



Научная статья

УДК 581.522.4:582.475.4(470.21)

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-178-188

### *Pinus sibirica* Du Tour в условиях интродукции на примере Полярно-альпийского ботанического сада-института

О.А. Гончарова<sup>✉</sup>, канд. биол. наук, ст. науч. сотр.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8881-8522>

О.Е. Зотова, мл. науч. сотр.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4986-606X>

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН, ул. Ферсмана, д. 18 а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; goncharovaoa@mail.ru<sup>✉</sup>, ol-sha@mail.ru

Поступила в редакцию 02.03.22 / Одобрена после рецензирования 31.05.22 / Принята к печати 01.06.22

**Аннотация.** Исследование проведено в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте – самом северном ботаническом саду России (67°38' с. ш.). Цель работы – комплексный анализ состояния деревьев сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) при интродукции в условиях Заполярья. Обследовано состояние 8 экземпляров вида, выращиваемых на экспериментальном участке в г. Апатиты. Анализировали фенологическое развитие: набухание и раскрытие вегетативных почек, окончание роста и созревания хвои, начало и окончание роста годичных побегов, одревеснение побегов, начало и конец пыления. Оценивали степень одревеснения годичного побега, зимостойкость, габитус, побегообразовательную способность, прирост в высоту, генеративное развитие, размножение в культуре. Определяли риск падения дерева путем рассмотрения его окружения, подверженности воздействию ветра. Изучали зону корней, комель, ствол, основание кроны, скелетные ветви, крону на наличие дупел, трещин, разложения, плодовых тел грибов, повреждений, слабых развилок, мертвых ветвей и т. п. Применение подхода, объединяющего анализ сезонного развития, жизнеспособности и риска падения дерева, перспективно для комплексной и объективной оценки состояния деревьев сосны сибирской по морфо-фенологическим признакам при интродукции в Арктической зоне РФ. Фенологический ритм исследованных деревьев соответствует условиям окружающей среды при интродукции в Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина. Вегетация начинается в последних числах мая, к концу августа годичные побеги одревесневают, что говорит о готовности растений к зимнему периоду. Близкие сроки наступления фенофаз и их низкое варьирование могут свидетельствовать о невысокой обусловленности сезонного развития сосны сибирской метеоусловиями при интродукции в центральную часть Кольского полуострова. Деревья зимостойки, сохраняют присущую виду жизненную форму, обладают высокой побегообразовательной способностью и ежегодно прирастают в высоту, достигают генеративной стадии развития. Для размножения в культуре необходимо привлечение семенного материала из других регионов. Деревья 1-ствольные 1- и 2-вершинные, отличаются густой кроной, верхушечные и боковые побеги развиты, в редких случаях прирост боковых побегов уменьшен. На стволах отмечены V-образные развилки, на

© Гончарова О.А., Зотова О.Е., 2024



Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

одном из деревьев обнаружено дупло в зоне комеля. Дополнительно необходимо инструментальное обследование для определения воздействия болезни или патогена на устойчивость деревьев.

**Ключевые слова:** сосна кедровая сибирская, *Pinus sibirica* Du Tour, интродукция, фенологическое развитие, риск падения дерева, жизнеспособность, Мурманская область

**Благодарности:** Работы выполнены на уникальной научной установке «Коллекция живых растений Полярно-альпийского ботанического сада-института», регистрационный номер – 499394.

**Для цитирования:** Гончарова О.А., Зотова О.Е. *Pinus sibirica* Du Tour в условиях интродукции на примере Полярно-альпийского ботанического сада-института // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 2. С. 178–188. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2-178-188>

Original article

## ***Pinus sibirica* Du Tour in the Conditions of Introduction by the Example of the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute**

**Oksana A. Goncharova**<sup>✉</sup>, Candidate of Biology, Senior Research Scientist;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8881-8522>

