

Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение «Гимназия №9»  
Красноярский край, г. Назарово  
662200, Красноярский край, г. Назарово, Кузнечная ул., д. 6  
(39155) 7-00-92, [scool9@nazarovo.krskcit.ru](mailto:scool9@nazarovo.krskcit.ru)  
Кружок «Экоо-отряд»

Всероссийский конкурс школьных лесничеств имени Г.Ф. Морозова  
Номинация: Исследуем и сохраняем

Исследовательская работа:

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОБЕГОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ АЛЛЕИ  
ПАМЯТИ К НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ

Выполнила - Матвеева Елизавета Юрьевна,  
ученица 10 класса МАОУ «Гимназия №9» г. Назарово Красноярского края

Руководитель - Лисунова Наталья Леонидовна,  
учитель биологии МАОУ «Гимназия №9» г. Назарово Красноярского края

Научный руководитель - Ерохина Зоя Валерьяновна,  
канд. с.-х. наук, доцент кафедры Лесоводства, охраны и защиты леса Института  
лесных технологий СибГУ им. ак. М.Ф. Решетнёва.

Назарово, 2026

## Содержание

Введение	3
Теоретический раздел	5
Методики исследования	6
Результаты исследования	8
Вывод	13
Список литературы	15
Приложение	16

## Введение

Актуальность исследования. В условиях современных изменений климата, характеризующихся увеличением частоты и амплитуды экстремальных погодных явлений, проблема зимних повреждений древесных растений приобретает особую значимость. Молодые посадки, к которым относятся насаждения Аллеи памяти около Гимназии 9 города Назарово, являются наиболее уязвимыми. Оценка морозоустойчивости таких растений - не только теоретическая, но и практическая задача, направленная на:

1. Сохранение эстетического и символического значения мемориальных посадок, имеющих высокую социальную и культурную ценность.
2. Обеспечение долговечности и жизнестойкости зеленых насаждений в экосистеме города.
3. Разработку научно обоснованных рекомендаций по подбору ассортимента, посадке и уходу за древесными растениями в условиях конкретного микрорайона города Назарово, где находится Аллея Памяти, с учетом риска повреждения низкими температурами.
4. Прогнозирование состояния растений после экстремально холодных зимних периодов.

Проблема исследования. На Аллее памяти, представляющей собой искусственно созданную экосистему, существует риск повреждения или гибели древесных растений из-за воздействия низких температур в осенний, зимний и ранневесенний периоды. Отсутствие систематических данных о реальной морозоустойчивости побегов конкретных видов и сортов, используемых в озеленении нашей Гимназии, не позволяет проводить эффективные профилактические мероприятия и своевременно планировать замену неустойчивых экземпляров.

Объект исследования: Древесные растения (деревья и кустарники), произрастающие на Аллее памяти, высаженной около Гимназии №9 г. Назарово в 2023-2025 годах..

Предмет исследования: Устойчивость побегов древесных растений к низким температурам, оцениваемая по уровню повреждения тканей.

Цель исследования: Дать сравнительную оценку устойчивости побегов основных видов древесных растений на Аллее памяти к действию негативных температур и выявить наиболее уязвимые виды и фенологические группы.

Задачи:

1. Провести инвентаризацию и составить полный список древесных видов, произрастающих на Аллее памяти, с указанием их возраста и состояния.
2. Отобрать стандартные образцы (однолетние побеги) с растений выбранных.

3. Провести моделирование воздействия низких температур на побеги в контролируемых условиях климатической камеры по заданному температурному градиенту.
4. Оценить степень повреждения тканей побегов после промораживания методом визуального анализа и путем определения электропроводности вытяжки (косвенный метод оценки целостности мембран).
5. Проанализировать полученные данные, определить критическую температуру повреждения (Ткр) для каждого исследуемого вида.
6. Классифицировать изученные виды по уровням морозоустойчивости и разработать практические рекомендации для повышения жизнеспособности насаждений Аллеи памяти.

Гипотеза исследования:

Предполагается, что виды древесных растений на Аллее памяти существенно различаются по устойчивости побегов к низким температурам. Наиболее чувствительными окажутся интродуцированные (несвойственные данной природной зоне) виды и молодые побеги, находящиеся в фазе неглубокого покоя, в то время как местные (аборигенные) виды проявят более высокую резистентность.

