превысила 31,0% (таблица 3).

Таблица 3 – Степень подмерзания почек и тканей однолетних побегов сливы при -30°C (II компонент), (2022-2024 гг.)

Сорт	Кора	Камбий	Древесина	Вегетативные почки	Доля погибших цветковых зачатков, %
	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
<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
Злато скифов	1,0	0,0	0,0	1,0	38,7
Кубанская комета	0,0	0,0	0,0	1,0	30,0
НСР ₀₅	0,4	F _ф < F _т	-	0,6	17,7

В результате проведенных исследований выявлен потенциал устойчивости сортов сливы по основным компонентам зимостойкости (таблица 4). Сорта Венгерка белорусская, Гек, Кубанская комета, Орловская мечта, Скороплодная, Stanley обладали всеми компонентами зимостойкости и без существенных повреждений выдерживали -

25°C в начале зимы и -30°C в середине зимы, -20°C после оттепели +2°C зимой и -25°C при повторной закалке после оттепели +2°C в конце зимы.

Таблица 4 – Компоненты зимостойкости изученных сортов сливы

Сорт	Компоненты зимостойкости			
	I	II	III	IV
<i>P. domestica</i>				
Венгерка белорусская	+	+	+	+
Венгерка заречная	+		+	
Евразия 21	+		+	
Золотое руно	+			
Stanley	+	+	+	+
<i>P. salicina</i>				
Орловская мечта	+	+	+	+
Неженка	+			
Сувенир Востока	+			
ЭЛС 18473	+			
Скороплодная	+	+	+	+
<i>P. × rossica</i>				
Ветразь	+		+	+
Гек	+	+	+	+
Злато скифов	+		+	+
Кубанская комета	+	+	+	+

+ сорта, характеризующие максимальным потенциалом морозостойкости

1.1. Изучение физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу сливы при I компоненте. У сортов сливы установили физиолого-биохимическую устойчивость при действии температуры -25°C на фоне снижения интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) (таблица 5) за счет повышения активности антиоксидантного фермента каталаза и содержания низкомолекулярных соединений – пролин и сахара.

Таблица 5 – Содержание МДА в коре однолетних побегов сливы, 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
Злато 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 $F_{\phi} < F_T$ B $HCP_{05}=2,11$ AB $F_{\phi} < F_T$		

Так, у сортов *P. × rossica* – Ветразь, Гек, Злато скифов в начале зимы после действия температуры -25°C увеличилась активность каталазы на 6,2-11,0%, у *P. domestica* – Венгерка белорусская на 15,0%, Золотое руно в 2,8 раза и Stanley на 16,8% по сравнению с закалкой. При этом в большей степени активность каталазы повысилась у *P. salicina*: Неженка – на 29,6%, Орловская мечта – на 9,3%, Сувенир Востока – в 2,8 раза и Скороплодная – в 4,6 раза (рисунок 2).

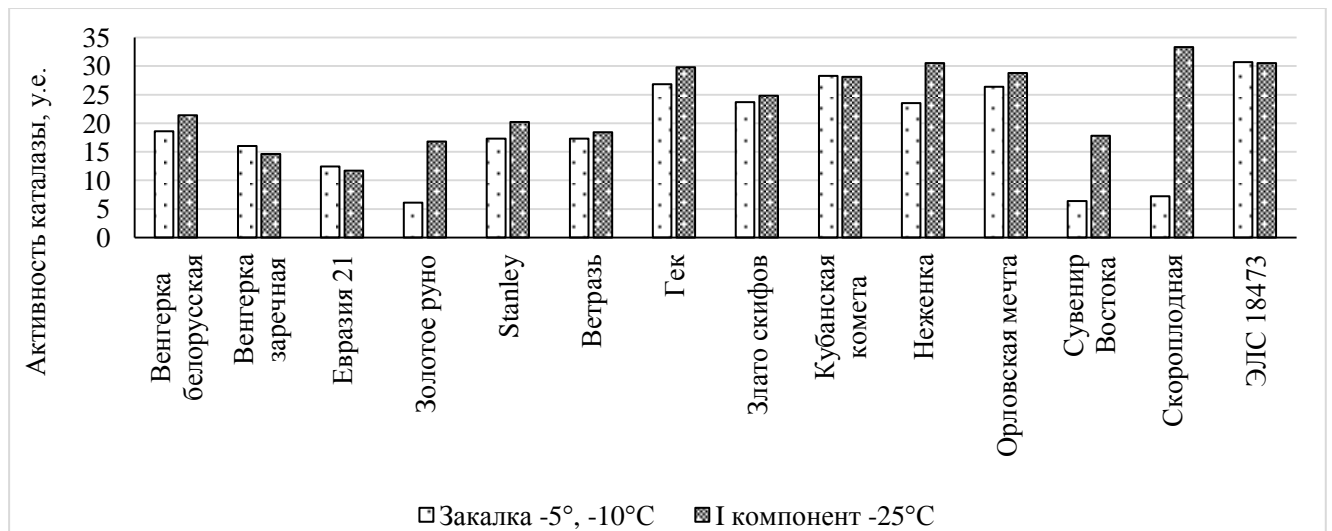


Рисунок 2 – Активность каталазы в коре однолетних побегов сливы, у.е. (2022-2024 гг.)

1.2. Изучение физиолого-биохимических процессов устойчивости к низкотемпературному стрессу сливы при II компоненте. В условиях II компонента зимостойкости при -30°C интенсивность перекисного окисления липидов 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 6), этому способствовало повышение активности ферментов пероксидаза и каталаза, которые нейтрализуют АФК, предотвращая тем самым значительные повреждения клеточных мембран у растений.

Таблица 6 – Содержание МДА в коре однолетних побегов сливы, мкМоль/г (2022-2024 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В	
	Закалка $-5^{\circ}, -10^{\circ}\text{C}$	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
Злато 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 $F_{\phi} < F_T$ B $HCP_{05} = 2,11$ AB $F_{\phi} < F_T$		

Активность фермента пероксидазы при II компоненте повысилась у сортов *P. × rossica* – на 52,5%, *P. salicina* – на 54,2% и *P. domestica* – на 70,1% по сравнению с закалкой (рисунок 3).

