

УДК 634.22

## ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АДАПТИВНОСТИ СЛИВЫ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

А.О. Болгова<sup>1</sup> , З.Е. Ожерельева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур», 302530, Россия, Орловская область, Орловский МО, д. Жилина, [info@vniispk.ru](mailto:info@vniispk.ru)

### Аннотация

В статье представлены результаты изучения в осенний период адаптивности сортов сливы на основе определения в коре однолетних побегов содержания низкомолекулярных осмопротекторов и фракционного состава воды. В качестве объектов исследования были использованы сорта сливы различного генетического происхождения из биоресурсной коллекции ВНИИСПК: *Prunus × rossica* Erem., *Prunus salicina* и *Prunus domestica*. В результате проведенных исследований установлено, что к концу осени наблюдалось увеличение количества связанной воды и снижение свободной в однолетних побегах, что предположительно повысит устойчивость сливы к низкотемпературному стрессу зимой. У сортов *Prunus domestica* Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21 и Stanley содержание свободного пролина возросло к концу осени в 1,2...3,3 раза по сравнению с началом. У сортов *Prunus salicina* к концу ноября количество пролина возросло в 2,4 раза, а у сортов *Prunus × rossica* Erem. в 1,8 раза по сравнению с показателями сентября. Содержание сахаров в коре однолетних побегов сортов *Prunus domestica* и *Prunus × rossica* Erem. увеличилось к концу осени в 1,3...1,9 раза, *Prunus salicina* в 1,6...2,1 раза. При этом сорта *Prunus salicina* и *Prunus × rossica* Erem. накопили в 1,3 раза больше сахаров, чем сорта *Prunus domestica*. Таким образом, у более зимостойких сортов *Prunus × rossica* Erem. – Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета и *Prunus salicina* – Неженка, Орловская мечта, Скороплодная, Сувенир Востока, ЭЛС 18476 адаптивные процессы осенью проходили интенсивнее. Среди генотипов *Prunus domestica* выделили сорта Венгерка белорусская, Евразия 21 и Stanley, которые показали более высокую интенсивность обменных процессов при прохождении закалки осенью. Полученные результаты позволяют провести диагностику устойчивости к низкотемпературному стрессу сливы на основе комплексного использования физиолого-биохимических показателей адаптивности.

**Ключевые слова:** *Prunus domestica*, *Prunus salicina*, *Prunus × rossica* Erem., сорт, пролин, крахмал, активность амилазы, сахара, фракционный состав воды

## STUDYING PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF PLUM ADAPTABILITY IN AUTUMN

A.O. Bolgova<sup>1</sup> , Z.E. Ozherelieva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK), 302530, Russia, Orel region, Orel MO, Zhilina, VNIISPK, [info@vniispk.ru](mailto:info@vniispk.ru)

### Abstract

The article presents the results of studying the adaptability of plum cultivars in the autumn period based on the determination of the content of osmoprotectors of low molecular weight and the fractional composition of water in the bark of annual shoots. Plum cultivars of various genetic origin from the VNIISPK bioresource collection were used as the objects of research: *Prunus × rossica*

Erem., *Prunus salicina* and *Prunus domestica*. As a result of the conducted studies, it was found that by the end of autumn there was an increase in the amount of bound water and a decrease in free water in annual shoots, which presumably would increase the plum's resistance to low-temperature stress in winter. In the *Prunus domestica* cultivars such as 'Vengerka Belorusskaya', 'Vengerka Zarechnaya', 'Evrasia 21' and 'Stanley', the content of free proline increased by 1.2–3.3 times by the end of autumn compared with the beginning of autumn. The amount of proline in *Prunus salicina* cultivars increased by 2.4 times, and in *Prunus × rossica* Erem. cultivars by 1.8 times by the end of November compared to September. The sugar content in the bark of annual shoots of *Prunus domestica* and *Prunus × rossica* Erem. increased by the end of autumn by 1.3–1.9 times, while in *Prunus salicina* it increased by 1.6–2.1 times. At the same time, the *Prunus salicina* and *Prunus × rossica* Erem. cultivars accumulated sugars by 1.3 times more than the *Prunus domestica* cultivars. Thus, in the more winter-hardy *Prunus × rossica* Erem. cultivars ('Vetraz', 'Gek', 'Zolotoe Runo', 'Kubanskaya Kometa') and *Prunus salicina* ('Nezhenka', 'Orlovskaya Mechta', 'Skoroplodnaya', 'Souvenir Vostoka' and ELS 18476) the adaptive processes were more intensive in autumn. Among the genotypes of *Prunus domestica*, 'Vengerka Belorusskaya', 'Evrasia 21' and 'Stanley' were distinguished, since they showed a higher intensity of metabolic processes during hardening in autumn. The obtained results make it possible to diagnose plum resistance to low-temperature stress based on the integrated use of physiological and biochemical indicators of adaptability.

**Key words:** *Prunus domestica*, *Prunus salicina*, *Prunus × rossica* Erem., cultivar, adaptability, proline, starch, amylase activity, sugars, fractional composition of water

### Введение

Слива (*Prunus*) – одна из важнейших плодовых культур, выращиваемых в средней полосе России. Особое внимание исследователей привлекает адаптивность плодовых деревьев к неблагоприятным условиям, в том числе в осенний период, когда происходят изменения погодных условий и начинается подготовка к глубокому покою. Исследование этого фактора важно для повышения продуктивности культуры и ее устойчивости к стрессам.

Адаптивность плодовых культур в осенний период характеризуется рядом биохимических и физиологических показателей, которые отражают их способность противостоять стрессам, связанным с понижением температуры и уменьшением светового дня. В данной статье рассмотрены некоторые физиолого-биохимические показатели, характеризующие адаптивность сливы в осенний период, такие как содержание пролина, крахмала, активность амилазы, сахаров и водный режим.

Пролин – это аминокислота, играющая важную роль в адаптации растений к стрессам, таким как низкие температуры. В осенний период накопление пролина в тканях растений способствует защите клеток от обезвоживания и повреждения при заморозании. Пролин выполняет функции осмопротектора (Прудников и др., 2017), стабилизируя клеточные структуры и предотвращая денатурацию белков при стрессовых условиях. Исследования показывают, что концентрация пролина возрастает в ответ на понижение температуры, что повышает стрессоустойчивость растения. Пролин является ключевым показателем устойчивости холодному стрессу у сливы в осенний период. Считается, что высокое содержание пролина связано с увеличением морозостойкости и выживаемости растений в условиях холодного стресса (Прудников и др., 2017).

