

Оригинальная статья / Original article
УДК 634.11.13
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-45-54

Устойчивость генеративных органов черешни к весенним заморозкам при искусственном промораживании

Зоя Е. Ожерельева, Александра А. Гуляева

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур», Орел, Россия

Контактное лицо

Зоя Е. Ожерельева, кандидат сельскохозяйственных наук, лаборатория физиологии устойчивости плодовых растений ФГБНУ ВНИИ селекции плодовых культур; 302530, Россия, Орловская область, Орловский район, Жилина, д. 1.
Тел. +79208151975
Email ozherelieva@vniispk.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1730-4073>

Формат цитирования

Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Устойчивость генеративных органов черешни к весенним заморозкам при искусственном промораживании // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 2. С. 45-54. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-45-54

Получена 16 июля 2020 г.
Прошла рецензирование 14 сентября 2020 г.
Принята 21 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Изучить устойчивость к весенним заморозкам сортов черешни селекции ВНИИСПК методом искусственного промораживания и выделить наиболее устойчивые.

Материал и методы. Объектами исследований служили 7 сортов черешни селекции института: Аделина, Малыш, Орловская розовая, Орловская фея, Подарок Орлу, Сияна, Троснянская. Моделировали в начале мая весенние заморозки: -1°, -2°, -3° и -4°С в климатической камере «Espes» PSL-2КРН. При каждом температурном режиме брали по 100 (шт.) бутонов и цветков в 3-х кратной повторности каждого сорта. Температуру снижали со скоростью 1°С в час. Длительность воздействия отрицательной температуры – 3 часа.

Результаты. В результате искусственного промораживания наблюдали начало повреждения цветков при температуре -1°С. При этом отметили высокую устойчивость бутонов черешни. Моделирование заморозков -2°...-4°С увеличило количество погибших цветков и бутонов. Устойчивость черешни к весенним заморозкам зависела от генотипа и стадии развития репродуктивных органов. Отмечена различная сумма активных температур для начала цветения и формирования завязей, что указывает на начало фенологических фаз, при которых генеративные органы восприимчивы к весенним заморозкам.

Заключение. Проведенный эксперимент позволил выделить среднеустойчивый к весенним заморозкам сорт черешни Малыш. Слабоустойчивые генотипы – Орловская розовая, Орловская фея, Троснянская, Сияна. Неустойчивые сорта – Аделина, Подарок Орлу. В период формирования завязи наибольший потенциал устойчивости к весенним заморозкам показал сорт Подарок Орлу.

Ключевые слова

Prúnus ávium L., весенний заморозок, искусственное промораживание, бутоны, цветки, устойчивость.

Resistance of generative organs of sweet cherry to spring frosts after artificial freezing

Zoya E. Ozherelieva and Aleksandra A. Gulyaeva

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Orel, Russia

Principal contact

Zoya E. Ozherelieva, Candidate of Agricultural Science, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding; 1 Zhilina, Orel district, Orel region, Russia 302530.

Tel. +79208151975

Email ozherelieva@vniispk.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1730-4073>

How to cite this article

Ozherelieva Z.E., Gulyaeva A.A. Resistance of generative organs of sweet cherry to spring frosts after artificial freezing. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 2, pp. 45-54. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-2-45-54

Received 16 July 2020

Revised 14 September 2020

Accepted 21 September 2020

Abstract

Aim. The purpose of this research was to study the sustainability of Institute bred sweet cherry cultivars to spring frosts during flowering by the method of artificial freezing and to identify resistant cultivars.

Material and Methods. Seven Institute bred sweet cherry cultivars were studied: 'Adelina', "Malysh", "Orlovskaya Rozovaya", "Orlovskaya Feya", "Podarok Orlu", "Siyana" and "Trosnyanskaya". Spring frosts were simulated in an "Espec" PSL-2KPH climate chamber in early May at -1°, -2°, -3° and -4°C. At each temperature regime, 100 pcs of flowers and buds of each cultivar were taken in 3-fold repetition. Temperature was lowered at the rate of 1°C per hour. The duration of exposure to negative temperatures was 3 hours.

Results. Damage to the stamens and pistils was assessed by the darkening of the tissues. In buds and blooming flowers after frosts, the pistils were first damaged but the stamens were not. Resistance to spring frosts decreased with the phenological development of the cherry's generative organs. The beginning of damage to the flowers as a result of the artificial freezing was noted at a temperature of -1°C. At the same time, the high stability of cherry buds was noted. Modeling frosts of -2°...-4°C increased the number of dead flowers and buds. The resistance of sweet cherries to spring frosts was found to depend on the genotype and stage of development of reproductive organs. A different sum of active temperatures for the beginning of flowering and ovary formation was noted, indicating the onset of phenological phases in which generative organs are susceptible to spring frosts.

Conclusion. The experiment made it possible to distinguish a medium-resistant cultivar "Malysh" which was resistant to spring frosts. Weakly stable genotypes were "Orlovskaya Rozovaya", "Orlovskaya Feya", "Trosnyanskaya" and "Siyana". Unstable cultivars were "Adelina", and "Podarok Orlu". During the formation of the ovary, the greatest potential for resistance to spring frosts was shown by "Podarok Orlu".

Key Words

Prúnus ávium L., spring frost, artificial freezing, buds, flowers, resistance.

ВВЕДЕНИЕ

Величина урожая, качество продукции зависит от многих факторов, в том числе и от устойчивости генеративных органов плодовых культур к весенним заморозкам, которые губительно воздействуют на бутоны, цветки, завязи и тем самым приносят значительный экономический ущерб [1; 2].