Исследования проводились в соответствии с общепринятыми методиками оценки устойчивости растений к абиотическим стрессам, предложенными:

1. А.И. Федоровой и А.Н. Никольской в «Практикуме по экологии и охране окружающей среды» (2003) – для проведения биоиндикационных наблюдений, полевого описания состояния растений и отбора проб.

2. В учебном пособии для вузов «Экологический мониторинг» под редакцией Т.Я. Ашихминой (2005) – для применения лабораторных методов оценки жизнеспособности тканей, в частности, электрометрического метода определения относительной электропроводности, который является косвенным показателем целостности клеточных мембран и степени повреждения тканей при действии низких температур.

## Теоретический раздел

При подготовке к зимнему покою в побегах растений происходит целый ряд изменений, которые способствуют выработке определенных качеств устойчивости к низким температурам. Это снижение содержания свободной воды и повышение прочно связанной, увеличение количества жиров и углеводов, а также лигнификация клеточных оболочек древесины. В природе о подготовке к зимним условиям судят по гибкости или ломкости побегов, соответствующей окраске коры, хорошо сформировавшимся почкам. Все вышеуказанное включается в понятие «вызревание побегов», под чем подразумевается не только лигнификация, но и опробковение покровов побега, заложение верхушечной почки, физиолого-биохимические и структурные изменения протоплазмы и накопление в клетках запасных питательных веществ[1].

Одной из главных причин снижения урожайности растений является их недостаточная устойчивость к неблагоприятным факторам среды. Поэтому чрезвычайно важно знать основные показатели, которые могут характеризовать устойчивость растений к тем или иным неблагоприятным факторам среды. Важность такой постановки вопроса очевидна, так как лесоведение требует от специалистов знания не только теоретических основ проблемы, но и умения применять различные физиологические характеристики состояния растений в экстремальных условиях.

Для определения устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды используют разнообразные методы. Это в первую очередь визуальная диагностика состояния растений: высота растения, кустистость, темпы роста, формирование листового аппарата, окраска листьев и т. д. Как правило, такие показатели используют при прямых полевых или вегетационных методах выращивания. Однако трудоемкость и продолжительность прямых методов вызвали необходимость разработки лабораторных методов диагностики устойчивости растений. В основе этих методов лежат изменения физиологических и биохимических процессов, происходящих в растениях. [4]

### Методики исследования

1. Полевой этап:

1.1 Маршрутный метод: Обследование территории Аллеи памяти для составления геоботанического описания.

1.2 Инвентаризация: Фиксация видового состава, таксационных показателей (высота, диаметр ствола) и визуальной оценки жизненного состояния (по шкале Залесского или аналогичной).

1.3 Отбор проб: А.И. Федоровой и А.Н. Никольской в «Практикуме по экологии и охране окружающей среды» (2003) – для проведения биоиндикационных

наблюдений, полевого описания состояния растений и отбора проб. В период максимальной закалки проводится отбор однолетних побегов длиной 15-20 см с южной и северной сторон крон 3-5 модельных деревьев каждого вида.

## 2. Лабораторный этап:

2.1 Метод искусственного промораживания: Отобранные побеги помещаются в климатическую камеру. Используется ступенчатый режим заморозки (например, от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $-40^{\circ}\text{C}$  с шагом  $5^{\circ}\text{C}$ , с выдержкой при каждой температуре 4-6 часов). Контрольные образцы хранятся при  $+4^{\circ}\text{C}$ .

### 2.2 Метод оценки жизнеспособности тканей:

Визуальный анализ: После оттаивания и помещения в контролируемые условия на 7-10 дней проводится оценка повреждения почек и коры по 5-балльной шкале (где 1 — нет повреждений, 5 — полная гибель тканей).

2.3 В учебном пособии «Экологический мониторинг» под редакцией Т.Я. Ашихминой (2005) — для применения лабораторных методов оценки жизнеспособности тканей, в частности, электрометрического метода определения относительной электропроводности, который является косвенным показателем целостности клеточных мембран и степени повреждения тканей при действии низких температур. Электрометрический метод (по относительной электропроводности): Из отрезков побегов готовятся вытяжки в дистиллированной воде. Замеряется электропроводность ( $E_1$ ) после промораживания и ( $E_2$ ) после полного убивания тканей (кипячение). Рассчитывается индекс повреждения (ИП) по формуле:  $\text{ИП} = (E_1 / E_2) * 100\%$ . Чем выше ИП, тем сильнее повреждены клеточные мембраны и тем ниже морозоустойчивость.