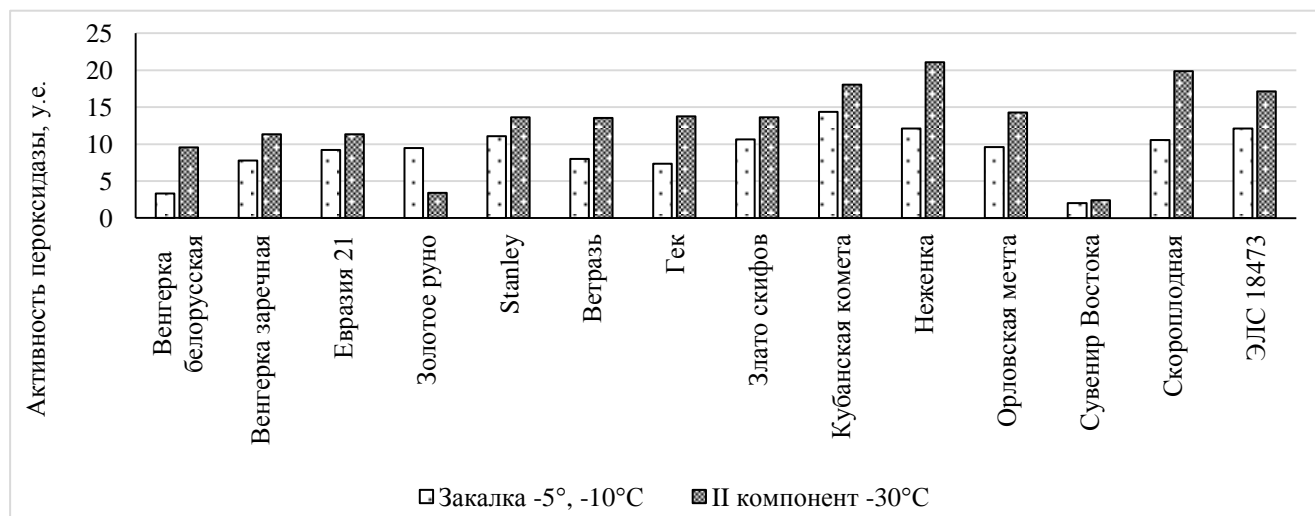


Рисунок 3 – Активность пероксидазы в коре однолетних побегов сливы, у.е. (2022-2024 гг.)

К тому же у сортов сливы после действия температуры -30°C увеличивается активность каталазы на 5,61-19,74% против закалки. При этом в большей степени активность каталазы повысилась на 7,5-58,65% у представителей *P. salicina* (рисунок 4). У сорта Золотое руно, установили существенное в 3,2 раза понижение активности каталазы, как и фермента пероксидазы, что может свидетельствовать о повреждении мембранного аппарата растительных клеток у этого сорта. В подтверждении этого на фоне резкого снижения активности ферментов у данного сорта отметили повышение в 1,8 раза содержания МДА в коре однолетних побегов (таблица 6).

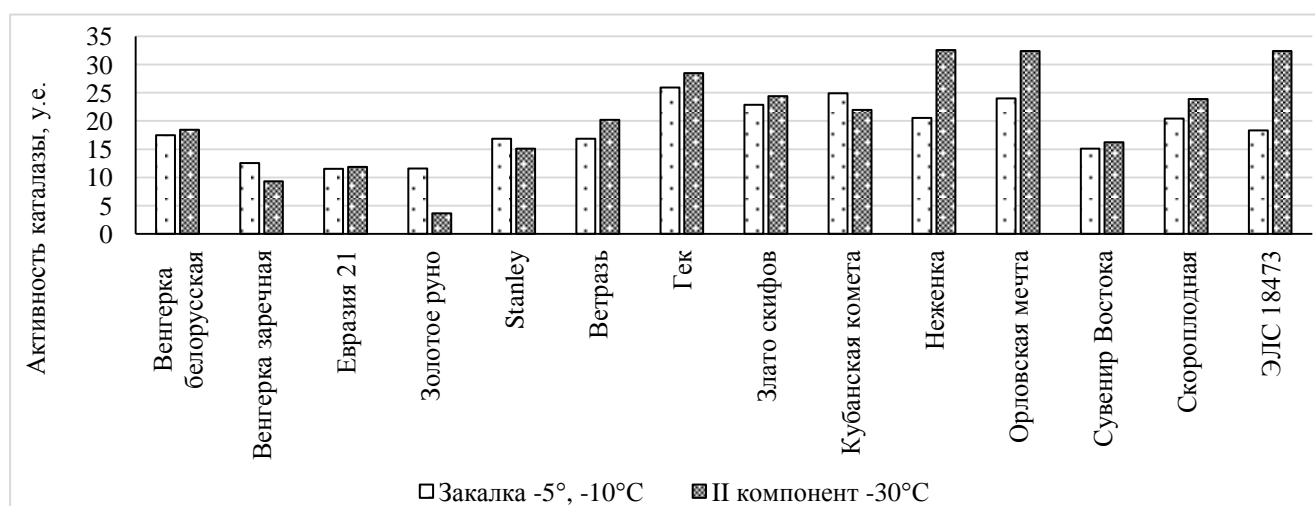


Рисунок 4 – Активность каталазы в коре однолетних побегов сливы, у.е. (2022-2024 гг.)

Определение содержания низкомолекулярных соединений показало существенное повышение на 47,2% пролина в коре однолетних побегов сортов *P. × rossica*, *P. salicina* – на 32,3% и *P. domestica* на 10,6% по сравнению с вариантом закалка (рисунок 5). При этом у сливы выявили снижение в 1,3-2,6 раза количество сахаров в коре однолетних побегов, вероятно, из-за участия в синтезе белка в условиях гипотермии.