Повышение температуры в результате изменения климата, снижает общее количество морозных дней в течение года и удлиняет безморозный сезон [3-5]. Wуруч с соавторами [6] обнаружили снижение количества весенних заморозков в Западной Европе за период 1951-2010 гг., которая была связана с повышением температуры воздуха весной в этом регионе. Однако риски заморозков связаны не только со среднесуточной температурой, но также с перепадами температуры в течение дня [7]. Если температура повышается, срок наступления фенологических фаз, а также время, частота и интенсивность заморозка меняется. В то время как некоторые авторы обнаружили [8; 9], что последние весенние заморозки стали наступать раньше, одновременно с развитием растений, другие авторы выяснили, что риск повреждений от мороза возрастает с повышением температуры [10-12].

Косточковые культуры требовательны к теплу, поэтому часто на потери урожая влияют весенние заморозки, длительное похолодание в период цветения и завязывания плодов [13-15]. Весенние заморозки могут привести у косточковых культур к потере урожая до 90% [16]. В зимний период, когда растения находятся в органическом покое, биохимические компоненты, такие как сахара, аминокислоты и белки – способствуют морозостойкости почек [17]. В течение этого времени оводненность почек низкая [18]. С повышением температуры весной содержание воды в почках увеличивается и начинается их набухание [19]. В этот период морозостойкость почек непрерывно снижается [20]. Так в полевых условиях [21] было отмечено, что температура -3...-10°C вызывала различную степень подмерзания цветков сортов персика. При температуре -4°C количество поврежденных цветков не превышало 29%. Температура -7°C вызывала 80% подмерзание цветков, а при -10°C – 100%. В других исследованиях отмечено более 50% погибших цветков от заморозков при температуре -2° и 100% при температуре -10°C [22]. Исследование, проводимое ранее нами [23], показало, что при температуре -1°C цветки вишни повреждались незначительно (менее 25%). При -2°C более половины цветков подмерзли (57,5%), бутоны повредились незначительно (12,5%). При воздействии температуры -3°C выявлены существенные повреждения генеративных органов вишни. Изучение устойчивости к весенним заморозкам сортов персика показало, что бутоны повреждаются в диапазоне температур от -6,8 до -11,2°C. Цветки повреждались от -1,7 до -4,1°C. Полученные результаты в контролируемых условиях свидетельствуют о том, что морозостойкость при воздействии низких температур оценивается с высокой степенью достоверности [24]. Однако исследований об устойчивости к весенним заморозкам черешни, основанных на искусственном промораживании практически нет.

В данном исследовании мы определили влияние весенних заморозков на устойчивость генеративных органов в период бутонизации, цветения и формирования завязи черешни в контролируемых условиях.

Цель работы заключалась в изучение устойчивости к весенним заморозкам репродуктивных органов сортов черешни селекции ВНИИСПК методом искусственного промораживания и выделение наиболее устойчивых.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на базе лаборатории физиологии устойчивости плодовых растений ВНИИСПК в 2018-2020 годах. Объектами служили сорта черешни селекцией института. Контрольный сорт – Орловская розовая. Сорт внесен в государственный реестр в 2010 г. по Центрально-Черноземному региону. Устойчивость генеративных органов черешни к весенним заморозкам определяли методом искусственного промораживания [25]. Промораживали ветки с соцветиями, так как это больше соответствует естественным условиям. Ветки связывали в пучки так, чтобы соцветия были открыты, часть листьев удаляли. Основание веток смазывали садовым варом и обертывали влажной тканью. Моделировали в начале и середине мая весенние заморозки: -1°, -2°, -3° и -4°C в климатической камере «Еспрес» PSL-2КРН (Япония). При каждом температурном режиме брали по 100 шт. цветков, бутонов и завязь каждого сорта в 3-х кратной повторности. Температуру снижали со скоростью 1°C в час. Длительность воздействия отрицательной температуры – 3 часа. После достижения температуры 0...-1°C ветки опрыскивали водой из пульверизатора для предотвращения переохлаждения и продолжали снижать температуру до установленной. Ветки оттаивали при 0...2°C, затем постепенно повышали температуру до 20...22°C со скоростью 3°C в час. Опытный материал выдерживали в лаборатории (24 ч.) в сосудах с водой при t=22°C. В каждом соцветии просматривали цветки и бутоны. Оценивали повреждение тычинок, пестиков по потемнению тканей визуально. Затем подсчитывали количество здоровых и поврежденных цветков и бутонов. Подмерзание пестика [26-28] означает, что завязывания плодов не будет.

Ранжирование сортов черешни на группы устойчивости к весенним заморозкам провели согласно методическим рекомендациям [25]:

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

Сумма активных температур для каждого изученного сорта была рассчитана сложением среднесуточной температуры воздуха $\geq 3^\circ\text{C}$ в весенний

период, которая необходима для начала цветения и формирования завязи черешни [29]. Результаты обрабатывали методом дисперсионного (ANOVA) и корреляционного (r-Pearson) анализом, с использованием программного пакета MS Excel. Различия между вариантами считали достоверными при $p \leq 0,05$.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Весеннее развитие генеративных почек у черешни начинается при среднесуточной температуре $\geq 3^{\circ}\text{C}$. В Орловской области черешня цветет в конце апреля-начале мая. За годы исследований рассчитали сумму активных температур (САТ), которая варьировала в зависимости от сорта. Орловская розовая и Троснянская цветут раньше, чем другие сорта, т.е. при сумме активных температур $255,8^{\circ}\text{C}$ и $241,4^{\circ}\text{C}$ соответственно. Так для начала цветения сорта Сияна отметили необходимую САТ= $276,8^{\circ}\text{C}$, для сортов Аделина, Малыш, Орловская фея, Подарок Орлу САТ была выше ($298,4^{\circ}\text{C}$). Для формирования завязи сортов Сияна, Троснянская потребовалась сумма активных температур – 394°C . Сумма активных температур для развития завязи сортов Аделина, Подарок Орлу и Малыш была выше – $412,2^{\circ}\text{C}$.