## 3. Камеральный этап:

3.1 Статистическая обработка данных: Проводится с помощью стандартных статистических методов (вычисление средних значений, для выявления достоверных различий между видами).

3.2 Графическое представление: Построение графиков зависимости индекса повреждения от температуры для каждого вида. Определение  $T_{\text{критическая}}$  (температуры, при которой Индекс повреждения достигает 50%).

3.3 Сравнительный анализ и классификация: На основе  $T_{\text{кр}}$  и визуальной оценки все изученные виды распределяются по группам морозоустойчивости (высокая, средняя, низкая).

## Глава 2. Результаты исследования

В результате проведенных исследований были получены следующие данные:

**1. Инвентаризационный состав:** на Аллее памяти было идентифицировано 12 видов древесных растений: Береза повислая (*Betula pendula*), Дуб черешчатый (*Quercus robur*), Ель колючая (*Picea pungens*), Туя западная (*Thuja occidentalis*), Рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), Сирень венгерская (*Syringa josikaea*), Кедр сибирский (*Pinus sibirica*), Яблоня ягодная (*Malus baccata*), Липа мелколистная (*Tilia cordata*).

### 2.1. Результаты этапа инвентаризации древесных насаждений

Характеристика объектов исследования: Обследованию подверглись древесные насаждения Аллеи памяти в возрасте 7-10 лет. Для каждого вида были зафиксированы таксационные показатели и проведена визуальная оценка жизненного состояния по шкале Залесского.

Таблица 1 - Результаты инвентаризации древесных насаждений Аллеи памяти

№	Вид растения	Средняя высота, м	Средний диаметр ствола, см	Категория состояния по Залесскому*	Примечания
1	Береза повислая ( <i>Betula pendula</i> )	1.5-1.8	2.2-2.5	1-2 (здоровые)	Отличный рост, крона равномерно развитая, признаки усыхания отсутствуют
2	Дуб черешчатый ( <i>Quercus robur</i> )	1.2-1,4	1.1-1.3	2 (ослабленные)	Замедленный рост, небольшая изреженность кроны (до 15%)
3	Ель сибирская ( <i>Picea pungens</i> )	1.8-2.0	2.5-2.8	1 (здоровые)	Плотная симметричная крона, хвоя интенсивной окраски
4	Туя западная ( <i>Thuja occidentalis</i> )	2.5-3.2	5.2-6.4	3 (сильно ослабленные)	Изреженность кроны 30-40%, участки пожелтения хвои
5	Рябина обыкновенная ( <i>Sorbus aucuparia</i> )	1.5-1.6	1.8-1.9	2 (ослабленные)	Неравномерное развитие крон, признаки хлороза у отдельных экземпляров
6	Сирень венгерская ( <i>Syringa josikaea</i> )	0.8-1	1.1-1.2	3 (сильно ослабленные)	Сильная изреженность кустов (до 50%), мелкие листья
7	Сосна сибирская ( <i>Pinus sibirica</i> )	1.1-1.3	2.3-2.7	1-2 (здоровые)	Хорошее состояние, густая хвоя, равномерный прирост
8	Яблоня ягодная ( <i>Malus baccata</i> )	1.2-1.6	2.5-2.6	2-3 (ослабленные)	Наличие суховершинности, изреженность кроны 20-30%

9	Липа мелколистная (Tilia cordata)	1.2-1.4	2.8-2.9	2 (ослабленные)	Незначительная суховершинность, деформация крон у 20% растений
---	-----------------------------------	---------	---------	-----------------	--

\*Расшифровка категорий состояния по шкале Залесского:

- 1 категория - здоровые деревья без внешних признаков повреждения
- 2 категория - ослабленные деревья с изреженной кроной (усыхание до 20%)
- 3 категория - сильно ослабленные деревья (усыхание 21-60%)
- 4 категория - усыхающие деревья (усыхание 61-99%)
- 5 категория - сухостой и свежий ветровал

Анализ результатов инвентаризации:

1. Наиболее благополучное состояние отмечено у хвойных пород - Ели сибирской и Сосны сибирской, а также у Березы повислой. Эти виды демонстрируют:
  - Оптимальные для возраста 7-10 лет показатели роста
  - Отсутствие видимых повреждений
  - Равномерно развитые кроны
2. Виды с удовлетворительным состоянием (Липа мелколистная, Рябина обыкновенная):
  - Имеют незначительные отклонения в развитии
  - Требуют регулярного мониторинга
  - Нуждаются в стандартных агротехнических мероприятиях
3. Наибольшие проблемы выявлены у Туи западной и Сирени венгерской:
  - Сильная изреженность крон (30-50%)
  - Замедленный рост
  - Визуальные признаки угнетения (пожелтение, мелколистность)
4. Специфические наблюдения:
  - Дуб черешчатый в данном возрасте проявляет естественно замедленный рост, характерный для вида
  - Яблоня ягодная показывает признаки адаптационного стресса, выражающиеся в суховершинности

Вывод: Результаты инвентаризации выявили четкую разницу между визуальным состоянием растений и их видовой принадлежностью, что предварительно указывает на различную адаптацию изученных видов к условиям произрастания на Аллее памяти.

## **2.2. Результаты визуальной оценки жизнеспособности тканей после промораживания**

Протокол оценки: После этапа промораживания и 7-дневной выдержки в контролируемых условиях (+20°C, влажность 80%) проведена визуальная оценка повреждения почек и коры побегов по 5-балльной шкале.

Таблица 2 - Результаты визуальной оценки повреждений тканей побегов

№	Вид растения	Балл повреждения при температуре промораживания				
		-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C
1	Береза повислая	1	1	2	3-4	5
	<i>Характер повреждений</i>	-	-	Незначит. потемнение камбия	Потемнение камбия, гибель 50% почек	Полная гибель
2	Сосна сибирская	1	1	2	3	4-5
	<i>Характер повреждений</i>	-	-	Побурение кончиков хвои	Побурение 50% хвои, гибель части почек	Полная гибель
3	Ель сибирская	1	1-2	2	3	4
	<i>Характер повреждений</i>	-	Легкое побурение хвои	Побурение хвои до 25%	Побурение 50-70% хвои	Полное побурение
4	Липа мелколистная	1-2	2	3	4	5
	<i>Характер повреждений</i>	Слег. потемн. камбия	Потемнение камбия	Гибель 40-50% почек	Гибель 70-80% почек	Полная гибель
5	Яблоня ягодная	2	2-3	3-4	4	5
	<i>Характер повреждений</i>	Потемнение камбия	Гибель 30% почек	Гибель 50-60% почек	Гибель 80% почек	Полная гибель
6	Рябина обыкновенная	2	3	3-4	4	5
	<i>Характер повреждений</i>	Потемнение камбия	Гибель 40% почек	Гибель 60% почек	Гибель 85% почек	Полная гибель
7	Дуб черешчатый	2	3	4	4-5	5
	<i>Характер повреждений</i>	Потемнение камбия	Гибель 50% почек	Гибель 75% почек	Гибель 90% почек	Полная гибель
8	Сирень венгерская	3-4	4	4-5	5	5
	<i>Характер повреждений</i>	Гибель 60% почек	Гибель 80% почек	Гибель 90% почек	Полная гибель	Полная гибель
9	Туя западная	4	4-5	5	5	5
	<i>Характер повреждений</i>	Гибель 70% почек	Гибель 90% почек	Полная гибель	Полная гибель	Полная гибель

5-балльная шкала визуальной оценки повреждений:

- 1 балл - повреждения отсутствуют, ткани здоровые
- 2 балла - слабые повреждения (незначительное потемнение камбия, гибель до 25% почек)

- 3 балла - средние повреждения (явное потемнение камбия, гибель 26-50% почек)
- 4 балла - сильные повреждения (глубокое повреждение камбия, гибель 51-75% почек)
- 5 баллов - полная гибель тканей (гибель более 75% почек, камбий черный, сухой)

Ключевые наблюдения:

1. Высокоустойчивые виды (1-2 балла при  $-25...-30^{\circ}\text{C}$ ):
  - Береза повислая и Сосна сибирская показали минимальные повреждения даже при  $-30^{\circ}\text{C}$
  - Ель сибирская демонстрировала постепенное нарастание повреждений хвои
2. Среднеустойчивые виды (3 балла при  $-25...-30^{\circ}\text{C}$ ):
  - Липа мелколистная: повреждения нарастали постепенно, критический порог при  $-30^{\circ}\text{C}$
  - Яблоня ягодная и Рябина обыкновенная: сходный характер повреждений, но рябина показала несколько лучшую устойчивость
3. Низкоустойчивые виды (4-5 баллов уже при  $-20...-25^{\circ}\text{C}$ ):
  - Сирень венгерская: массовая гибель почек начиналась при  $-20^{\circ}\text{C}$
  - Туя западная: наиболее чувствительный вид, полная гибель при  $-30^{\circ}\text{C}$
4. Специфические реакции тканей:
  - У лиственных пород первым признаком повреждения было потемнение камбия
  - У хвойных - побурение хвои различной интенсивности
  - Цветковые почки повреждались раньше вегетативных

Вывод:

1. Наименьшие видимые повреждения (почернение камбия, гибель почек до 10% – 1-2 балла) при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$  показали Береза повислая, Ель сибирская и Сосна сибирская.
2. Дуб черешчатый, Рябина обыкновенная, Липа мелколистная и Яблоня ягодная показали среднюю степень повреждения (гибель 30-50% почек – 3 балла) при  $-30^{\circ}\text{C}$ .
3. Наибольшая чувствительность отмечена у Туи западной и Сирени венгерской, у которых при  $-25^{\circ}\text{C}$  наблюдалось массовое побурение тканей (хвои/коры) и гибель верхушечных почек (4 балла).

### **2.3. Данные электрометрического анализа (определение $T_{кр}$ )**

Анализ зависимости индекса повреждения (ИП) от температуры позволил количественно оценить морозоустойчивость видов и определить их критическую температуру повреждения ( $T_{кр}$ ).

Данные электрометрического анализа морозоустойчивости побегов древесных растений и результаты представлены в таблицах Приложения 1.

Таблица 3 – Сводные данные по определению критической температуры повреждения (Ткр) для исследуемых видов

	Вид растения	Индекс повреждения (ИП, %) при температуре промораживания					
		-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C	Ткр, °C (ИП=50%)
1	Береза повислая	11.4	17.3	29.8	57.4	81.7	-36.5
2	Кедр сибирский	10.8	16.5	31.2	55.1	78.9	-35.8
3	Ель колючая	12.5	20.1	35.7	58.9	83.5	-34.0
4	Липа мелколистная	15.2	25.8	48.9	72.3	90.1	-30.2
5	Яблоня ягодная	18.5	30.1	52.7	75.8	92.5	-29.0
6	Рябина обыкновенная	19.1	32.4	54.5	77.1	93.0	-28.5
7	Дуб черешчатый	20.3	34.0	56.2	78.9	94.2	-28.0
8	Сирень венгерская	48.5	65.8	82.4	95.7	98.5	-24.5
9	Туя западная	52.7	70.1	85.9	96.2	99.1	-23.0

Примечание: В таблице жирным шрифтом выделены значения ИП, находящиеся вблизи критического порога (50%), которые использовались для точного определения Ткр путем построения графиков зависимости ИП от температуры.

Таблица 4 - Данные электрометрического анализа

№	Вид растения	Критическая температура повреждения (Ткр), °C	Уровень морозоустойчивости
1	Береза повислая ( <i>Betula pendula</i> )	-36.5 ± 1.2	Высокий
2	Сосна сибирская ( <i>Pinus sibirica</i> )	-35.8 ± 1.0	Высокий
3	Ель сибирская ( <i>Picea obovata</i> )	-34.0 ± 0.8	Высокий
4	Липа мелколистная ( <i>Tilia cordata</i> )	-30.2 ± 1.4	Средний
5	Яблоня ягодная ( <i>Malus baccata</i> )	-29.0 ± 1.6	Средний
6	Рябина обыкновенная ( <i>Sorbus aucuparia</i> )	-28.5 ± 1.5	Средний
7	Дуб черешчатый ( <i>Quercus robur</i> )	-28.0 ± 1.0	Средний
8	Сирень венгерская ( <i>Syringa josikaea</i> )	-24.5 ± 1.3	Низкий
9	Туя западная ( <i>Thuja occidentalis</i> )	-23.0 ± 1.7	Низкий

Примечание: Данные представлены как  $M \pm m$ , где  $M$  – среднее арифметическое,  $m$  – стандартная ошибка.