Крахмал является основным запасным углеводом в растениях, и его накопление осенью важно для обеспечения энергией в зимний период. В условиях понижения температуры крахмал постепенно гидролизует до простых сахаров, которые служат источником энергии для поддержания жизнеспособности клеток (Босиева, Нартикова, 2014). Уровень крахмала

в листьях и плодах сливы осенью может являться индикатором способности растения к долгосрочному хранению запасных веществ для зимней адаптации. При этом важным моментом является активность фермента амилаза, который обеспечивает расщепление запасных углеводов для поддержания жизнедеятельности клеток в неблагоприятных условиях.

Амилаза – это фермент, который катализирует расщепление крахмала до простых сахаров. В осенний период активность амилазы возрастает, что связано с началом процессов перехода крахмала в сахара для обеспечения растений энергией на зиму. Высокая активность амилазы в осенний период свидетельствует о способности растений эффективно использовать запасенные углеводы для повышения устойчивости к стрессовым условиям (Fulton et al., 2008). Высокая активность амилазы в осенний период свидетельствует о том, что процессы мобилизации запасных веществ, таких как крахмал, начинают активироваться задолго до наступления зимнего периода. Это важный адаптационный механизм, позволяющий растениям более эффективно противостоять стрессам, связанным с понижением температуры и уменьшением доступности воды.

Исследования российских авторов показывают, что успешная адаптация сливы в осенний период напрямую связана с накоплением сахаров и их осморегуляторной функцией (Yue et al., 2015).

Сахара являются важными источниками энергии для клеток. Осенью накопление сахаров в тканях сливы связано с подготовкой растения к зимнему периоду, когда метаболизм замедляется. Сахара также играют роль криопротекторов (Yue et al., 2015), снижая температуру замерзания клеточного сока и предотвращая образование ледяных кристаллов, которые могут повредить клетки. Кроме того, сахара участвуют в регуляции осмотического давления в клетках, что способствует поддержанию водного баланса в условиях стресса. Накопление осмотически активных веществ, таких как пролин и сахара, способствует удержанию воды в клетках и предотвращает их обезвоживание. Это особенно важно в условиях пониженных температур и снижения влажности почвы (Красова и др., 2014а).

В связи с этим значимым аспектом адаптации растений к осенним условиям является изменение фракционного состава воды в растительных тканях, который напрямую связан с водным режимом и устойчивостью к стрессам. Фракционный состав воды включает в себя следующие основные компоненты: свободная вода – вода, которая легко перемещается в клетках и межклеточных пространствах; связанная вода – вода, которая связана с клеточными структурами (например, белками, клеточными мембранами) имеет ограниченную подвижность и более низкую температуру замерзания. В осенний период важно изменение соотношения между этими фракциями, что существенно влияет на устойчивость растения к неблагоприятным условиям. В это время происходит постепенное снижение содержания свободной воды и увеличение доли связанной воды. Это связано с подготовкой растения к зимнему периоду и необходимостью снижения транспирации и потерь воды в условиях низких температур. Связанная вода меньше подвержена испарению и замерзанию, что делает ее важным элементом защиты клеток от повреждений низкой температурой. Как показывают исследования, снижение доли свободной воды в клетках повышает морозоустойчивость растений (Ozherelieva et al., 2016). В связи с вышеизложенным изучение адаптивности сортов сливы в осенний период сохраняет свою актуальность.

Цель исследований – сравнительная оценка адаптивного потенциала сливы разного генетического происхождения в осенний период на основе изучения особенностей физиолого-биохимических показателей, обуславливающих устойчивость растений к низкотемпературному стрессу.

### Материалы и методика

Исследование проводили в 2022...2023 гг. на базе лаборатории физиологии устойчивости плодовых растений и участках первичного сортоизучения косточковых культур ВНИИСПК с темно-серыми лесными почвами, с содержанием гумуса 3...4%, мощностью гумусового горизонта 30...35 см. Год посадки – 2019. Схема посадки 5 × 3 м. В междурядьях используется черный пар, в приствольных полосах гербициды.

В качестве объектов исследования были использованы 14 сортообразцов сливы различного генетического происхождения из биоресурсной коллекции ВНИИСПК (таблица 1), которые характеризуются разным потенциалом зимостойкости. Так сорта *Prunus domestica* (Самощенков и др., 2008) менее устойчивы к низким температурам в зимний период. В суровые зимы деревья этой культуры подмерзают до уровня снежного покрова. Наиболее часто у них повреждаются цветковые почки, плодовые образования и однолетние ветви (Савельев и др., 2010). В условиях средней полосы России лучшую зимостойкость показывают сорта, полученные на основе *Prunus salicina* (Джигадло, Гуляева, 2011). Большой популярностью в последние годы стали пользоваться сорта *Prunus × rossica* Erem., (Ненько и др., 2012). В связи с тем, что не все сорта сливы достаточно зимостойки провели изучение особенностей физиолого-биохимических показателей устойчивости сливы разного генетического происхождения для оценки их адаптивного потенциала.

Таблица 1 – Объекты исследований

Сорт	Происхождение
<b><i>Prunus domestica</i></b>	
Венгерка белорусская	Деликатная × Stanley
Венгерка заречная	Мичуринская × Красная десертная
Евразия 21	Спонтанная гибридизация диплоида Лакресцент
Золотое руно	Скороспелка красная × Виктория
Stanley	D'Agen × Grand Duke
<b><i>Prunus salicina</i></b>	
Неженка	Скороплодная × Китайка
Орловская мечта	Аленушка – свободное опыление
Скороплодная	Уссурийская красная × Climax
Сувенир Востока	Заря × Гигант (повторная гибридизация сортов первого поколения)
ЭЛС 18473	Скороплодная – свободное опыление
<b><i>Prunus × rossica</i> Erem.</b>	
Ветразь	Элитная форма 18/1 × Скороплодная
Гек	Скороплодная × Отличница
Злато скифов	Кубанская Комета – свободное опыление с использованием мутагенов
Кубанская комета	Скороплодная × Пионерка

Сентябрь 2022 был холодным и влажным. Среднесуточная температура воздуха (9,4 °С) была ниже средней многолетней на 2,2 °С, осадков выпало 96 мм. В октябре среднесуточная температура воздуха превышала норму на 1,8 °С, сумма осадков составила 69,1 мм. В ноябре среднесуточная температура воздуха была выше на 1,43 °С среднемноголетнего значения, осадков при этом выпало 39,3 мм.