В результате искусственного промораживания генеративных органов черешни (фенофаза – разрыхление бутонов) при -1°C показано, что генотипы черешни были на одном уровне устойчивости к весеннему заморозку. При этом сорта черешни (Аделина, Малыш, Орловская розовая, Орловская фея, Троснянская) переносили температуру -1°C без повреждений. У сортов Подарок Орлу, Сияна отметили незначительное подмерзание бутонов (не более 10%) при снижении температуры до -1°C . В большей степени повредились бутоны у сорта Сияна. После воздействия температуры -2°C не выявили существенные различия между изучаемыми сортами. У сорта Малыш бутоны сохранились здоровые. У остальных сортов бутоны повредились незначительно (менее 10%). Наибольшая степень подмерзания при $t = -2^{\circ}\text{C}$ выявлена у сортов Подарок Орлу и Сияна. При температурном режиме -3°C у сорта Малыш отметили единичные бутоны с погибшими пестиками. Были отмечены сорта (Орловская розовая, Орловская фея, Сияна, Троснянская), у которых бутоны повредились температурой -3°C не более 25%. У сортов Аделина, Подарок Орлу выявили среднее количество погибших бутонов. При снижении температуры до -4°C у всех изучаемых сортов черешни бутоны погибли (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1. Дисперсионный анализ результатов изучения черешни по устойчивости бутонов к весенним заморозкам
Table 1. Analysis of variance (ANOVA) of the results of study of resistance of sweet cherry buds to spring frosts

Источник варьирования Source of variation	Сумма квадратов Sum of squares	Число степеней свободы Number of degrees of freedom	Средний квадрат Middle square	Критерий Фишера, F Fischer criterion, F	
				фактическое значение actual value	табличное значение α_5 table value α_5
$t = -1^{\circ}\text{C}$					
Сорта Cultivars	454,78668	6	75,7977829	1,7	2,4
Случайные отклонения Random deviations	1341,0702	30	44,7023392		
$t = -2^{\circ}\text{C}$					
Сорта Cultivars	816,56134	6	141,151291	1,2	2,4
Случайные отклонения Random deviations	3945,6809	36	107,582397		
$t = -3^{\circ}\text{C}$					
Сорта Cultivars	2930,7219	6	48,453644	1,8	2,4
Случайные отклонения Random deviations	9763,8838	36	271,218994		

После моделирования весеннего заморозка -1°C выявлены существенные различия между сортами черешни по подмерзанию цветков. При этом установлены сорта черешни (Малыш, Орловская розовая, Подарок Орлу, Троснянская) с поврежденными цветками менее 10%. У остальных сортов отметили подмерзание цветков не более 25%. Максимальное количество поврежденных цветков наблюдали у сорта Аделина. После воздействия температуры -2°C отмечены существенные различия между генотипами черешни. У отдельных сортов (Малыш, Орловская

розовая, Троснянская) цветки повредились менее 25%. У них зафиксировали повреждение цветков – 14,2, 13,8 и 14,2% соответственно. Остальные сорта показали при данном температурном режиме средний уровень устойчивости цветков. В большей степени цветки повредились при $t = -2^{\circ}\text{C}$ у сортов Аделина и Подарок Орлу (рис. 3).

Промораживание сортов черешни при температурном режиме -3°C во время цветения позволило отметить существенные различия между изучаемыми генотипами. Выявили сорт Малыш с

наименьшим процентом поврежденных цветков, который проявил средний уровень устойчивости к заморозку. У ряда сортов черешни (Троснянская, Орловская розовая, Орловская фея, Сияна) выявили высокую степень повреждения цветков при действии

температуры -3°C . Очень сильное повреждение цветков при температурном режиме -3°C наблюдали у Аделины и Подарка Орлу. Температура -4°C оказалась критической для цветков изучаемых сортов черешни, также, как и для бутонов (табл. 2, рис. 2).