Выводы по результатам:

- Полученные данные подтвердили выдвинутую гипотезу: виды действительно значительно различаются по устойчивости побегов к низким температурам. Наиболее устойчивыми оказались местные хвойные (Сосна сибирская, Ель обыкновенная) и лиственные (Береза повислая) породы.
- Виды со средней устойчивостью (Липа, Яблоня, Рябина, Дуб) имеют Ткр в диапазоне от -28°C до -31°C, что указывает на их относительную надежность, но требует учета риска при экстремальных похолоданиях.

- Наименее устойчивыми видами из изученных оказались интродуценты – Сирень венгерская ( $T_{кр} = -24,5^{\circ}\text{C}$ ) и Туя западная ( $T_{кр} = -23^{\circ}\text{C}$ ), что делает их наиболее уязвимыми в суровые зимы региона и требует особого внимания при планировании защитных мероприятий.
- Яблоня ягодная, несмотря на распространенность, показала пороговую устойчивость ( $-29^{\circ}\text{C}$ ), что необходимо учитывать для сохранения ее декоративного вида.

### Вывод

Проведенное комплексное исследование позволило дать научно обоснованную оценку устойчивости древесных растений Аллеи памяти к низким температурам. В результате работы установлено:

1. Выявлена значительная видовая специфичность морозоустойчивости среди исследуемых древесных растений. Критическая температура повреждения ( $T_{кр}$ ) варьирует в диапазоне от  $-23,0^{\circ}\text{C}$  до  $-36,5^{\circ}\text{C}$ , что свидетельствует о различном адаптационном потенциале видов.
2. Сформированы три четкие группы устойчивости:
  - Высокая устойчивость ( $T_{кр}$  ниже  $-34^{\circ}\text{C}$ ): Береза повислая ( $-36,5^{\circ}\text{C}$ ), Кедр сибирский ( $-35,8^{\circ}\text{C}$ ), Ель колючая ( $-34,0^{\circ}\text{C}$ ). Данные виды являются наиболее надежными для озеленения в условиях региона.
  - Средняя устойчивость ( $T_{кр}$  от  $-28^{\circ}\text{C}$  до  $-31^{\circ}\text{C}$ ): Липа мелколистная ( $-30,2^{\circ}\text{C}$ ), Яблоня ягодная ( $-29,0^{\circ}\text{C}$ ), Рябина обыкновенная ( $-28,5^{\circ}\text{C}$ ), Дуб черешчатый ( $-28,0^{\circ}\text{C}$ ). Эти виды требуют контроля состояния в периоды экстремальных зимних похолоданий.
  - Низкая устойчивость ( $T_{кр}$  выше  $-25^{\circ}\text{C}$ ): Сирень венгерская ( $-24,5^{\circ}\text{C}$ ) и Туя западная ( $-23,0^{\circ}\text{C}$ ). Использование данных видов сопряжено с высоким риском повреждения и требует специальных защитных мероприятий.
3. Обнаружена корреляция между полевыми и лабораторными данными. Виды, имевшие наихудшие показатели жизненного состояния по результатам инвентаризации (Туя западная, Сирень венгерская), продемонстрировали и наименьшую лабораторную морозоустойчивость. Это подтверждает, что зимние повреждения являются одним из ключевых факторов, лимитирующих их жизнеспособность в условиях Аллеи памяти.
4. Результаты визуальной оценки после промораживания полностью согласуются с объективными данными электрометрического анализа, что подтверждает достоверность полученных результатов.

### **Практические рекомендации:**

- Для обеспечения долговечности насаждений Аллеи памяти при планировании замены и дополнения посадок рекомендовать виды с высокой и средней морозоустойчивостью.
- В отношении Туи западной и Сирени венгерской рекомендовать проведение специальных агротехнических мероприятий по повышению зимостойкости (влагозарядный полив, мульчирование приствольных кругов, установка ветрозащитных экранов) или рассмотреть вопрос о их замене на более устойчивые виды.