Сентябрь 2023 был теплым (среднесуточная температура воздуха 13,2 °С) и сухим (сумма осадков 0,3 мм). В октябре среднесуточная температура была в норме, сумма осадков превысила норму в 2 раза. В ноябре среднесуточная температура воздуха (+0,5 °С) превысила норму на 0,9 °С и количество осадков (102,9 мм) превышало среднемноголетнее

значение в 3 раза. За годы исследований, как правило, осенью отмечалось неравномерное распределение осадков и температуры (рисунок 1).

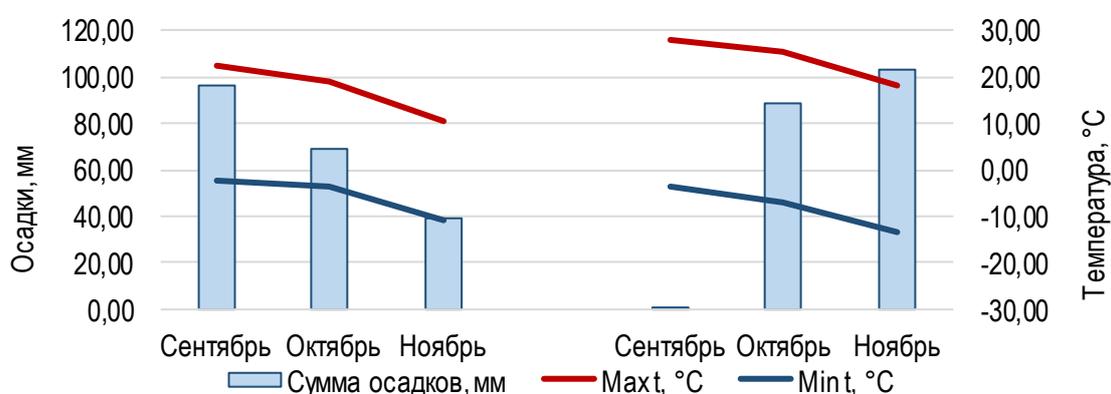


Рисунок 1 – Метеорологические условия Орловской области в 2022...2023 гг. (данные метеопоста ФГБНУ ВНИИСПК)

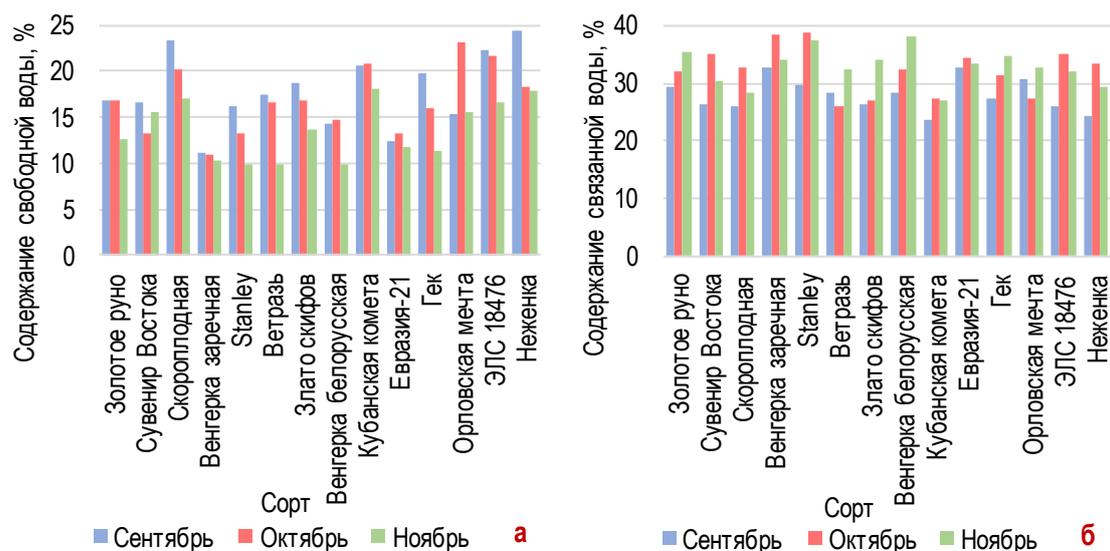
Фракционный состав воды в однолетних побегах проводили методом Окунцова-Маринчик (Ожерельева и др., 2019). Накопление сахаров в коре однолетних побегов сливы определили на основе резорцинового реактива (Туркина, Соколова, 1972), содержание пролина по реакции с реагентом нингидрина (Bates et al., 1973; Прудников, Ожерельева, 2019). Активность амилазы установили по количеству гидролизованного ферментом крахмала (Ермаков и др., 1987), количество крахмала в коре однолетних побегов сливы определили согласно методике (Кабашникова и др., 2003).

Результаты обрабатывали методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием программного пакета MS Excel.

### Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что содержание связанной воды в однолетних побегах сливы к началу осени у сортов *Prunus domestica* было выше в 1,15 и 1,17 раз, чем у сортов *Prunus salicina* и *Prunus × rossica* Erem. соответственно (рисунок 2а).

Наибольшие показатели содержания свободной воды в сентябре были отмечены у сортов *Prunus salicina*, чем у сортов *Prunus domestica* и *Prunus × rossica* Erem. в 1,4 и 1,1 раза соответственно (рисунок 2б). Наибольшие показатели были отмечены у сортов Неженка (24,5 %) и Скороплодная (23,4 %). В октябре наблюдался рост количества связанной воды в коре однолетних побегов у всех изучаемых сортов сливы в среднем в 1,46 раза. При этом у сортов *Prunus domestica* этот показатель был выше в 1,08 и 1,24 раз по сравнению с сортами *Prunus salicina* и *Prunus × rossica* Erem. соответственно. Наибольший уровень связанной воды был зарегистрирован у сортов *Prunus domestica* Венгерка заречная (38,5 %) и Stanley (38,6 %) (рисунок 2а). Показатели содержания свободной воды в октябре у большинства сортов были ниже, чем в сентябре. Наибольшие значения отмечали у сортов *Prunus salicina*, выше в 1,4 и в 1,1 раз, чем у сортов *Prunus domestica* и *Prunus × rossica* Erem. соответственно (рисунок 2б). К концу осени наблюдалось увеличение связанной воды и снижение количества свободной по сравнению с началом осени, что предположительно благоприятно скажется на зимостойкости сортов сливы (рисунок 2а, 2б). Известно, что у зимостойких сортов плодовых культур уровень связанной воды выше, чем у незимостойких (Кушниренко, Печерская, 1991). Изучение фракционного состава воды показало повышение связанной воды также в коре однолетних побегов сортов яблони (Галашева, Красова, 2013; Ненько и др., 2017) и винограда (Ненько и др., 2014) в осенне-зимний период.