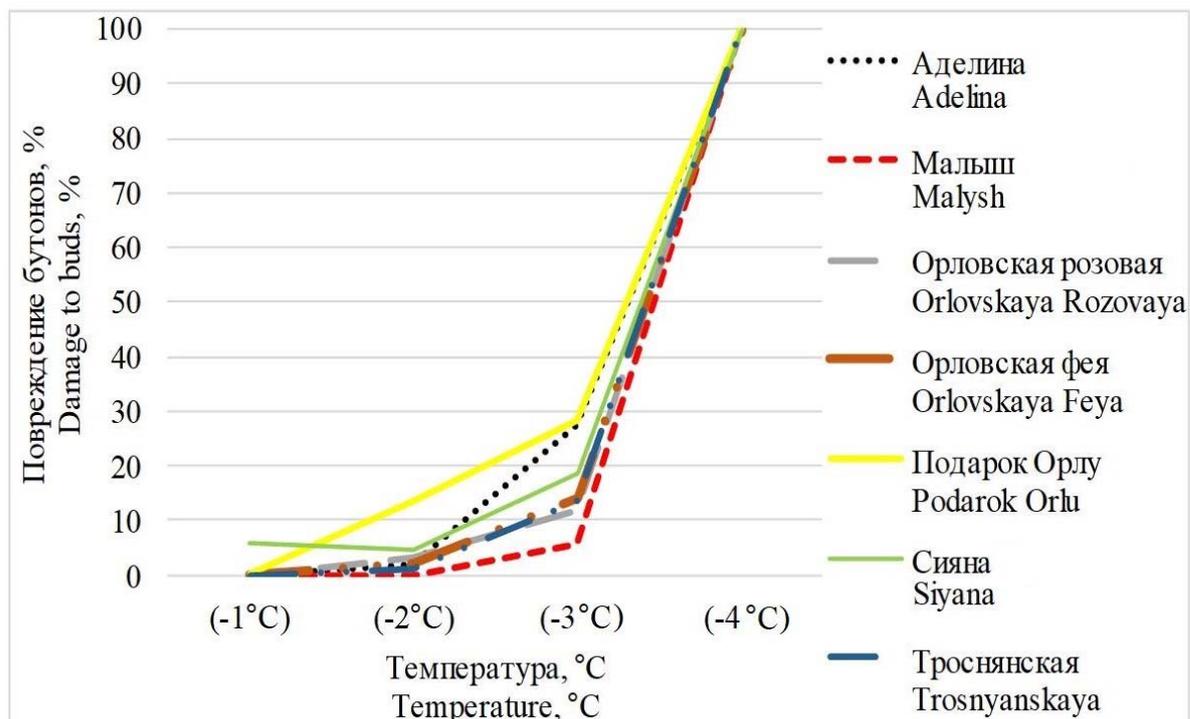


Рисунок 1. Повреждение бутонов черешни после моделирования весенних заморозков, % (достоверно при уровне значимости $p \leq 0,05$)

Figure 1. Damage to sweet cherry buds after modeling spring frosts, % (statistically significant differences at $p \leq 0.05$)

Таблица 2. Дисперсионный анализ результатов изучения черешни по устойчивости цветков к весенним заморозкам
Table 2. Analysis of variance (ANOVA) of the results of study of resistance of sweet cherry flowers to spring frosts

Источник варьирования Source of variation	Сумма квадратов Sum of squares	Число степеней свободы Number of degrees of freedom	Средний квадрат Middle square	Критерий Фишера, F Fischer criterion, F	
				фактическое значение actual value	табличное значение α_5 table value α_5
$t = -1^{\circ}\text{C}$					
Сорта Cultivars	2271,18	6	378,53024	4,4	2,4
Случайные отклонения Random deviations	3080,2903	36	85,563622		
$t = -2^{\circ}\text{C}$					
Сорта Cultivars	4594,4985	6	765,749756	3,5	2,4
Случайные отклонения Random deviations	7820,8384	36	217,245514		
$t = -3^{\circ}\text{C}$					
Сорта Cultivars	14161,911	6	2360,3186	6,3	2,4
Случайные отклонения Random deviations	13443,833	36	373,43982		

Определили устойчивость завязи черешни к весенним заморозкам. При снижении температуры до -1°C все изучаемые сорта черешни характеризовались высокой

устойчивостью завязи. Подмерзание завязи не зафиксировали. При последующем понижении температуры до $-1,6^{\circ}\text{C}$ были отмечены повреждения

завязи у сортов черешни не более 20%, что согласуется с полевыми данными [30]. Воздействие температуры -2°C значительно усилило степень подмерзания завязи у черешни. У генотипа Малыш отмечено минимальное повреждение завязи отрицательной температурой (18,8%) по сравнению с другими сортами. У отдельных сортов (Подарок Орлу, Сияна, Троснянская) зарегистрировали среднее подмерзание завязи (от 28,6 до 40%) при температурном режиме -2°C . В большей степени завязь повредилась при $t = -2^{\circ}\text{C}$ у сорта

Аделина. Дальнейшее понижение температуры до $-2,5^{\circ}\text{C}$ стала критической для завязи сортов Аделина и Троснянская. Очень сильно повредилась завязь у Сияны. Сильное подмерзание завязи наблюдали у сорта Малыш. По сравнению с другими сортами минимальное количество поврежденной завязи отметили у сорта Подарок Орлу. Промораживание при температурном режиме -3°C единичную живую завязь (6%) выявили у сорта Сияна. У сорта Подарок Орлу сохранилось 28% живой завязи (табл. 3; рис. 3).