**Olesya E. Zotova**, Junior Research Scientist;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4986-606X>

Polar-Alpine Botanical Garden-Institute named after N.A. Avrorin of the Kola Science Centre of the RAS, ul. Fersmana, 18a, Apatity, Murmansk Region, 184209, Russian Federation; goncharovaoa@mail.ru<sup>✉</sup>, ol-sha@mail.ru

Received on March 2, 2022 / Approved after reviewing on May 31, 2022 / Accepted on June 1, 2022

**Abstract.** The study has been conducted at the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, the northernmost botanical garden in Russia (67°38' N). The aim of this work has been a comprehensive analysis of the condition of Siberian stone pine trees (*Pinus sibirica* Du Tour) during their introduction in the Arctic. The condition of 8 specimens of the species cultivated at the experimental plot in the town of Apatity has been examined. Their phenological development has been analyzed: the swelling and breaking of the vegetative buds, the end of the elongation and maturation of the needles, the beginning and end of growth of the annual shoots, the lignification of the shoots, the beginning and end of pollen dispersion. The degree of lignification of the annual shoot, the winter hardiness, the habit, the shoot-forming capacity, the height increment, the generative development and the reproduction in the plantation have also been assessed. The risk of a tree falling has been determined by considering its surroundings and exposure to wind. The root zones, the butts, the trunks, the crown bases, the boughs and the crowns have been examined for the presence of hollows, cracks, decomposition, fungal fruit bodies, damage, weak forks, dead branches, etc. The application of an approach combining the analysis of seasonal development, viability and risk of tree fall is promising for a comprehensive and objective assessment of the condition of Siberian stone pine trees by morphological and phenological characteristics during the introduction to the Arctic zone of the Russian Federation. The phenological rhythm of the studied trees corresponds to the environmental conditions during the introduction to the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute named after N.A. Avrorin. Vegetation begins in late

May. By the end of August the annual shoots lignify, which indicates the readiness of the plants for the winter period. The close timing of the onset of phenophases and their low variation may indicate a low dependence of the seasonal development of Siberian stone pine on weather conditions during the introduction to the central part of the Kola Peninsula. The trees are winter-hardy, retain the life form inherent to the species, have a high shoot-forming capacity and annual height increment. They reach the generative stage of development. For their propagation in the plantation, it is necessary to attract seed material from other regions. The trees are monocormic, unimucronate and bimucronate. They are characterized by dense crowns. Their apical and lateral shoots are developed. In rare cases, the increment of lateral shoots is reduced. The V-shaped forks have been noted on the stems and a hollow in the butt area has been found on one of the trees. An additional instrumental examination is needed to determine the effect of diseases or pathogens on the stability of the trees.

**Keywords:** Siberian stone pine, *Pinus sibirica* Du Tour, introduction, phenological development, risk of a tree falling, viability, the Murmansk Region

**Acknowledgements:** The work was carried out at the unique scientific installation “The Collection of living plants of the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute”, reg. no. 499394.

**For citation:** Goncharova O.A., Zotova O.E. *Pinus Sibirica* Du Tour in the Conditions of Introduction by the Example of the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 2, pp. 178–188. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-2-178-188>

### Введение

Ботанические сады являются значимыми экологическими ресурсами для изучения, демонстрации и поддержания разнообразия растений, поскольку способствуют накоплению знаний о растениях, играют центральную роль в сохранении и применении их разнообразия во всем мире [15, 16, 19]. Живые коллекции растений используются для садоводческих исследований, фенологических наблюдений, поддержания экспозиции, предоставления материалов для обмена семенами и восстановления среды обитания [20].

Растения в ботанических садах, находясь в условиях интродукции, испытывают воздействие окружающей среды, нарушающее декоративность растений, вызывающее ослабление, влияющее на продолжительность жизни.

Фенологические наблюдения за интродуцированными видами помогают в решении вопросов о реакции растений на изменение климата, поскольку фенология тесно связана с ним [20, 21, 23]. Мониторинг интродуцированных растений должен быть источником постоянной и объективной информации о состоянии растений и действующих внешних факторах, способствующей устранению или снижению негативного влияния окружающей среды на растения.