а – содержание связанной воды ( $НСР_{05} = 4,6$ ); б – содержание свободной воды ( $НСР_{05} = 2,4$ )  
 Рисунок 2 – Содержание связанной (а) и свободной воды (б) в тканях однолетних побегов сливы в осенний период (среднее за 2022...2023 гг.), %

В осенние месяцы у изучаемых сортов сливы наблюдали различную динамику накопления свободного пролина в коре однолетних побегов. У сортов *Prunus domestica* Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Евразия 21 и Stanley содержание свободного пролина возросло к ноябрю в 1,2...3,3 раза по сравнению с сентябрем, кроме сорта Золотое руно, у которого было отмечено снижение содержания свободного пролина в 1,3 раза, что может быть связано с более низким уровнем морозостойкости. У сортов *Prunus salicina* к концу ноября количество пролина возросло в 2,4 раза, а у сортов *Prunus × rossica* Erem. в 1,8 раза по сравнению с показателями сентября. Наибольшие показатели содержания аминокислоты к началу зимы были зарегистрированы у сортов *Prunus salicina* Скороплодная и Орловская мечта, *Prunus × rossica* Erem. Ветразь, Злато скифов и Гек, что свидетельствует о большей степени устойчивости к неблагоприятным условиям осеннего периода (рисунок 3).

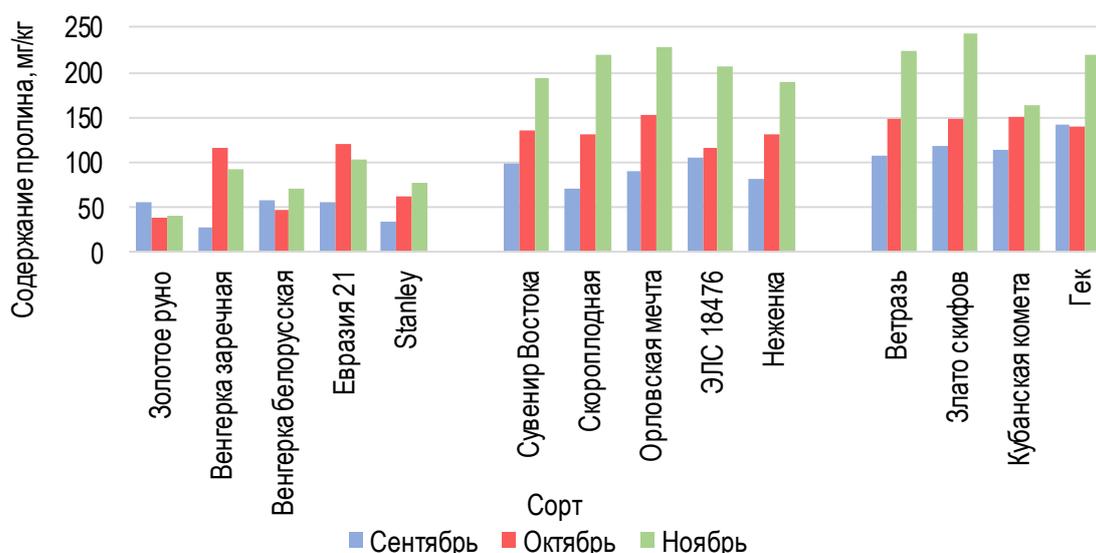


Рисунок 3 – Содержание пролина в коре однолетних побегов сортообразцов сливы в осенний период 2022...2023 гг., мг/кг (среднее за 2022...2023 гг.)  $НСР_{05} = 48,2$

В позднеосенний период, при пониженных температурах у зимостойких сортов яблони отмечено возрастание содержания пролина в тканях однолетних побегов и в других работах (Красова и др., 2012; Артюх и др., 2014).

В сентябре у представителей *Prunus salicina* в коре однолетних побегов содержание крахмала содержалось в среднем – 0,91 мг/см<sup>3</sup> и активность амилазы составила – 166,33 мг крахмала·ч/г (рисунок 3). В октябре в процессе гидролиза отмечено снижение количества крахмала у изучаемых сортов сливы в 4,3 раза по сравнению с сентябрем на фоне снижения в 4,08 раза активности фермента амилаза в коре однолетних побегов. В ноябре гидролиз крахмала шел интенсивнее у сортов *Prunus salicina* за счет в среднем более высокой активности амилазы (166,31 мг крахмала·ч/г) по сравнению с представителями *Prunus domestica* (134,86 мг крахмала·ч/г) и *Prunus × rossica* Erem. (145,21 мг крахмала·ч/г). Тенденция понижения уровня крахмала и роста активности амилазы в коре однолетних побегов сливы сохранилась и в ноябре. В этом месяце отметили снижение в 7,3 раза количества крахмала (рисунок 4) в коре однолетних побегов сортов *Prunus domestica*, в 7,4 раза у сортов *Prunus salicina* и в 5,9 раза у сортов *Prunus × rossica* Erem. по сравнению с сентябрем.

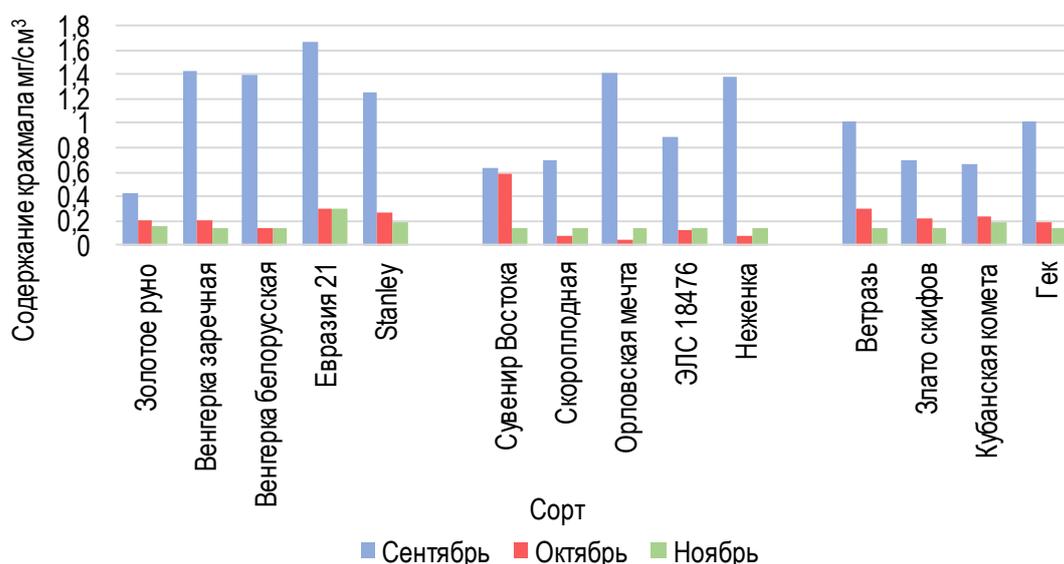


Рисунок 4 – Содержание крахмала в коре однолетних побегов сортообразцов сливы в осенний период 2022...2023 гг., мг/см<sup>3</sup> (среднее за 2022...2023 гг.)  $F_{\phi} < F_{\tau}$