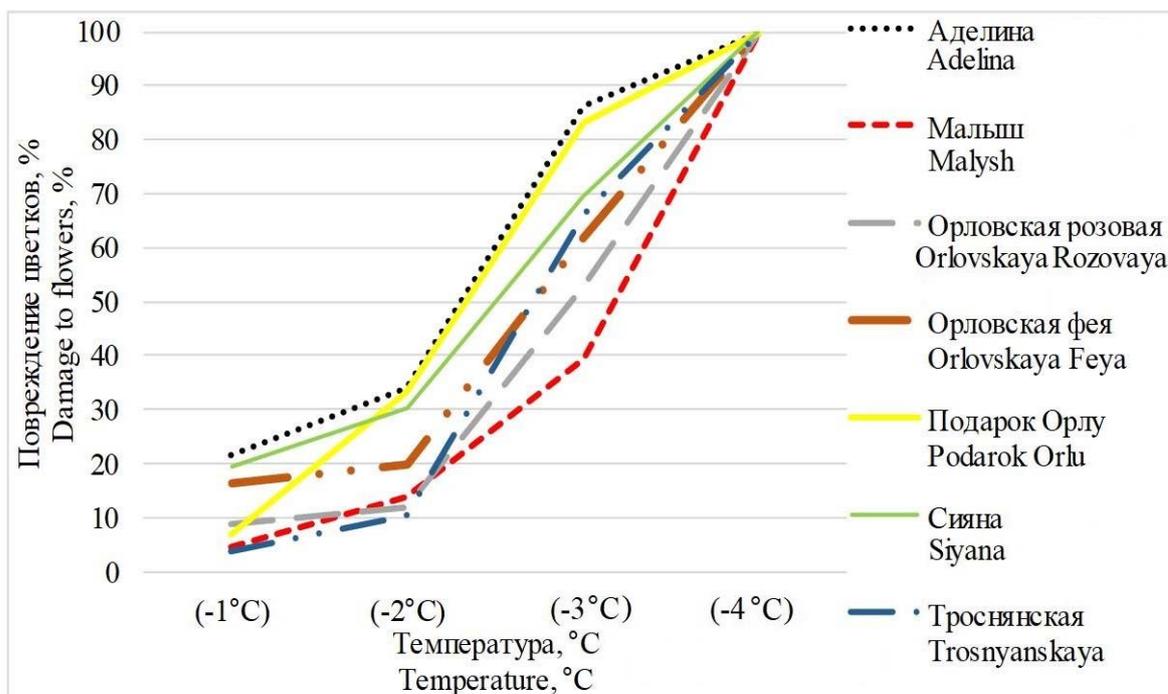


Рисунок 2. Повреждение цветков черешни после моделирования весенних заморозков (достоверно при уровне значимости $p \leq 0,05$)

Figure 2. Damage to sweet cherry flowers after modeling spring frosts (statistically significant differences at $p \leq 0.05$)

Таблица 3. Дисперсионный анализ результатов изучения черешни по устойчивости завязи к весенним заморозкам
Table 3. Analysis of variance (ANOVA) of the results of study of resistance of sweet cherry ovaries to spring frosts

Источник варьирования Source of variation	Сумма квадратов Sum of squares	Число степеней свободы Number of degrees of freedom	Средний квадрат Middle square	Критерий Фишера, F Fischer criterion, F	
				фактическое значение actual value	табличное значение F_{05} table value F_{05}
$t = -1,6^{\circ}\text{C}$					
Сорта Cultivars	604,70404	4	151,17601	4,3	3,8
Случайные отклонения Random deviations	278,6561	8	34,8320122		
$t = -2^{\circ}\text{C}$					
Сорта Cultivars	2818,8909	4	704,72272	90,2	3,8
Случайные отклонения Random deviations	62,50061	8	7,8125763		
$t = -2,5^{\circ}\text{C}$					
Сорта Cultivars	9054,3516	4	2263,5879	4166,4	3,8
Случайные отклонения Random deviations	4,346355	8	0,5432944		

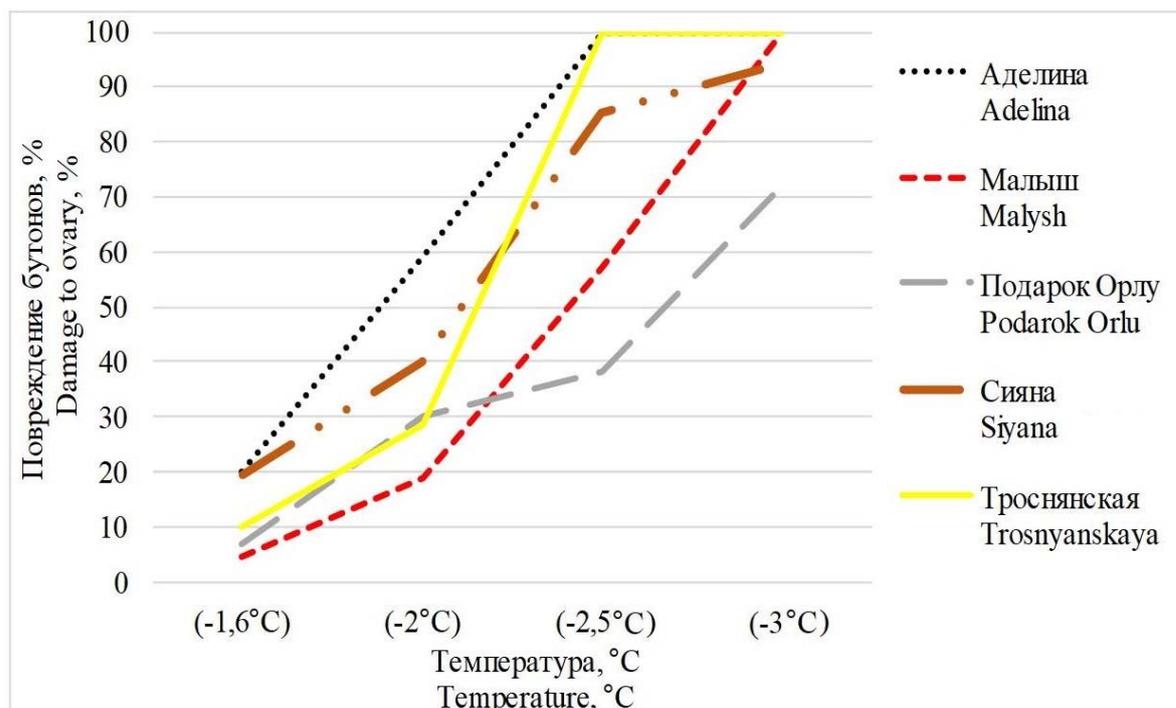


Рисунок 3. Повреждение завязи черешни после моделирования весенних заморозков, % (достоверно при уровне значимости $p \leq 0,05$)

Figure 3. Damage to sweet cherry ovaries after a simulation of spring frosts, % (statistically significant differences at $p \leq 0.05$)

В результате корреляционного анализа отметили заморозков и степень подмерзания генеративных сильную взаимосвязь между интенсивностью весенних органов сортов черешни (табл. 4).