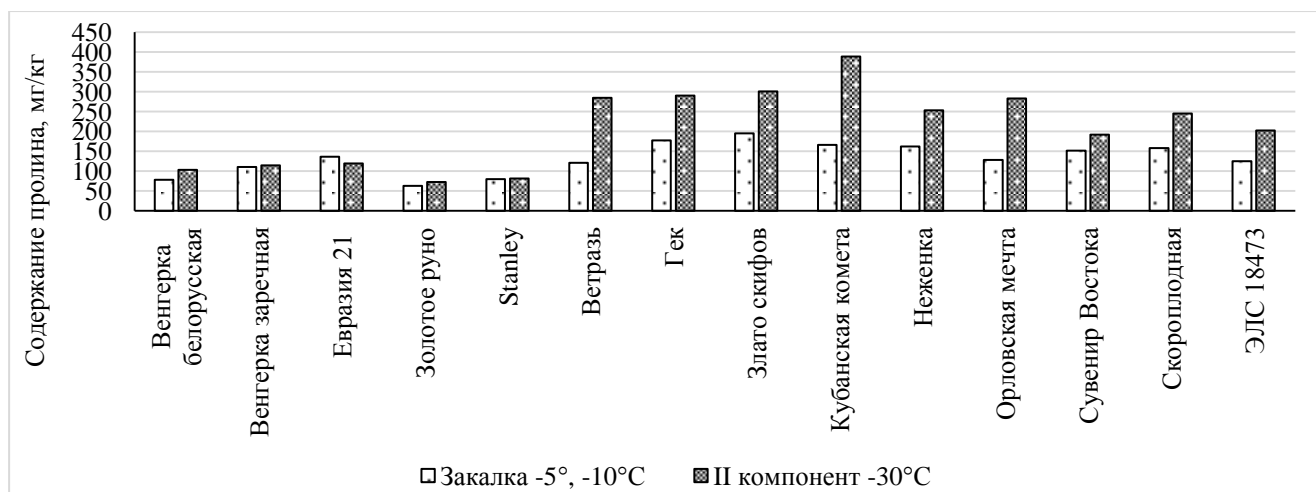


Рисунок 5 – Содержание пролина в коре однолетних побегов сливы, мг/кг (2022-2024 гг.)

Таким образом, на основе изучения интенсивности процессов ПОЛ, активности антиоксидантных ферментов и содержания низкомолекулярных соединений выявлена физиолого-биохимическая устойчивость ко II компоненту зимостойкости у сортов *P. × rossica* – Ветразь, Гек, Кубанская комета; *P. domestica* – Венгерка белорусская, Евразия 21, Stanley; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная.

1.3. Изучение физиолого-биохимических процессов устойчивости сливы при III компоненте. В феврале при снижении температуры до -20°C у сортов Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Ветразь, Гек, Евразия 21, Злато скифов, Кубанская комета, Неженка, Орловская мечта, Скороплодная интенсивность перекисного окисления мембранных липидов снизилась в 1,1-2,5 раза по сравнению с оттепелью (таблица 7), что свидетельствует о наличии устойчивости клеточных мембран при резких перепадах температуры за счет повышения активности пероксидазы.

Таблица 7 – Содержание МДА в коре однолетних побегах сливы, 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 $F_{\phi} < F$ B $F_{\phi} < F_T$ AB $F_{\phi} < F_T$			

Так, при III компоненте зимостойкости активность пероксидазы повысилась в 2,6 раза у сортов *P. × rossica*, у сортов *P. domestica* в 13,2 раза и *P. salicina* в 8,2 раза против

оттепели (рисунок 6). Резкое снижение температуры до -20°C после оттепели вызвало у сортов сливы повышение на 6,40-44,19% содержания пролина.

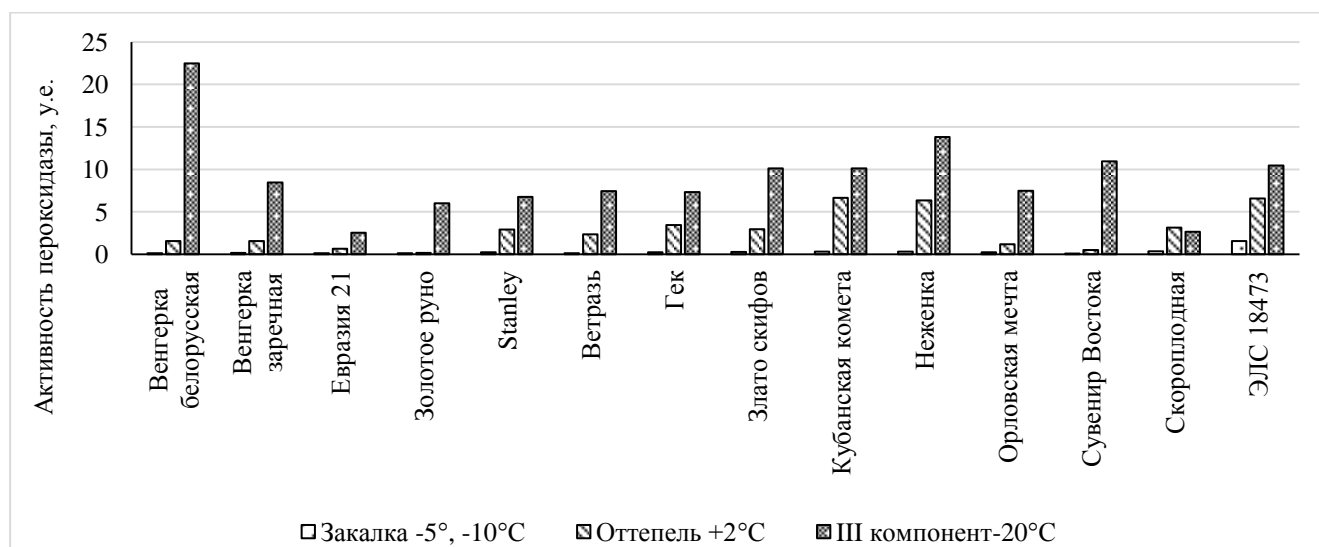


Рисунок 6 – Активность пероксидазы в коре однолетних побегов сливы, у.е. (2023-2025 гг.)

Таким образом, оценка активности пероксидазы, содержания низкомолекулярных соединений и уровня ПОЛ позволила выявить физиолого-биохимическую устойчивость к III компоненту зимостойкости у сортов: *P. × rossica* – Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета; *P. domestica* – Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21, Stanley; *P. salicina* – Неженка, Орловская мечта, Скороплодная.

1.4. Изучение физиолого-биохимических процессов устойчивости сливы при IV компоненте. При понижении температуры до -25°C после оттепели и повторной закалики наблюдали существенное снижение образования МДА в коре однолетних побегов в 1,7-2,2 раза, что может свидетельствовать о наличии устойчивости мембранных липидов у сортов сливы (таблица 8).

Таблица 8 – Содержание МДА в коре однолетних побегов сливы, мкмоль/г (2023-2025 гг.)

Фактор А, сорт	Фактор В			
	Закалка $-5^{\circ}, -10^{\circ}\text{C}$	Оттепель $+2^{\circ}\text{C}$	Повторная закалка $-5^{\circ}, -10^{\circ}\text{C}$	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 $F_{\phi} < F_T$ B $HCP_{05} = 2,08$ AB $F_{\phi} < F_T$				

При этом интенсивность разложения пероксида водорода пероксидазой снизилась у сортов *P. × rossica* в 1,3 раза, *P. salicina* 1,7 раза и *P. domestica* в 1,2 раза за счет снижения интенсивности обменных процессов в условиях низкотемпературного стресса. Активность пероксидазы снизилась, возможно, из-за того, что в нейтрализации образования АФК в большей степени участвовал другой фермент каталазы. Так, при снижении температуры до -25 °С активность каталазы существенно увеличилась в 3,5 раза у сортов *P. × rossica*, *P. domestica* в 2,6 раза и *P. salicina* в 3,3 раза, что может указывать на достаточно высокую степень антиоксидантной защиты у них (рисунок 7).