В Полярно-альпийском ботаническом саду-институте (ПАБСИ) накоплен огромный объем материалов наблюдений за интродуцированными древесными растениями. Данные представлены в ряде работ [4, 18]. ПАБСИ является самым северным ботаническим садом России (67°38' с. ш.). Коллекционный фонд деревьев и кустарников размещен на основной территории сада в г. Кировске и на экспериментальном участке в г. Апатиты. В качестве объекта изучения выбраны растения сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour).

Сосна кедровая сибирская – уникальная порода, произрастающая на огромной территории и зарекомендовавшая себя как достаточно пластичный вид. Она интродуцирована в различных регионах РФ и содержится в коллекционных фондах ботанических садов и дендрариев [5, 6, 9, 12–14].

Л.А. Казаков [8] отмечает, что посадки хвойных интродуцированных растений на Кольском полуострове появились давно и были выполнены главным образом монастырями. Единичные посадки хвойных экзотов встречались и вблизи населенных мест. Целенаправленная интродукция началась с момента создания лесохозяйственных и ботанических учреждений. Исследование интродукции хвойных деревьев в ПАБСИ ведется со времени основания сада.

Цель настоящей работы – комплексный анализ состояния деревьев сосны кедровой сибирской при интродукции в условиях Заполярья (на примере ПАБСИ).

#### Объекты и методы исследования

В коллекции деревьев и кустарников ПАБСИ обследовано 8 экземпляров *P. sibirica*, выращиваемых на экспериментальном участке в г. Апатиты. Анализировали фенологическое развитие и зимостойкость [1, 3], жизнеспособность/перспективность интродукции по П.И. Лапину, С.В. Сидневой [10]. Категории состояния деревьев определяли по шкалам В.А. Алексеева [2], приложения 1 Шкалы категорий санитарного состояния деревьев (постановление правительства РФ от 09.12.2020 № 2047 «Об утверждении правил санитарной безопасности в лесах» и А. Roloff [22]. При описании кедров использовали базовую диагностику риска падения дерева [17]. Характеризовали окружение дерева, его подверженность воздействию ветра. Оценивали зоны корней, комель, ствол, основание кроны, скелетные ветви, крону на наличие дупел, трещин, признаков разложения, плодовых тел грибов, повреждений, слабых развилок, мертвых ветвей и т. п.

Статистическая обработка фенологических данных выполнена с использованием прикладной программы Excel на уровне  $p < 0,05$ . Дополнительно рассчитывали точность опыта и коэффициент вариации. При анализе коэффициента вариации использовали шкалу С.А. Мамаева [11]. Интерпретация статистических данных выполнена согласно Э.В. Ивантеру, А.В. Коросову [7].

Характеристика обследованных растений *P. sibirica* представлена в табл. 1.

Таблица 1

#### Характеристика интродуцированных растений *P. sibirica* в ПАБСИ

##### The characteristics of the introduced *P. sibirica* plants in the PABGI

| Образец | № дерева | Происхождение исходного материала* | Высота, м / диаметр, см | Зимостойкость, балл | Репродуктивное развитие |             |
|---------|----------|------------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------|
|         |          |                                    |                         |                     | пыление                 | семеношение |
| I       | 1        | 1950-е гг., природное, Сибирь      | 8,4 / 20,5              | 1                   | Нерегулярное            |             |
|         | 2        |                                    | 7,6 / 18,5              |                     |                         |             |
|         | 3        |                                    | 9,6 / 26,0              |                     |                         |             |
| II      | 4        | 1982 г., природное, Ханты-Мансийск | 9,0 / 23,5              |                     |                         |             |