Таблица 4. Корреляционная связь между степенью повреждения генеративных органов сортов черешни и температурой весеннего заморозка

Table 4. Correlation between the degree of damage to the generative organs of sweet cherry varieties and the temperature of spring frost

Сорт Cultivar	Коэффициент корреляции, r Correlation coefficient, r		
	Бутоны Buds	Цветки Flowers	Завязь Ovary
Аделина Adelina	-0,90	-0,97	-0,87
Малыш Malysh	-0,80	-0,94	-0,99
Орловская розовая Orlovskaya Rozovaya	-0,83	-0,95	-
Орловская фея Orlovskaya Feya	-0,85	-0,96	-
Подарок Орлу Podarok Orlu	-0,91	-0,98	-0,94
Сияна Siyana	-0,82	-0,98	-0,93
Троснянская Trosnyanskaya	-0,84	-0,96	-0,87

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мере фенологического развития генеративных органов черешни происходит снижение их устойчивости к весенним заморозкам. В большей степени повреждались цветки и завязь, чем бутоны. В бутонах и распустившихся цветках после заморозков в

первую очередь повреждался пестик, тычинки оставались не повреждёнными. В результате искусственного промораживания отметили начало повреждения цветков при температуре -1°C . Моделирование заморозков -2°C ... -3°C увеличило количество погибших репродуктивных органов.

Температура -4°C стала критической для черешни в период цветения. Для завязи сортов черешни критической оказалась температура -3°C . Высокоустойчивых и устойчивых сортов черешни не выявили. Проведенный эксперимент позволил выделить среднеустойчивый к весенним заморозкам сорт черешни Малыш, когда генеративные почки находились в фазе – разрыхление бутонов и цветение. Слабоустойчивые генотипы – Орловская розовая, Орловская фея, Троснянская, Сияна. Неустойчивые сорта – Аделина, Подарок Орлу, в период формирования завязи наибольший потенциал устойчивости к весенним заморозкам показал сорт Подарок Орлу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Winkler J.A., Cinderich A.B., Ddumba S.D., Doubler D., Nikolic J., Perdinan P.A.M., Young D.R., Zavalloni C. Understanding the Impacts of Climate on Perennial Crops // *Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources* / ed. Pielke R.A. Academic Press, 2013. V. 2. P. 37-49. DOI: 10.1016/B978-0-12-384703-4.00208-2
- Ожерельева З.Е., Голяева О.Д. Устойчивость цветков и бутонов смородины красной к весенним заморозкам // *Селекция, генетика и сортовая агротехника плодовых культур*. Орел: ВНИИСПК, 2009. С. 99-101.
- Robeson S.M. Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century // *Climatic Change*. 2002. V. 52. N 1-2. P. 219-238. DOI: 10.1023/A:1013088011223
- Fernández-Long M.E., Müller G.V., Beltrán-Przekurat A., Scarpati O.E. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina // *International Journal of Climatology*. 2013. V. 33. Iss. 7. P. 1673-1686. DOI: 10.1002/joc.3541
- Yu L., Zhong S., Bian X., Heilmann W.E., Andresen J.A. Temporal and spatial variability of frost-free seasons in the Great Lakes region of the United States // *International Journal of Climatology*. 2014. V. 34. Iss. 13. P. 3499-3514. DOI: 10.1002/joc.3923
- Wypych A., Ustrnul Z., Sulikowska A., Chmielewski F.M., Bochenek B. Spatial and temporal variability of the frost-free season in Central Europe and its circulation background // *International Journal of Climatology*. 2017. V. 37. Iss. 8. P. 3340-3352. DOI: 10.1002/joc.4920
- Rigby J.R., Porporato A. Spring frost risk in a changing climate // *Geophysical Research Letters*. 2008. V. 35. Iss. 12. L12703. DOI: 10.1029/2008GL033955
- Scheifinger H., Menzel A., Koch E., Peter C. Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe // *Theoretical and Applied Climatology*. 2003. V. 74. N 1-2. P. 41-51. DOI: 10.1007/s00704-002-0704-6
- Eccel E., Rea R., Caffarra A., Crisci A. Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phenological acclimation // *International Journal of Biometeorology*. 2009. V. 53. Iss. 3. P. 273-286. DOI: 10.1007/s00484-009-0213-8
- Rochette P., Bélanger G., Castonguay Y., Bootsma A., Mongrain D. Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada // *Canadian Journal of Plant Science*. 2004. V. 84. N 4. P. 1113-1125. DOI: 10.4141/P03-177
- Kaukoranta T., Tahvonen R., Ylämäki A. Climatic potential and risks for apple growing by 2040 // *Agricultural and Food Science*. 2010. V. 19. N 2. P. 144-159. DOI: 10.2137/145960610791542352
- Augsburger C.K. Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: Spring damage risk is increasing // *Ecology*. 2013. V. 94. Iss. 1. P. 41-50. DOI: 10.1890/12-0200.1
- Vitasse Y., Lenz A., Hoch G., Körner C. Earlier leaf-out rather than difference in freezing resistance puts juvenile trees at greater risk of damage than adult trees // *Journal of Ecology*. 2014. V. 102. Iss. 4. P. 981-988. DOI: 10.1111/1365-2745.12251
- Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Влияние заморозков на устойчивость генеративных органов вишни в период цветения // *Современное садоводство*. 2015. N 3. С. 45-51. URL: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2015/3/47.pdf>. (дата обращения: 15.06.2020)
- Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Изучение устойчивости вишни к весенним заморозкам // *Научно-методический электронный журнал Концепт*. 2016. Т. 26. С. 56-60. URL: <http://e-koncept.ru/2016/46412.htm>. (дата обращения: 15.06.2020)
- Proebsting E.L. Cold resistance of stone fruit flower buds. Cooperative Extension of Washington State University, Oregon State University, University of Idaho and U.S. Dept. of Agriculture, 1982. С. 1-7.
- Lasheen A.M., Chaplin C.E. Biochemical comparison of seasonal variations in three peach cultivars differing in cold hardiness // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1971. N 96. С. 154-159.
- Götz K.-P., Chmielewski F.M., Homann T., Huschek G., Matzneller P., Rawel M. Seasonal changes of physiological parameters in sweet cherry (*Prunus avium* L.) buds // *Scientia Horticulturae*. 2014. V. 172. P. 183-190. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.04.012
- Chmielewski F.M., Götz K.P. Identification and timing of dormant and ontogenetic phase for sweet cherries in Northeast Germany for modelling purposes // *Journal of Horticulture*. 2017. V. 4. N 3. P. 205. DOI: 10.4172/2376-0354.1000205
- Miranda C., Santesteban L.G., Royo J.B. Variability in the relationship between frost temperature and injury level for some cultivated *Prunus* species // *HortScience*. 2005. V. 40. Iss. 2. P. 357-361. DOI: 10.21273/hortsci.40.2.357
- Szalay L. Frost resistance and winter hardiness of apricot and peach varieties, (PhD). Budapest, 2001. P. 1-109.
- Szabó Z. Various factors in the yield stability of stone fruits, (DSc). Budapest, 2002. P. 1-228.
- Ожерельева З.Е., Ефремов И.Н. Изучение устойчивости вишни к весенним заморозкам // *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2019. Т. 6. N 1. С. 80-82.
- Szalay L., Gyökös I.G., Békefi Z. Cold hardiness of peach flowers at different phenological stages // *Horticultural Science*. 2018. V. 45. N 3. P. 119-124. DOI: 10.17221/146/2016-HORTSCI
- Леонченко В.Г., Евсеева П.П., Жбанова Е.В., Черенкова Т.А. Предварительный отбор перспективных генотипов плодовых растений на экологическую устойчивость и биохимическую ценность плодов (методические рекомендации). Мичуринск: ВНИИГИСПР, 2007. 72 с.
- Rodrigo J. Spring frosts in deciduous fruit trees. Morphological damage and flower hardiness // *Scientia*