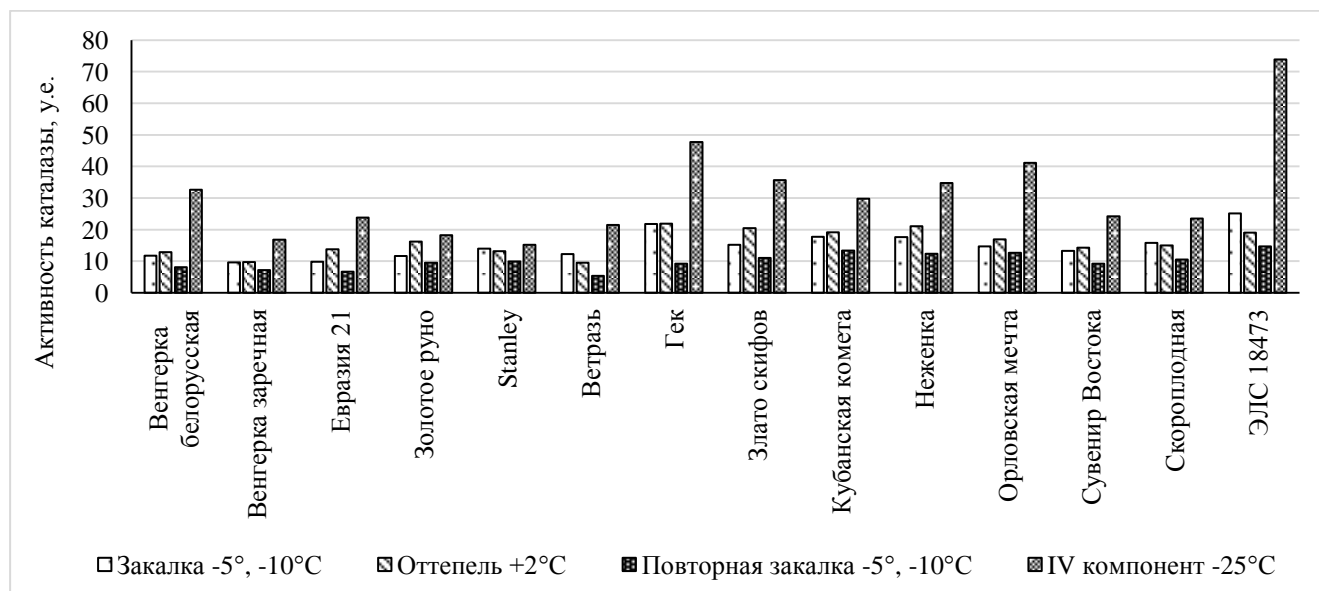


Рисунок 7 – Активность каталазы в коре однолетних побегов сливы, у.е. (2023-2025 гг.)

К тому же в нейтрализации АФК участвовал низкомолекулярный антиоксидант пролин. Его содержание снизилось у сортов сливы в 1,2-1,9 раза (рисунок 8).

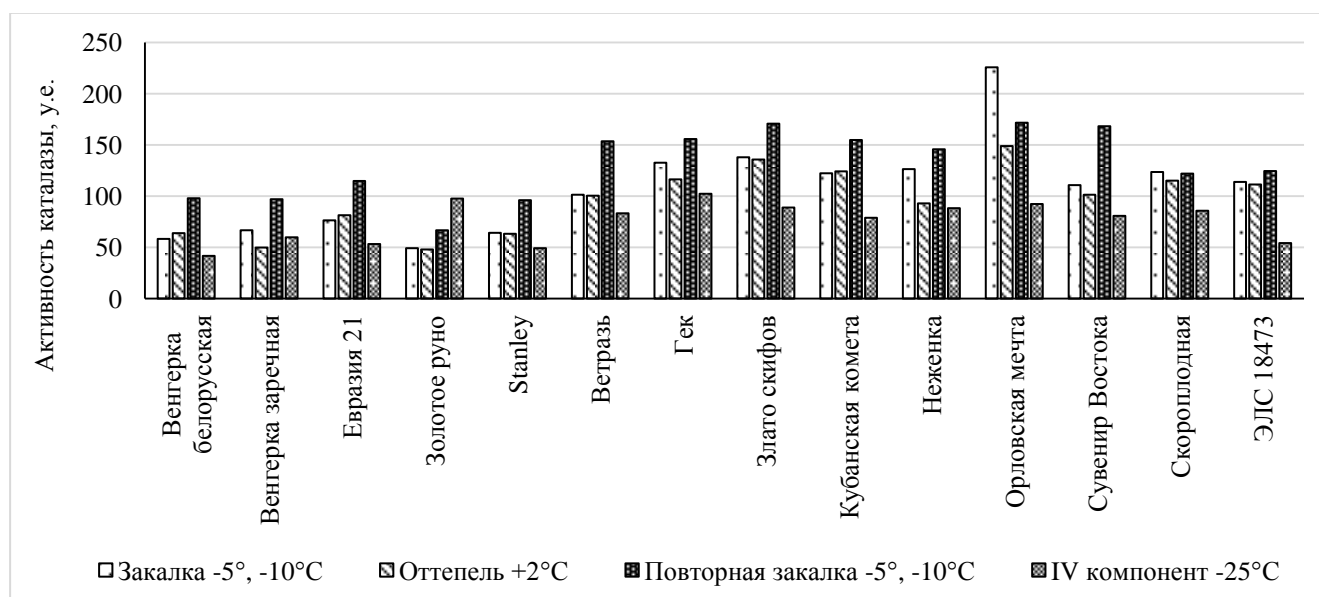


Рисунок 8 – Содержание пролина в коре однолетних побегов сливы, мг/кг (2023-2025 гг.)

Изучение физиолого-биохимических процессов адаптации сливы разного генетического происхождения в зимний период 2024/25 гг. 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 тканях однолетних побегов сливы значительно повысилась доля свободной воды (рисунок 9), и снизилось содержание низкомолекулярных соединений, что говорит о повышении активности метаболических процессов.