Окончание табл. 1

| Образец | № дерева | Происхождение исходного материала* | Высота, м / диаметр, см | Зимостойкость, балл | Репродуктивное развитие |             |
|---------|----------|------------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------|
|         |          |                                    |                         |                     | пыление                 | семеношение |
| III     | 5        | 1984 г., природное, Тыва           | 9,4 / 29,0              | 1                   | Нерегулярное            | Отсутствует |
| IV      | 6        | Неизвестное                        | 7,6 / 24,0              |                     | Нерегулярное            |             |
| V       | 7        | 1951 г., культурное, Москва        | 9,8 / 23,5              |                     | Нерегулярное            | Отсутствует |
| II      | 8        | 1982 г., природное, Ханты-Мансийск | 6,8 / 17,0              |                     | Нерегулярное            |             |

Примечание: \*Указан год посева семян. Образец I представлен тремя экземплярами, II – двумя, III, IV, V – по одному экземпляру.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 2 сведены среднемноголетние фенологические данные интродуцированных растений *P. sibirica* на экспериментальном участке ПАБСИ. Анализировали сроки наступления следующих фенофаз: набухание и раскрытие вегетативных почек (Пч1 и Пч2), окончание роста и созревания хвои (ЛЗ), начало и окончание роста годичных побегов (Пб1 и Пб2), одревеснение побегов (О2), начало и конец пыления (Ц4 и Ц5). Фазы формирования и созревания шишек не рассматривали из-за ограниченного количества данных. Фенологические наблюдения за деревом 6 не проводились. Для исследования сезонного развития использовали информацию, полученную при фенологических наблюдениях в течение 2001–2021 гг.

Таблица 2

#### Среднемноголетние даты наступления фенологических фаз интродуцированных растений *P. sibirica* в ПАБСИ The average long-term dates of the onset of phenological phases of the introduced *P. sibirica* plants in the PABGI

| Фенофаза | Показатель       | № дерева  |           |           |           |           |
|----------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|          |                  | 1, 2, 3   | 4         | 5         | 7         | 8         |
| Пч1      | M±m <sub>M</sub> | 28.05±2,3 | 29.05±2,1 | 27.05±2,1 | 29.05±2,1 | 26.05±3,4 |
|          | CV               | 10,3      | 9,6       | 10,5      | 10,6      | 12,4      |
| Пч2      | M±m <sub>M</sub> | 7.06±2,2  | 8.06±2,4  | 11.06±1,8 | 13.06±2,0 | 7.06±2,4  |
|          | CV               | 8,4       | 8,9       | 6,9       | 8,1       | 7,7       |
| Пб1      | M±m <sub>M</sub> | 1.06±2,6  | 2.06±3,1  | 29.05±1,9 | 30.05±2,0 | 26.05±3,4 |
|          | CV               | 11,4      | 13,7      | 9,7       | 10,0      | 12,4      |
| Пб2      | M±m <sub>M</sub> | 3.07±3,6  | 6.07±4,0  | 6.07±3,0  | 15.07±3,5 | 6.07±3,5  |
|          | CV               | 10,7      | 12,6      | 10,4      | 9,1       | 9,1       |
| О2       | M±m <sub>M</sub> | 22.08±5,2 | 24.08±3,0 | 22.08±6,0 | 25.08±2,9 | 27.08±4,9 |
|          | CV               | 11,4      | 6,5       | 14,1      | 6,9       | 8,7       |

Окончание табл. 2

| Фенофаза | Показатель  | № дерева  |           |           |           |           |
|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|          |             | 1, 2, 3   | 4         | 5         | 7         | 8         |
| ЛЗ       | $M \pm m_M$ | 23.07±3,1 | 28.07±4,1 | 26.07±4,1 | 25.07±3,6 | 24.07±3,7 |
|          | CV          | 6,4       | 9,0       | 9,2       | 7,7       | 7,1       |
| Ц4       | $M \pm m_M$ | 27.06±1,8 | 25.06±0,5 | 29.06±2,4 | 5.07±1,5  | –         |
|          | CV          | 2,6       | 0,6       | 5,9       | 1,7       | –         |
| Ц5       | $M \pm m_M$ | 7.07±4,1  | 5.07±4,5  | 10.07±3,1 | 8.07±2,1  | –         |
|          | CV          | 6,3       | 5,0       | 7,5       | 2,9       | –         |

Примечание:  $M \pm m_M$  – среднемноголетняя фенодата ± ошибка среднемноголетней фенодаты; CV – коэффициент вариации, %.