- Horticulturae. 2000. V. 85. Iss. 3. P. 155-173. DOI: 10.1016/S0304-4238(99)00150-8
27. Salazar-Gutiérrez M.R., Chaves B., Anothai J., Whiting M., Hoogenboom G. Variation in cold hardiness of sweet cherry flower buds through different phenological stages // *Scientia Horticulturae*. 2014. V. 172. P. 161-167. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.04.002
28. Matzneller P., Götz K.-P., Chmielewski F.-M. Spring frost vulnerability of sweet cherries under controlled conditions // *International Journal of Biometeorology*. 2016. V. 60. N 1. P. 123-130. DOI: 10.1007/s00484-015-1010-1
29. Stepulaitiene I., Žebrauskienė A., Stanys V. Frost resistance is associated with development of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) generative buds // *Zemdirbyste-Agriculture*. 2013. V. 100. N 2. P. 175-178. DOI: 10.13080/z-a.2013.100.022
30. Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Устойчивость генеративных органов вишни к весенним заморозкам // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018. N 4. P. 7-10. DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/7-10
- REFERENCES**
- Winkler J.A., Cinderich A.B., Ddumba S.D., Doubler D., Nikolic J., Perdinan P.A.M., Young D.R., Zavalloni C. Understanding the Impacts of Climate on Perennial Crops. *Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources*. Academic Press. 2013, vol. 2, pp. 37-49. DOI: 10.1016/B978-0-12-384703-4.00208-2
 - Ozherelyeva Z.E., Golyaeva O.D. [Resistance of flowers and buds of red currant to spring frost]. In: *Selekziya, genetika i sortovaya agrotehnika plodovykh kultur* [Selection, genetics and varietal agricultural technology of fruit crops]. 2009, pp. 99-101. (In Russian)
 - Robeson S.M. Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century. *Climatic Change*, 2002, vol. 52, no. 1-2, pp. 219-238. DOI: 10.1023/A:1013088011223
 - Fernández-Long M.E., Müller G.V., Beltrán-Przekurat A., Scarpati O.E. Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 2013, iss. 33, pp. 1673-1686. DOI: 10.1002/joc.3541
 - Yu L., Zhong S., Bian X., Heilmann W.E., Andresen J.A. Temporal and spatial variability of frost-free seasons in the Great Lakes region of the United States. *International Journal of Climatology*, 2014, vol. 34, iss. 13, pp. 3499-3514. DOI: 10.1002/joc.3923
 - Wypych A., Ustrnul Z., Sulikowska A., Chmielewski F.M., Bochenek B. Spatial and temporal variability of the frost-free season in Central Europe and its circulation background. *International Journal of Climatology*, 2016, vol. 38, iss. 8, pp. 3340-3352. DOI: 10.1002/joc.4920
 - Rigby J.R., Porporato A. Spring frost risk in a changing climate. *Geophysical Research Letters*, 2008, vol. 35, iss. 12, L12703. DOI: 10.1029/2008GL033955
 - Scheifinger H., Menzel A., Koch E., Peter C. Trends of spring time frost events and phenological dates in central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 2003, vol. 74, iss. 1-2, pp. 41-51. DOI: 10.1007/s00704-002-0704-6
 - Eccel E., Rea R., Caffarra A., Crisci A. Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phenological acclimation. *International Journal of Biometeorology*, 2009, vol. 53, iss. 3, pp. 273-286. DOI: 10.1007/s00484-009-0213-8
 - Rochette P., Bélanger G., Castonguay Y., Bootsma A., Mongrain D. Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 2004, vol. 84, no. 4, pp. 1113-1125. DOI: 10.4141/P03-177
 - Kaukoranta T., Tahvonen R., Ylämäki A. Climatic potential and risks of apple growing by 2040. *Agricultural and Food Science*, 2010, vol. 19, no. 2, pp. 144-159. DOI: 10.2137/145960610791542352
 - Augsburger C.K. Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: spring damage risk is increasing. *Ecology*, 2013, vol. 94, iss. 1, pp. 41-50. DOI: 10.1890/12-0200.1
 - Vitasse Y., Lenz A., Hoch G., Körner C. Earlier leaf-out rather than difference in freezing resistance puts juvenile trees at greater risk of damage than adult trees. *Journal of Ecology*, 2014, vol. 102, iss. 4, pp. 981-988. DOI: 10.1111/1365-2745.12251
 - Ozherelieva Z.E., Gulyaeva A.A. Frost effect on resistance of cherry generative organs during flourification. *Sovremennoe sadovodstvo*, 2015, no 3, pp. 45-51. Available at: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2015/3/47.pdf>. (accessed 15.06.2020) (In Russian)
 - Ozherelieva Z.E., Gulyaeva A.A. [Studying the resistance of cherries to spring frosts]. *Nauchno-metodicheskii elektronnyi zhurnal Kontsept*, 2016, vol. 26, pp. 56-60. (In Russian) Available at: <http://e-koncept.ru/2016/46412.htm>. (accessed 15.06.2020)
 - Proebsting E.L. Cold resistance of stone fruit flower buds. Cooperative Extension of Washington State University, Oregon State University, University of Idaho and U.S. Dept. of Agriculture, 1982, pp. 1-7.
 - Lasheen A.M., Chaplin C.E. Biochemical comparison of seasonal variations in three peach cultivars differing in cold hardiness. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1971, no. 96, pp. 154-159.
 - Götz K.P., Chmielewski F.M., Homann T., Huschek G., Matzneller P., Rawel M. Seasonal changes of physiological parameters in sweet cherry (*Prunus avium* L.) buds. *Scientia Horticulturae*, 2014, vol. 172, pp. 183-190. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.04.012
 - Chmielewski F.M., Götz K.P. Identification and timing of dormant and ontogenetic phase for sweet cherries in Northeast Germany for modelling purposes. *Journal of Horticulture*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 205. DOI: 10.4172/2376-0354.1000205
 - Miranda C., Santesteban L.G., Royo J.B. Variability in the relationship between frost temperature and injury level for some cultivated *Prunus* species. *HortScience*, 2005, vol. 40, iss. 2, pp. 357-361. DOI: 10.21273/hortsci.40.2.357
 - Szalay L. Frost resistance and winter hardiness of apricot and peach varieties, (PhD). Budapest, 2001, pp. 1-109.
 - Szabó Z. Various factors in the yield stability of stone fruits, (DSc). Budapest, 2002, pp. 1-228.
 - Ozherelieva Z.E., Efremov I.N. Study resistance of cherry to spring frosts. *Selektsiya i sortovozvedenie sadovykh kul'tur* [Breeding and variety cultivation of fruit and berry crops]. 2019, vol. 6, no. 1, pp. 80-82. (In Russian)
 - Szalay L., Gyökös I.G., Békefi Z. Cold hardiness of peach flowers at different phenological stages. *Horticultural Science*, 2018, vol. 45, no. 3, pp. 119-124. DOI: 10.17221/146/2016-HORTSCI
 - Leonchenko V.G., Evseeva R.P., Zhanova E.V., Cherenkova T.A. *Predvaritel'nyi otbor perspektivnykh genotipov plodovykh rastenii na ekologicheskuyu ustoichivost' i biokhimicheskuyu tsnennost' plodov (metodicheskie rekomendatsii)* [Preliminary selection of