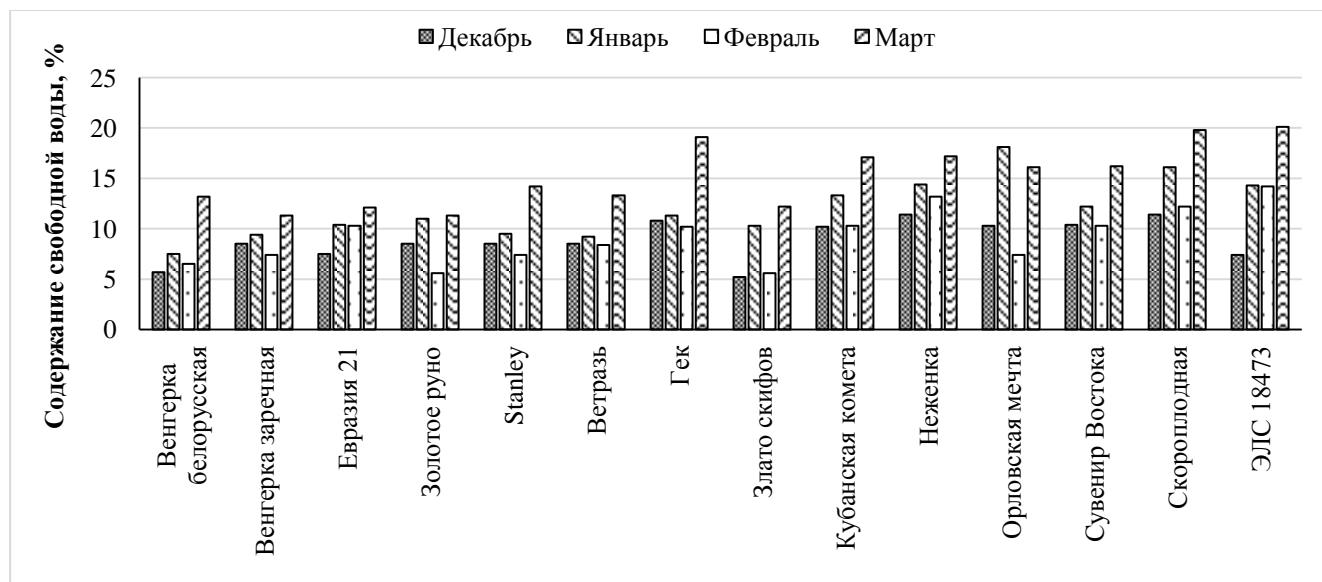


Рисунок 9 – Содержание свободной воды в однолетних побегах сливы, %

Так, при наступлении весны отметили повышение содержания сахаров и пролина (рисунок 10, 11), которые необходимы для роста и развития растений в качестве энергетического и строительного материала. Повысилась доля и свободной воды в однолетних побегах сливы, которая определяет активность физиологических процессов, в растительном организме являясь растворителем и основным транспортером питательных веществ в органы растений.