Точность опыта не более 5 говорит о достаточно надежной выборочной оценке [7]. Среднемноголетнее прохождение фаз сезонного развития у изученных растений отмечается в близкие сроки. В конце мая – начале июня начинается набухание вегетативных почек и линейный рост побегов. На следующем этапе сезонного развития, в 1-й декаде июня, распускаются вегетативные почки, хвоя обособляется и идет в рост, процесс завершается в последних числах июня. Пыление и семеношение являются одними из важных показателей, характеризующих степень адаптации интродуцента в данных условиях. На экспериментальном участке ПАБСИ пыление сосны сибирской впервые отмечается в возрасте 27–32 лет, происходя в отдельные годы в конце июня – начале июля.

Результаты статистической обработки показали, что коэффициент вариации для большинства средних значений не превышает 12 %, что свидетельствует об очень низком и низком варьировании сроков наступления фенофаз.  $CV \leq 7$  % у большинства обследованных деревьев выявлен для фенодат Ц4 и Ц5, что говорит об очень низком уровне варьирования сроков начала указанных фенофаз. Среди обследованных растений средняя степень варьирования сроков сезонного развития отмечена для фенодаты Пб1 у дерева 4 и фенодаты О2 у дерева 5.

Близкие сроки наступления фенологических фаз и их низкое варьирование могут свидетельствовать о слабой зависимости сезонного развития сосны сибирской от метеоусловий при интродукции в центральную часть Кольского полуострова.

Оценивая жизнеспособность *P. sibirica*, изучали степень одревеснения годичного побега, зимостойкость, габитус, побегообразование, прирост в высоту, генеративное развитие и размножение в культуре (табл. 3). В связи с тем, что семена завязываются, но отсутствует возможность проверить их всхожесть, способность к генеративному развитию у деревьев с нерегулярным пылением/семеношением оценили в 23 балла (среднее значение между градациями «семена созревают» и «семена не созревают»).

Анализ жизнеспособности сосны кедровой показал, что деревья зимостойки, сохраняют присущую виду жизненную форму, обладают высокой побегообразовательной способностью и ежегодно прирастают в высоту.

Таблица 3

Оценка жизнеспособности интродуцированных растений *P. sibirica* в ПАБСИ  
The viability assessment of the introduced *P. sibirica* plants in the PABGI

| № дерева | Одревеснение побега | Зимостойкость | Габитус* | Побегообразовательная способность | Прирост в высоту | Генеративное развитие | Размножение | Сумма | Группа жизнеспособности |       |
|----------|---------------------|---------------|----------|-----------------------------------|------------------|-----------------------|-------------|-------|-------------------------|-------|
|          |                     |               |          |                                   |                  |                       |             |       |                         | баллы |
| 1        | 20                  | 25            | 10       | 5                                 | 5                | 23                    | 1           | 89    | 2                       |       |
| 2        |                     |               |          |                                   |                  |                       |             |       |                         |       |
| 3        |                     |               |          |                                   |                  |                       |             |       |                         |       |
| 4        |                     |               |          |                                   |                  |                       |             |       |                         |       |
| 5        |                     |               |          |                                   |                  | 15                    |             |       |                         |       |
| 6        |                     |               |          |                                   |                  | 23                    |             |       |                         |       |
| 7        |                     |               |          | 1                                 | 2                | 15                    |             | 74    |                         | 3     |
| 8        |                     |               |          | 5                                 | 5                | 23                    |             | 89    |                         | 2     |

\*Оценивали сохранение формы роста.

Исключение составляет дерево 7: не отмечено ежегодного прироста и побегообразовательная способность характеризуется как слабая. Деревья достигли генеративной стадии развития, семеношение не зафиксировано у экземпляров 5 и 7. Для размножения в культуре необходимо привлечение семенного материала из других регионов, т. к. созревание семян нерегулярное или отсутствует. Деревья 1–6 и 8 отнесли к группе жизнеспособных, дерево 7 – менее жизнеспособных.