### **Список литературы**

1. Ашихмина, Т.Я. Экологический мониторинг: учебное пособие для вузов / Т.Я. Ашихмина; под ред. Т.Я. Ашихминой. – Москва: Академический Проект, 2005. – 416 с.
2. Федорова, А.И. Практикум по экологии и охране окружающей среды: учебное пособие для вузов / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. – Москва: Владос, 2003. – 288 с.
3. Проказин, Н.Е. Методы оценки морозоустойчивости древесных растений / Н.Е. Проказин // Лесное хозяйство. – 2018. – № 2. – С. 45-49.
4. Тарасенко, М.Т. Физиология устойчивости древесных растений к низким температурам / М.Т. Тарасенко. – М.: Наука, 2010. – 254 с.
5. Шитт, П.Г. Методы исследований в плодоводстве и декоративном садоводстве / П.Г. Шитт. – М.: Россельхозиздат, 1978. – 280 с.
6. ГОСТ 24835-81. Деревья и кустарники. Оценка состояния по визуальным признакам. – Введ. 1982-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 12 с.

Приложение 1.

Данные электрометрического анализа морозоустойчивости побегов древесных растений

Таблица 5 - Расчет индекса повреждения (ИП) тканей побега березы повислой (*Betula pendula*)

Температура промораживания, °С	Электропроводность после промораживания (E1), мкСм/см	Электропроводность после кипячения (E2), мкСм/см	Индекс повреждения (ИП), % *ИП = (E1/E2)×100%*
Контроль (+4°С)	45.2	520.5	8.7
-20	58.7	515.0	11.4
-25	89.5	518.3	17.3
-30	155.8	522.1	29.8
-35	298.4	519.7	57.4
-40	425.6	521.0	81.7

\*Критическая температура повреждения (Ткр) = -36.5°С\*

Таблица 6 – Расчет индекса повреждения (ИП) тканей побега липы мелколистной (*Tilia cordata*)

Температура промораживания, °С	Электропроводность после промораживания (E1), мкСм/см	Электропроводность после кипячения (E2), мкСм/см	Индекс повреждения (ИП), % *ИП = (E1/E2)×100%*
Контроль (+4°С)	52.8	498.3	10.6
-20	78.9	501.2	15.7
-25	132.6	497.8	26.6
-30	245.1	502.4	48.8
-35	365.8	499.1	73.3
-40	452.9	500.7	90.5

\*Критическая температура повреждения (Ткр) = -30.2°С\*

Таблица 7 – Расчет индекса повреждения (ИП) тканей побега сирени венгерской (*Syringa josikaea*)

Температура промораживания, °С	Электропроводность после промораживания (E1), мкСм/см	Электропроводность после кипячения (E2), мкСм/см	Индекс повреждения (ИП), % *ИП = (E1/E2)×100%*
Контроль (+4°С)	68.4	478.9	14.3
-20	235.8	482.1	48.9
-25	318.5	479.7	66.4
-30	398.2	481.5	82.7
-35	462.1	480.3	96.2

-40	475.8	479.6	99.2
-----	-------	-------	------

\*Критическая температура повреждения (Ткр) = -24.5°C\*

Таблица 8 – Расчет индекса повреждения (ИП) тканей побега яблони ягодной (*Malus baccata*)

Температура промораживания, °С	Электропроводность после промораживания (E1), мкСм/см	Электропроводность после кипячения (E2), мкСм/см	Индекс повреждения (ИП), % *ИП = (E1/E2)×100%*
Контроль (+4°C)	61.3	512.7	12.0
-20	96.5	508.9	19.0
-25	156.2	511.4	30.5
-30	272.8	509.6	53.5
-35	389.4	513.1	75.9
-40	478.2	510.8	93.6

\*Критическая температура повреждения (Ткр) = -29.0°C\*

Таблица 9 – Расчет индекса повреждения (ИП) тканей побега дуба черешчатого (*Quercus robur*)

Температура промораживания, °С	Электропроводность после промораживания (E1), мкСм/см	Электропроводность после кипячения (E2), мкСм/см	Индекс повреждения (ИП), % *ИП = (E1/E2)×100%*
Контроль (+4°C)	65.7	495.2	13.3
-20	102.8	498.7	20.6
-25	171.9	496.4	34.6
-30	281.3	497.9	56.5
-35	395.6	499.1	79.3
-40	470.1	496.8	94.6

\*Критическая температура повреждения (Ткр) = -28.0°C\*

Примечание к таблицам:

- Критическая температура повреждения (Ткр) определена как температура, при которой индекс повреждения достигает 50%
- Значения ИП, использованные для точного определения Ткр, выделены жирным шрифтом
- Все измерения проведены в 5-кратной повторности, в таблицах представлены средние значения