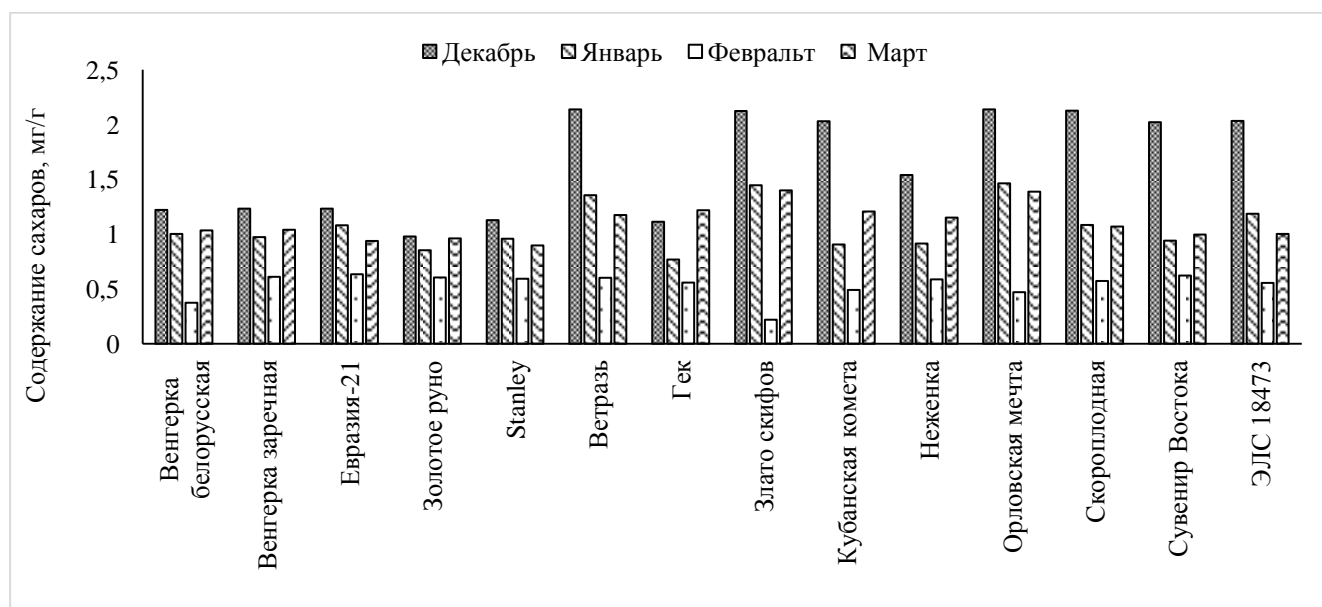


Рисунок 10 – Содержание сахаров в коре однолетних побегов сливы, мг/г

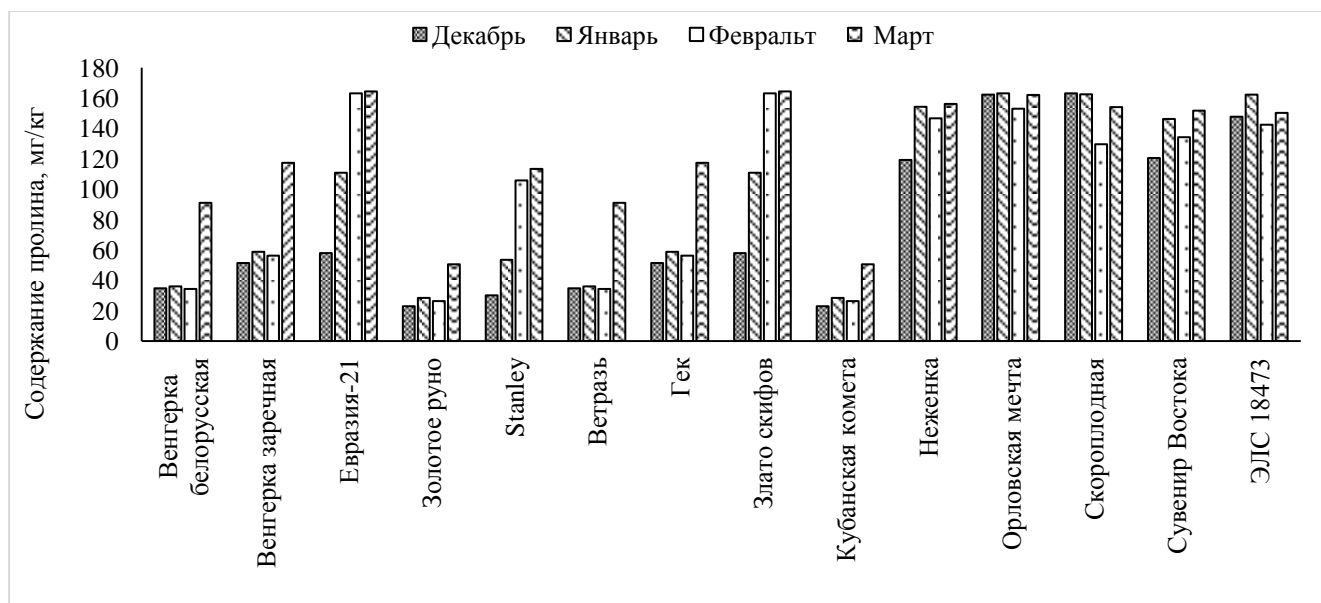


Рисунок 11 – Содержание пролина в коре однолетних побегов сливы, мг/кг

Изучение устойчивости цветков и бутонов сливы к весенним заморозкам в полевых условиях. В 2023 году снижение температуры воздуха до $-4,2^{\circ}\text{C}$ и $-3,0^{\circ}\text{C}$ привело к повреждению цветков от 18,9 до 66,4%. Максимальный уровень устойчивости цветков отмечен у сортов Кубанская комета, Скороплодная и Орловская мечта. Сильнее, чем у других сортов цветки повредились (более 50%) у сорта Неженка и ЭЛС 18473 (рисунок 12). Несмотря на хорошую и среднюю степень цветения (4,0-3,0 балла) сливы, только некоторые сорта Гек, Злато скифов, Скороплодная имели низкий урожай от 1,1 до 2,5 кг/дер. Сорт Орловская мечта характеризовался максимальной величиной урожайности – 6,1 кг/дер. У остальных сортов сливы урожай отсутствовал (таблица 14).

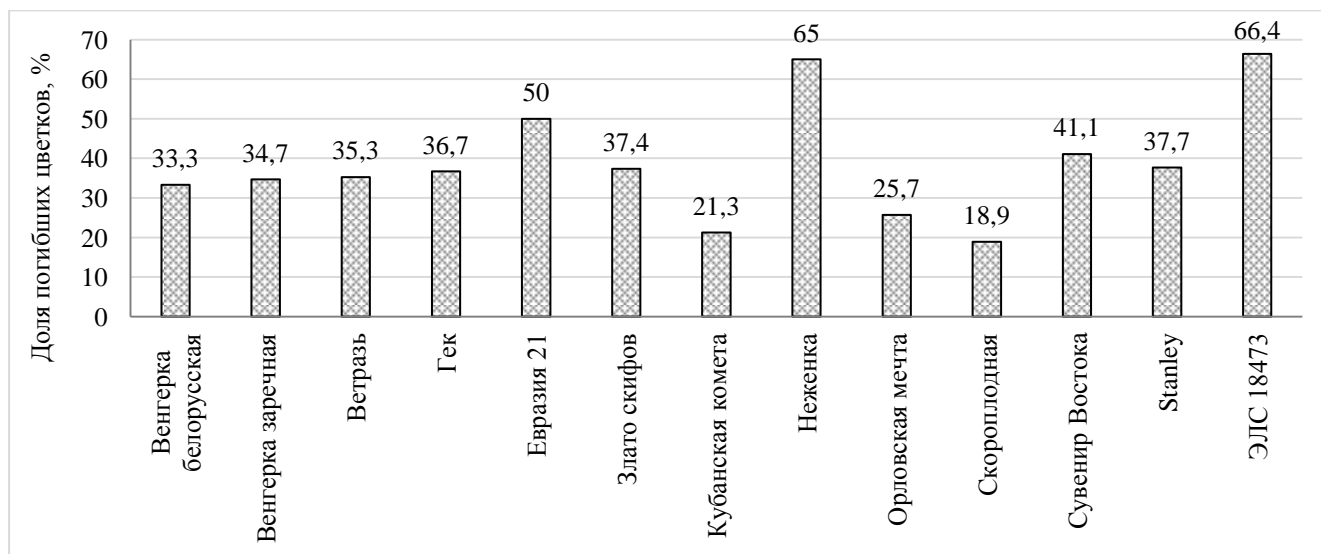


Рисунок 12 – Доля погибших цветков сортов сливы при $-4,2^{\circ}\text{C}$, % ($\text{НСР}_{05}=13,8$)

В 2024 году снижение температуры воздуха до $-6,0^{\circ}\text{C}$ наблюдали, когда у большинства сортов сливы уже образовалась завязь. При этом высокую устойчивость завязи проявили сорта сливы Гек, Злато скифов, Кубанская комета, Орловская мечта. Хорошую устойчивость завязи показали сорта Венгерка заречная, Евразия 21,

Скороплодная. У поздних сортов Венгерка белорусская, Stanley на момент наступления заморозков наблюдали фенофазу «обособление бутонов». При этом у сорта Венгерка белорусская бутоны не повредились. У сорта Stanley бутоны повредились незначительно (рисунок 13).