Активность фермента амилаза в ноябре снизилась в 8,6 раза у сортов *Prunus domestica*, в 9,0 раз у сортов *Prunus salicina* и в 9,6 раза у сортов *Prunus × rossica* Erem. по сравнению с сентябрем (рисунок 5), что указывает на вступление растений в период покоя. Аналогичные результаты получены другими исследователями. Так при усилении гидролиза содержание крахмала значительно снижалось в тканях однолетних побегов сортов яблони к концу осени (Красова и др., 2014b). Н.И. Ненько и соавторы (2021) показали, что у сортов винограда важный вклад в процессы адаптации к низким температурам вносит гидролиз крахмала с образованием водорастворимых сахаров. Установлено, что их содержание зимой увеличилось в 2,7...2,9 раз во флоэме побегов винограда, что согласуется с нашими результатами.

В результате гидролиза крахмала в осенний период наблюдали существенное накопление количества сахаров в коре однолетних побегов сортов сливы. При этом в сентябре у представителей *Prunus domestica* количество сахаров в коре однолетних побегов

было меньше в 1,2 и 1,3 раза по сравнению с сортами *Prunus salicina* и *Prunus × rossica* Erem., соответственно.

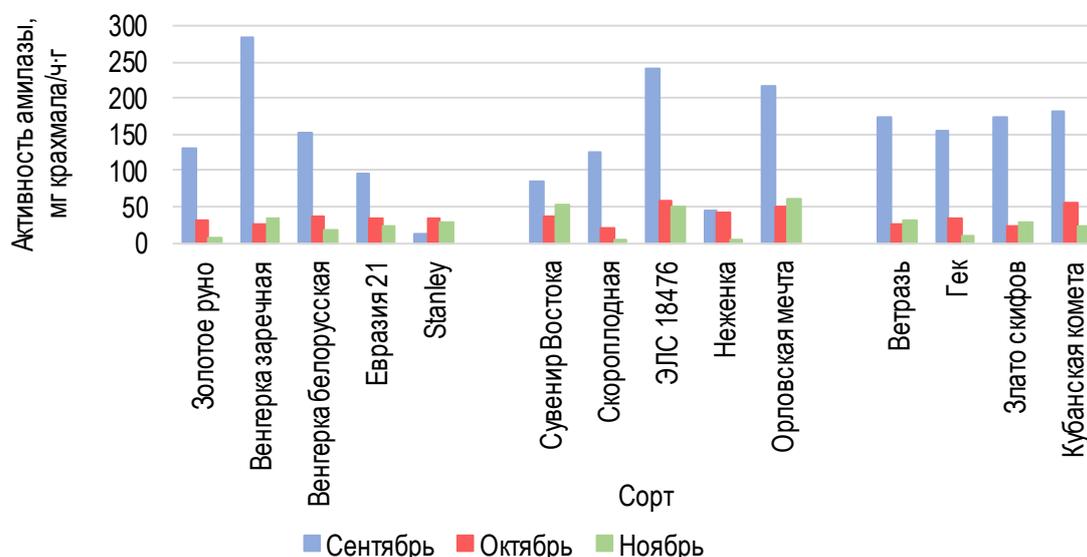


Рисунок 5 – Активность амилазы в коре однолетних побегов сортообразцов сливы в осенний период 2022...2023 гг., мг крахмала/ч·г (среднее за 2022...23 гг.)  $F_{\phi} < F_{\tau}$

В октябре наблюдали обратный процесс, количество сахаров в коре однолетних побегов снизилось в 1,3 у сортов *Prunus domestica* и *Prunus salicina*, в 1,4 раза у генотипов *Prunus × rossica* Erem. по сравнению с сентябрем (рисунок 6), что может свидетельствовать об участии сахаров в синтезе белков.

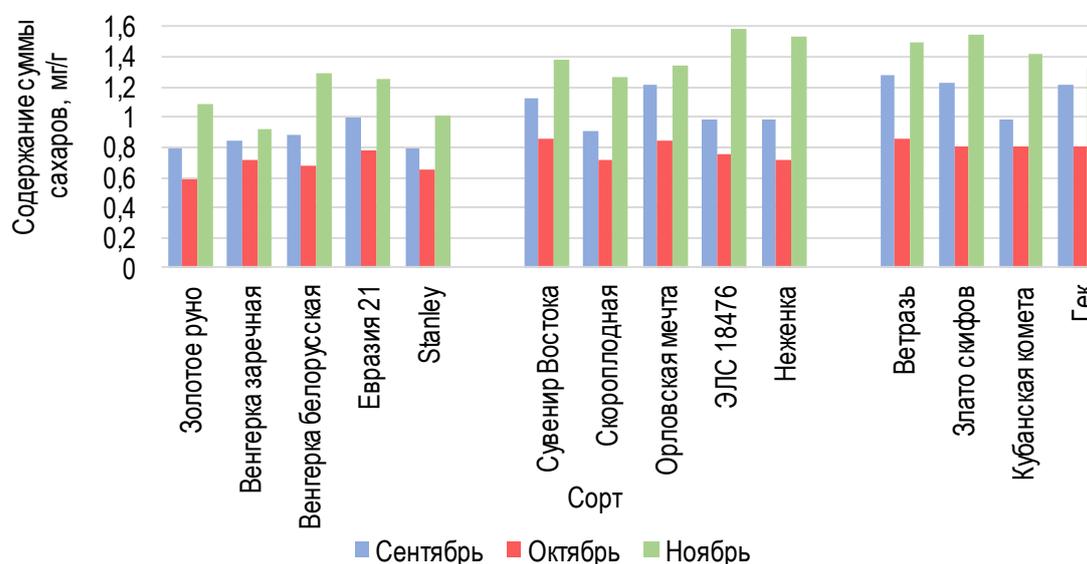


Рисунок 6 – Содержание суммы сахаров в коре однолетних побегов сортообразцов сливы в осенний период 2022...2023 гг., мг/г (среднее за 2022...2023 гг.)  $HC_{05} = 0,2$