promising genotypes of fruit plants for ecological stability and biochemical value of fruits (recommendations)].

Michurinsk, VNIIGISPR Publ., 2007, 72 p. (In Russian)

26. Rodrigo J. Spring frosts in deciduous fruit trees.

Morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*, vol. 85, iss. 3, pp. 155-173. DOI:

10.1016/S0304-4238(99)00150-8

27. Salazar-Gutiérrez M.R., Chaves B., Anothai J., Whiting M., Hoogenboom G. Variation in cold hardiness of sweet cherry flower buds through different phenological stages.

Scientia Horticulturae, 2014, vol. 172, pp. 161-167. DOI:

10.1016/j.scienta.2014.04.002

28. Matzneller P., Götz K.-P., Chmielewski F.-M. Spring frost vulnerability of sweet cherries under controlled conditions.

International Journal of Biometeorology, 2016, vol. 60, no.

1, pp. 123-130. DOI: 10.1007/s00484-015-1010-1

29. Stepulaitiene I., Žebrauskiene A., Stanys V. Frost

resistance is associated with development of sour cherry

(*Prunus cerasus* L.) generative buds. *Zemdirbyste-*

Agriculture, 2013, vol. 100, no. 2, pp. 175-178. DOI:

10.13080/z-a.2013.100.022

30. Ozherelieva Z.E., Gulyaeva A.A. The cherry's generative

organs resistance to spring frost. *Vestnik of the Russian*

agricultural science, 2018, no. 4, pp. 7-10. (In Russian) DOI:

10.30850/vrsn/2018/4/7-10

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Зоя Е. Ожерельева и Александра А. Гуляева собрали материал, анализировали и интерпретировали результаты исследований, подготовили рукопись. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи, и несут ответственность за плагиат, самоплагиат или другие неэтические проблемы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Zoya E. Ozherelieva and Aleksandra A. Gulyaeva collected the data, conducted analysis and interpretation and drafted the manuscript. All authors equally participated in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism or other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Зоя Е. Ожерельева / Zoya E. Ozherelieva <https://orcid.org/0000-0002-1730-4073>

Александра А. Гуляева / Aleksandra A. Gulyaeva <https://orcid.org/0000-0002-5528-0981>