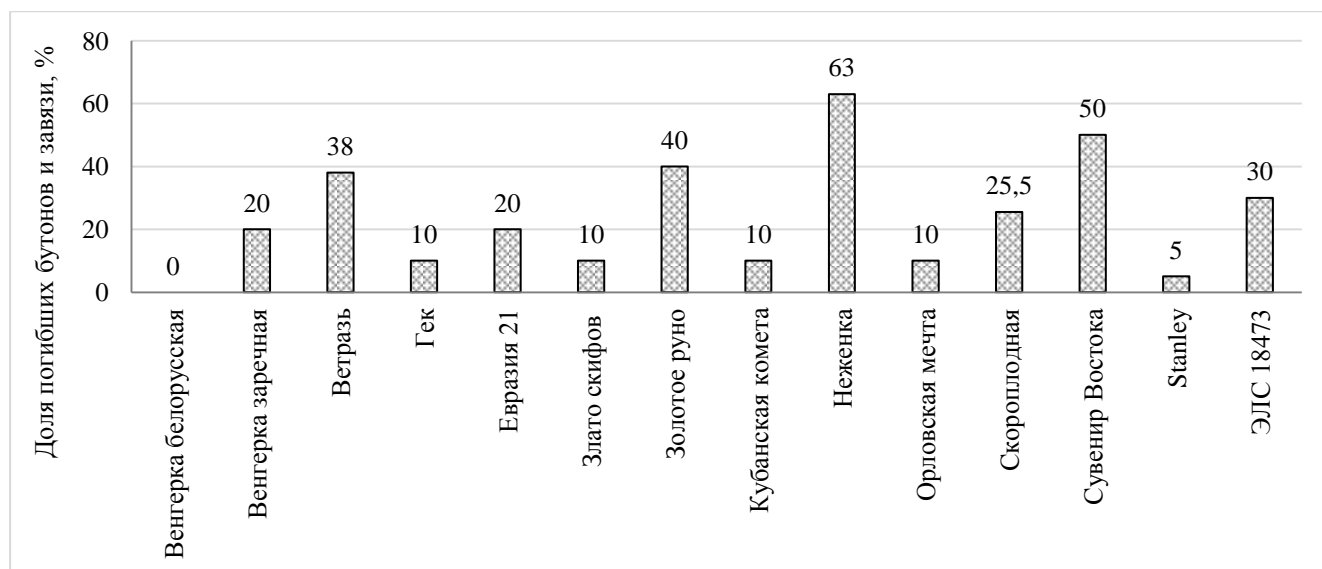


Рисунок 13 – Доля погибших бутонов и завязи сортов сливы при -6°C, % (НСР₀₅=10,9)

Несмотря, на неблагоприятные погодные условия весной 2024 года, во время цветения и завязывания плодов, 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, Скороплодная, Stanley. Максимальную урожайность (16,9 кг/дер) отметили у сорта Венгерка белорусская. Низкую урожайность (1,1-4,7 кг/дер) имели сорта Ветразь, Золотое руно, Неженка, Сувенир Востока, ЭЛС 18473 (рисунок 14).

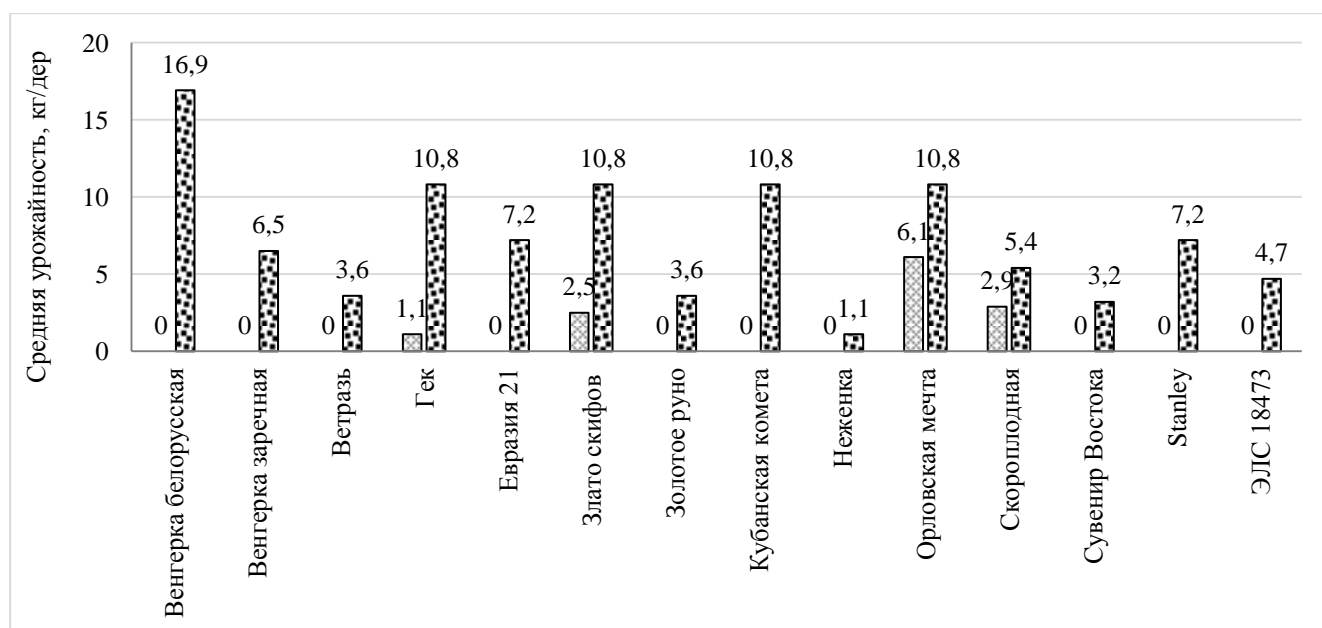


Рисунок 14 – Средняя урожайность сортов сливы, кг/дер (2023-2024 гг.)
Данные лаборатории селекции и сортоизучения косточковых культур.

Таким образом, в полевых условиях наибольший уровень устойчивости к весенним заморозкам показали сорта *P. domestica* – Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21 и Stanley; *P. × rossica* – Гек, Злато скифов, Кубанская комета; *P. salicina* – Орловская мечта и Скороплодная.

Устойчивость к весенним заморозкам сливы в контролируемых условиях. Опыты по искусственному промораживанию выявили сорта с высокой устойчивостью цветков и бутонов после действия температуры -3°C – Гек, Орловская мечта, Скороплодная. У сортов Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Ветразь, Stanley, Кубанской кометы погибших бутонов было не более 20% и цветков не более 26,3%. После действия температуры $-4,0^{\circ}\text{C}$ высокую устойчивость бутонов (погибло не более 25%) отметили у сортов Ветразь, Орловская мечта, Stanley. Средний уровень устойчивости бутонов (погибло от 25 до 50%) выявили у сортов сливы Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Гек, Злато скифов, Евразия 21, Кубанская комета, Скороплодная, Сувенир Востока. При этом средним уровнем устойчивости цветков характеризовались сорта Венгерка белорусская, Ветразь, Гек, Кубанская комета, Орловская мечта, Скороплодная, Stanley. При снижении температуры до -5°C выделили сорта Венгерка белорусская, Ветразь, Гек, Кубанская комета, Орловская мечта, Скороплодная, Stanley, которые показали наибольшую морозостойкость цветков и бутонов (таблица 9).