Известно, что сахара входят в комплексные соединения с белками, которые повышают устойчивость растений к низкотемпературному стрессу (Колупаев, Трунова, 1992). В ноябре содержание сахаров в коре однолетних побегов сливы значительно повысилось по сравнению с октябрем. Так в коре однолетних побегов изучаемых сортов *Prunus domestica* и

*Prunus × rossica* Erem. сумма сахаров увеличилась в 1,3...1,9 раза, *Prunus salicina* в 1,6...2,1 раза. При этом сорта *Prunus salicina* и *Prunus × rossica* Erem. накопили в 1,3 раза больше сахаров, чем сорта *Prunus domestica*. Максимальное значение содержания сахаров в коре однолетних побегов отметили в конце осени у сортов *Prunus domestica* Венгерка белорусская, Евразия 21, у *Prunus salicina* Неженка, Орловская мечта, Сувенир Востока, ЭЛС 18476 и у *Prunus × rossica* Erem. Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета (рисунок 6). В исследованиях Н.Г. Красовой и соавторов (2014) показано также значительное увеличение количества сахаров в однолетних побегах сортов яблони к началу зимы. У сортов винограда Красностоп и Зариф выявлено в течение зимнего периода содержание осмопротектора сахарозы возрастало в 4,7 и 6,6 раз (Ненько и др., 2021).

### **Заключение**

В результате проведенных исследований показано, что используемые физиолого-биохимические показатели, характеризуют адаптационную способность сортов сливы (связанная форма воды, пролин, сахароза) и механизмы ее формирования в осенний период. При ослаблении процессов метаболизма происходит закаливание растений сливы при этом активизируются защитные механизмы для успешной перезимовки: изменения в водном режиме и накопление энергетического потенциала. При этом у сортов *Prunus × rossica* Erem. Ветразь, Гек, Злато скифов, Кубанская комета и *Prunus salicina* – Неженка, Орловская мечта, Скороплодная, Сувенир Востока, ЭЛС 18476 адаптивные процессы осенью проходили интенсивнее. Среди генотипов *Prunus domestica* выделили сорта Венгерка белорусская, Евразия 21 и Stanley, которые показали более высокую интенсивность обменных процессов при прохождении закалки осенью. Важно отметить, что выделенные сорта сливы в зимний период проявляют большую устойчивость к низкотемпературному стрессу. Физиолого-биохимическими методами показано, что адаптация сортов сливы к зимним стрессам достигается за счет повышенного синтеза осмопротекторов (сахарозы, пролина) и повышения уровня связанной воды. Таким образом, физиолого-биохимические показатели адаптивности, как фракционный состав воды, содержание сахаров и аминокислоты пролин в тканях однолетних побегов, могут использоваться для выявления формирования процессов адаптивности осенью, а также в качестве диагностических критериев оценки морозоустойчивости сортов сливы. Полученные результаты дают возможность использовать выделенные сорта сливы в селекционном процессе, как источники признаков адаптивности, позволяющих улучшить физиолого-биохимические показатели для повышения зимостойкости данной культуры в средней полосе России.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Литература**

1. Артюх С.Н., Ненько Н.И., Красова Н.Г. Динамика белков и пролина в побегах сортов яблони по разным компонентам зимостойкости // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2014. 25, 1. 42-50. <https://www.elibrary.ru/rtycyzr>
2. Босиева О.И., Нартикоева Р.Р. Сезонная динамика содержания крахмала в древесных растениях // Известия Горского государственного аграрного университета. 2014. 51, 4. 407-410. <https://www.elibrary.ru/tcczoh>
3. Галашева А.М., Красова Н.Г. Водный режим сортов яблони различной зимостойкости // Современное садоводство. 2013. 4. 1-8. <https://www.elibrary.ru/seiff>

4. Джигадло Е.Н., Гуляева А.А. Устойчивость сортов косточковых культур к абиотическим факторам среды // Совершенствование адаптивного потенциала косточковых культур и технологий их возделывания. Орел: ВНИИСПК, 2011. 70-73. <https://www.elibrary.ru/yhasfz>
5. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Смирнова-Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430.
6. Кабашникова Л.Ф., Калитухо Л.Н., Деревенский А.В. Количественный анализ свободных и связанных углеводов в одной навеске растительной ткани. Минск: БГПУ, 2003. 22. <https://www.elibrary.ru/jvvzli>
7. Колупаев Ю.Е., Трунова Т.И. Особенности метаболизма и защитные функции углеводов растений в условиях стрессов // Физиология и биохимия культурных растений. 1992. 24, 6. 523-531.
8. Красова Н.Г., Артюх С.Н., Ненько Н.И. Оценка зимостойкости сортов яблони по биохимическим показателям в условиях Краснодарского края // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2012. 15, 3. 93-101. <https://www.elibrary.ru/oxtovd>
9. Красова Н.Г., Галашева А.М., Ожерельева З.Е., Голышкина Л.В., Макаркина М.А. Об устойчивости яблони к неблагоприятным условиям зимнего периода // Сельскохозяйственная биология. 2014а. 49, 1. 42-49. <https://www.elibrary.ru/rxsxpx>
10. Красова Н.Г., Ожерельева З.Е., Голышкина Л.В., Макаркина М.А. Галашева А.М. Зимостойкость сортов яблони. Орел: ВНИИСПК, 2014b. 184. <https://www.elibrary.ru/ygzpyf>
11. Кушниренко М.Д., Печерская С.Н. Физиология водообмена и засухоустойчивости растений. Кишинев: Штиинца, 1991. 304.
12. Ненько Н.И., Дорошенко Т.Н., Гасанова Т.А. Физиологические методы в адаптивной селекции плодовых культур // Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012. 189-198. <https://www.elibrary.ru/pycfhv>
13. Ненько Н.И., Ильина И.А., Петров В.С. Кудряшова В.В. Запорожец Н.М., Схаляхо Т.В. О формировании адаптационной устойчивости у растений винограда в осенне-зимний период // Сельскохозяйственная биология. 2014. 49, 3. 92-99. <https://www.elibrary.ru/shawsj>
14. Ненько Н.И., Киселева Г.К., Ульяновская Е.В., Караваева А.В. Использование физиолого-биохимических методов для выявления механизмов адаптации яблони к условиям зимнего периода // Научные труды Государственного научного учреждения Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства Российской академии сельскохозяйственных наук. 2017. 13. 20-28. <https://www.elibrary.ru/zmwfkf>
15. Ненько Н.И., Киселева Г.К., Ильина И.А., Петров В.С., Запорожец Н.М., Соколова В.В. Морозостойкость сортов винограда различного эколого-географического происхождения // Садоводство и виноградарство. 2021. 4. 37-42. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-4-37-42>
16. Ожерельева З.Е., Прудников П.С., Зубкова М.И., Кривушина Д.А., Князев С.Д. Определение морозостойкости земляники садовой в контролируемых условиях: Методические рекомендации. Орел: ВНИИСПК, 2019. 25. <https://elibrary.ru/vtwvwx>
17. Прудников П.С., Кривушина Д.А., Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Действие отрицательной температуры на активность компонентов антиоксидантной системы и интенсивность ПОЛ *Prunus avium* L. // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2017. 31. 1256-1260. <https://www.elibrary.ru/ypivuv>

18. Прудников П.С., Ожерельева З.Е. Физиолого-биохимические методы диагностики устойчивости плодовых культур к засухе и гипертермии. Орел: ВНИИСПК, 2019. 46. <https://www.elibrary.ru/bmshhw>
19. Савельев Н.И., Юшков А.Н., Савельева Н.Н., Земисов А.С., Чивилев В.В., Кириллов Р.Е., Акимов М.Ю., Гладышева М.Б., Кружков Ал.В., Конюхова А.А., Чмир Р.А., Богданов Р.Е., Кружков Ан.В. Генетический потенциал устойчивости плодовых культур к абиотическим стрессорам. Мичуринск: ФНЦ им. И.В. Мичурина, 2010. 212. <https://www.elibrary.ru/qlbuzl>
20. Самощенко Е.Г., Абдолали Х., Паничкин Л.А., Воскобойников Ю.В. Повышение адаптивности и продуктивности сортов сливы Скороплодная и Евразия 21 в средней полосе России // Известия Тимирязевской Сельскохозяйственной Академии. 2008. 1. 101-110. <https://www.elibrary.ru/isdlut>
21. Туркина М.В., Соколова С.В. Изучение мембранного транспорта сахарозы в растительной ткани // Физиология растений. 1972. 19, 5. 912-919.
22. Bates L.S., Waldren R.P. Teare I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies // Plant and Soil. 1973. 39. 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
23. Fulton D.C., Stettler M., Mettler T., Vaughan C.K., Li J., Francisco P., Gil M., Reinhold H., Eicke S., Messerli G., et al.  $\beta$ -AMYLASE4, a noncatalytic protein required for starch breakdown, acts upstream of three active  $\beta$ -amylases in arabidopsis chloroplasts // Plant Cell. 2008. 20, 4. 1040-1058. <https://doi.org/10.1105/tpc.107.056507>
24. Ozherelieva Z.E., Prudnikov P.S., Bogomolova N.I. Frost hardiness of introduced Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) genotypes in Central Russia // Proceedings of Latvian Academy of sciences. Section B. 2016. 70, 2. 88-95. <https://doi.org/10.1515/prolas-2016-0014>.
25. Yue C., Cao H.L., Wang L., Zhou Y.H., Huang Y.T., Hao X.Y., Wang Y.C., Wang B., Yang Y.J., Wang X.C. Effects of cold acclimation on sugar metabolism and sugar-related gene expression in tea plant during the winter season // Plant Molecular Biology. 2015. 88. 591-608. <https://doi.org/10.1007/s11103-015-0345-7>.

## References

1. Artyukh, S.N., Nenko, N.I., & Krasova, N.G. (2014). Dynamics of proteins and proline in the shoots and buds of apple's varieties on the different components of winter hardiness. *Fruit Growing and Viticulture in the South of Russia*, 25(1), 42-50. <https://www.elibrary.ru/rtycyzr>. (In Russian, English abstract).
2. Bosieva, O.I., & Nartikoeva, R.R. (2014). Seasonal dynamics of starch content in woody plants. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*, 51(4), 407-410. <https://www.elibrary.ru/tcczoh>. (In Russian, English abstract).
3. Galasheva, A.M., & Krasova, N.G. (2013). Water regime dynamics of apple varieties having different winter hardiness. *Contemporary Horticulture*, 4, 1-8. <https://www.elibrary.ru/seifft>. (In Russian, English abstract).
4. Gigadlo, E.N., & Gulyaeva, A.A. (2011). Resistance of stone fruit varieties to abiotic factors of the environment. In *Improving the Adaptive Potential of Stone Fruit Crops and Technologies for their Cultivation* (pp. 70-73). VNIISPK. <https://www.elibrary.ru/yhasfz>. (In Russian, English abstract).
5. Ermakov, A.I., Arasimovich, V.V., Yarosh, N.P., Peruansky, Yu.V., Lukovnikova, G.A., & Smirnova-Ikonnikova, M.I. (1987). *Methods for the Biochemical Analysis of Plants*. Agropromizdat. (In Russian).
6. Kabashnikova, L.F., Kalitukho, L.N., & Derevenskiy, A.V. (2003). *Quantitative Analysis of Free and Bound Carbohydrates in One Sample of Plant Tissue*. BSPU. <https://www.elibrary.ru/jvzvzli>. (In Russian).