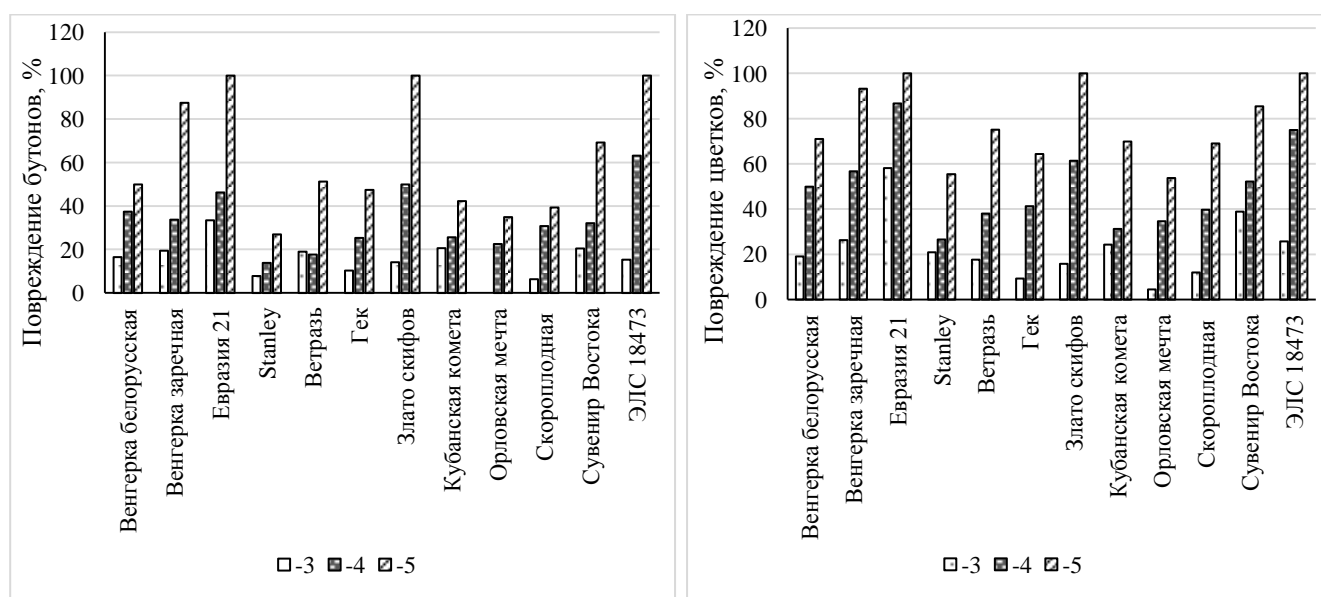


Таблица 9 – Доля поврежденных цветков и бутонов у сливы в контролируемых условиях, % (2022-2024 гг.)

Таким образом, в результате оценки устойчивости 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

В результате расчета экономической эффективности очень высокую рентабельность показали сорта сливы Венгерка белорусская, Кубанская комета, Орловская мечта. Сорт Гек показал хороший уровень рентабельности. Другие сорта

Скороплодная, Stanley характеризовались средним уровнем рентабельности (таблица 10).

Таблица 10 – 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
Злато 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 сопряженности физиолого-биохимических процессов устойчивости к действию низкотемпературного стресса в зимне-весенний период.

В результате 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.

В полевых условиях высокий уровень зимостойкости установили у сортов сливы *P. domestica* – Венгерка белорусская; Венгерка заречная, Евразия 21, Stanley; *P. × rossica* – Гек, Злато скифов, 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, Скороплодная; *P. domestica* – Венгерка белорусская, 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 ферментативных компонентов антиоксидантной системы защиты и низкомолекулярных осмопротекторов выявили максимальную физиолого-биохимическую устойчивость по четырем компонентам зимостойкости у сортов *P. × rossica* – Ветразь, Гек, Кубанская комета; *P. salicina* – Венгерка белорусская, Евразия 21, Stanley; *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная.

На основе 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.

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

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

Разработка темы диссертации в дальнейшем связана с продолжением комплексных исследований гибридных форм сливы из биоресурсной коллекции ВНИИСПК с целью выделения новых адаптивных генотипов.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований установили, что у представителей *P. × rossica* – Ветразь, Гек, Кубанская комета и *P. salicina* – Орловская мечта, Скороплодная адаптивные процессы осенью проходили интенсивнее.

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

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

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

4. Выделили устойчивые к весенним заморозкам сорта сливы: *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; *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 весенним 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, Орловская мечта, которые обладали высокой рентабельностью за счет максимальной устойчивости к низкотемпературному стрессу и урожайности.

Список работ, опубликованных по теме диссертации в журналах, рекомендованных ВАК, индексируемых в базе Scopus

1. Ожерельева, З.Е. Выделение источников высокой устойчивости бутонов и цветков к поздневесенним заморозкам для селекции сливы / З.Е. Ожерельева, **А.О. Болгова**, А.А. Гуляева // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36. № 10. – С. 49-53. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_10_49. EDN HJTHQP.
2. Ожерельева, З.Е. Выделение для селекционного использования устойчивых к весенним заморозкам сортов сливы из биоресурсной коллекции ВНИИСПК / З.Е. Ожерельева, **А.О. Болгова** // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 6. – С. 65-70. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/6/65-70>. – EDN WQZSXV.
3. **Болгова, А.О.** Изучение физиолого-биохимических показателей адаптивности сливы в осенний период / А.О. Болгова, З.Е. Ожерельева // Современное садоводство. – 2024. – № 4. – С. 75-87. EDN CSKEFQ.
4. Ozherelieva, Z. Changes in water content and carbohydrate metabolism in the annual shoots of contrasting plum varieties in the autumn period / Z. Ozherelieva, **A. Bolgova** // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 139. – P. 02002. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413902002>. EDN ZJNPZF

Другие издания

5. **Болгова, А.О.** Достижения селекции в выведении зимостойких сортов сливы (обзор) / А.О. Болгова // Актуальные вопросы и инновационные направления развития АПК глазами молодых ученых: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Орел, 24–26 ноября 2021 года. – Орел: Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур, 2021. – С. 18-22. EDN PXLDR.
6. **Болгова, А.О.** Влияние возвратных заморозков на генеративные органы сливы (*Prunus* L.) / А.О. Болгова // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2022. – Т. 9. № 1. – С. 22-26. https://doi.org/10.24411/25000454_2022_0104. EDN USTIMI.
7. **Болгова, А.О.** Особенности углеводного обмена косточковых культур биоресурсной коллекции ВНИИСПК в зимний период / А. О. Болгова // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2023. – Т. 10, № 1. – С. 32-36. – EDN EEUIWM.