7. Kolupaev, Yu.E., & Trunova, T.I. (1992). Properties of metabolism and protective functions of plant carbohydrates under stress conditions. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 24(6), 523-531. (In Russian).
8. Krasova, N.G., Artyukh, S.N., & Nenko, N.I. (2012). Estimation of winter resistance of apple-tree varieties on biochemical indicators in the Krasnodar region conditions. *Fruit Growing and Viticulture of the South of Russia*, 15(3), 93-101. <https://www.elibrary.ru/oxtovd>. (In Russian, English abstract).
9. Krasova, N.G., Galasheva, A.M., Ozherelieva, Z.E., Golyshkina, L.V., & Makarkina, M.A. (2014). About resistance of apple genotypes to winter unfavorable conditions. *Agricultural Biology*, 49(1), 42-49. <https://www.elibrary.ru/rxsxpx>. (In Russian, English abstract).
10. Krasova N.G., Ozherelieva, Z.E., Golyshkina, L.V., Makarkina, M.A., & Galasheva, A.M. (2014). *Winter Hardiness of Apple Cultivars*. VNIISPK. <https://www.elibrary.ru/ygzpyf>. (In Russian).
11. Kushnirenko, M.D., & Pecherskaya, S.N. (1991). *Physiology of Water Exchange and Drought Resistance of Plants*. Shtiintsa. (In Russian).
12. Nenko, N.I., Doroshenko, T.N., Gasanova, T.A. (2012). Physiological methods in adaptive breeding. In *Modern Methodological Aspects of the Organization of the Breeding Process in Horticulture and Viticulture* (pp. 189-198). NCFSCHVW. <https://www.elibrary.ru/pycfhv>. (In Russian).
13. Nenko, N.I., Ilyina, I.A., Petrov V.S. Kudryashova, V.V. Zaporozhets, N.M., & Shalyakho, T.V. (2014). About grape plant adaptation to autumn and wintering. *Agricultural Biology*, 49(3), 92-99. <https://www.elibrary.ru/shawsj>. (In Russian, English abstract).
14. Nenko, N.I., Kiseleva, G.K., Ulianovskaya, E.V., Karavaeva, A.V. (2017). Use of physiological and biochemical methods to reveal the adaptation mechanisms of apple-tree to winter conditions. *Scientific works of The State Scientific Institution of the North Caucasus Zonal Research Institute of Horticulture and Viticulture of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 13, 20-28. <https://www.elibrary.ru/zmwfkw>. (In Russian, English abstract).
15. Nenko, N.I., Kiseleva, G.K., Ilyina, I.A., Petrov, V.S., Zaporozhets, N.M., & Sokolova, V.V. (2021). Cold hardiness in grapevines of various ecological and geographical origin. *Horticulture and Viticulture*, 4, 37-42. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-4-37-42>. (In Russian, English abstract).
16. Ozherelieva Z.E., Prudnikov P.S., Zubkova M.I., Krivushina D.A., Knyazev S.D. (2019). Determination of frost resistance of garden strawberries under controlled conditions (methodological recommendations). Orel: VNIISPK, 25. <https://elibrary.ru/vtwvwx> (In Russian)
17. Prudnikov, P.S., Krivushina, D.A., Ozhereliev, Z.E., & Gulyaeva, A.A. (2017). The effect of the author's program on real competitors. antioxidant system and intentional GENDER of *Prunus avium* L. *Scientific and methodological electronic journal "Concept"*, 31, 1256-1260. <https://www.elibrary.ru/ypivuv>. (In Russian).
18. Prudnikov, P.S., & Ozherelieva, Z.E. (2019). *Physiological and Biochemical Methods for Diagnosing the Resistance of Fruit Crops to Drought and Hyperthermia*. VNIISPK. <https://www.elibrary.ru/bmshhw>. (In Russian).
19. Saveliev, N.I., Yushkov, A.N., Savelieva, N.N., Zemisov, A.S., Chivilev, V.V., Kirillov, R.E., Akimov, M.Yu., Gladysheva, M.B., Kruzhkov, A.I., Konyukhova, A.A., Chmir, R.A., Bogdanov, R.E., & Kruzhkov, An.B. (2010). *The Genetic Potential of Resistance of Fruit Crops to Abiotic Stressors*. I.V. Michurin Federal Research Center. <https://www.elibrary.ru/qlbuzl>. (In Russian).
20. Samoshchenkov, E.G., Abdolali, H., Panichkin, L.A., & Voskoboynikov, Yu.V. (2008). Increase in both adaptivity and productivity of plum varieties Skoroplodnaya (early-maturing) and Euroasia 21 in middle climatic zone of Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 1, 101-110. <https://www.elibrary.ru/isdlut>. (In Russian, English abstract).

21. Turkina, M.V., & Sokolova, S.B. (1972). Study of membrane transport of sucrose in plant tissue. *Fiziologiya Rastenij*, 19(5), 912-919. (In Russian).
22. Bates, L.S., Waldren, R.P., & Tir, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for studies of water stress. *Plants and Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
23. Fulton, D.C., Stettler, M., Mettler, T., Vaughan, C.K., Li J., Francisco, P., Gi, I. M., Reinhold, H., Eicke, S., Messerli, G., ... & Zeeman, S.C. (2008).  $\beta$ -AMYLASE4, a noncatalytic protein required for starch breakdown, acts upstream of three active  $\beta$ -amylases in arabidopsis chloroplasts. *Plant Cell*, 20(4), 1040-1058. <https://doi.org/10.1105/tpc.107.056507>
24. Ozherelieva, Z.E., Prudnikov, P.S., & Bogomolova, N.I. (2016). Frost hardiness of introduced Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) genotypes in Central Russia // *Proceedings of Latvian Academy of Sciences. Section B*, 70, 88-95. <https://doi.org/10.1515/prolas-2016-0014>
25. Yue, C., Cao, H.L., Wang, L., Zhou, Y.H., Huang, Y.T., Hao, X.Y., Wang, Y.C., Wang, B., Yang, Y.J., & Wang, X.C. (2015). Effects of cold acclimation on sugar metabolism and sugar-related gene expression in tea plant during the winter season. *Plant Molecular Biology*, 88, 591-608. <https://doi.org/10.1007/s11103-015-0345-7>

Авторы:

**Анжелика Олеговна Болгова**, аспирант, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, [bolgova@orel.vniispk.ru](mailto:bolgova@orel.vniispk.ru)  
ORCID: 0000-0002-5917-7308  
SPIN: 1903-1469

**Зоя Евгеньевна Ожерельева**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, [ozherelieva@orel.vniispk.ru](mailto:ozherelieva@orel.vniispk.ru)  
ORCID: 0000-0002-1730-4073  
SPIN: 2835-8790

Authors details:

**Angelika O. Bolgova**, Postgraduate Student, Junior Research in Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPК), [bolgova@orel.vniispk.ru](mailto:bolgova@orel.vniispk.ru)  
ORCID: 0000-0002-5917-7308  
SPIN: 1903-1469

**Zoya E. Ozherelieva**, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher in Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPК), [ozherelieva@orel.vniispk.ru](mailto:ozherelieva@orel.vniispk.ru)  
ORCID: 0000-0002-1730-4073  
SPIN: 2835-8790

**Отказ от ответственности:** заявления, мнения и данные, содержащиеся в публикации, принадлежат исключительно авторам и соавторам. ФГБНУ ВНИИСПК и редакция журнала снимают с себя ответственность за любой ущерб людям и/или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.