Результаты базовой диагностики риска падения деревьев представлены на рисунке.

Обследованные деревья частично защищены от воздействия ветра, места их потенциального падения не используются под посадки или постройки, т. к. деревья произрастают на территории коллекционных участков ПАБСИ. Для всех деревьев нет каких-либо ограничений развития корневой системы. Нарушения в зоне комля не обнаружены, только на дереве 7 в зоне комля есть дупло.

Обследованные деревья кедра являются 1-ствольными, среди них встречаются 1- и 2-вершинные. Кроны симметричные, полноценно развитые, густые, изреженная крона отмечена в единственном случае – у дерева 7. Нижние живые ветви в кронах располагаются на высоте около 50 см от почвы, исключение вновь составляет дерево 7. В кроне дерева 5 есть зависшие мертвые скелетные побеги, повреждение произошло в результате снеголома. Мертвые скелетные ветви наблюдаются и в кроне дерева 7. Сухие ветви в нижней трети кроны зафиксированы у дерева 2. Наклон стволов отсутствует, у дерева 7 установлено искривление ствола на высоте 2,5 м. На стволах нет водяных побегов, табачных сучьев. Следы смолотечения не обнаружены только на стволах деревьев 3 и 6. Смолотечение в нижней трети ствола наблюдается у деревьев 1, 4, 7 и 8, на стволе у основания кроны – у деревьев 5 и 7, возле слабых развилок – у деревьев 2 и 4.



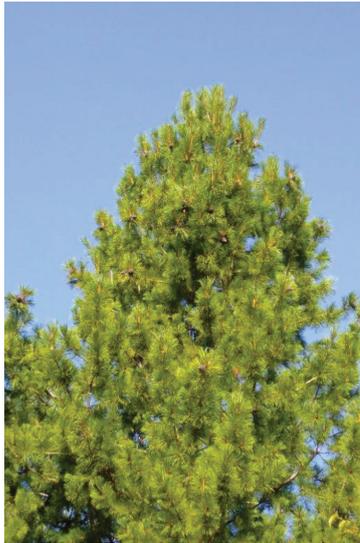
а



б



в



г

Результаты диагностики риска падения деревьев *P. sibirica* в коллекции ПАБСИ: а – смолотечение и трещина на дереве 4; б – поврежденные снегом ветви дерева 5; в – изреженная крона, сухие скелетные ветви дерева 7; г – крона дерева 3

The results of the diagnosis of the risk of *P. sibirica* trees falling in the PABGI collection: а – the resinosis and the crack on the tree no. 4; б – the snow-damaged branches of the tree no. 5; в – the thinned crown and dry boughs of the tree no. 7; г – the crown of the tree no. 3

Согласно шкалам Алексева, приложения 1 постановления «Об утверждении Правил...» и А. Rollof, деревья 1–3 и 6 имеют категории 1, 1 и 0 соответственно. Эти деревья здоровые без признаков ослабления, крона развита полноценно для данных породы, возраста и местопроизрастания, верхушечные и боковые побеги растут динамично и равномерно, отсутствуют значи-

мые повреждения ствола, скелетных побегов. Дерево 4, согласно использованным шкалам, имеет категории 2, 1, 0 соответственно. Оно оценивается как ослабленное, крона полноценная, прирост боковых побегов замедлен, на стволе присутствуют повреждения. Деревья 5 и 8 принадлежат к категориям 2, 2, 1 соответственно, относятся к ослабленным, прирост побегов несколько замедлен, боковые более укорочены, чем верхушечные, есть повреждения ствола. Дерево 7 относится к категориям 3, 2, 2 соответственно, характеризуется как сильно ослабленное, крона изреженная, с сухими ветвями, прирост слабый, присутствует дупло. В дальнейшем рекомендуются следующие мероприятия: деревьям 2, 7, 8 необходима обрезка сухих ветвей; из кроны дерева 5 нужно удалить зависшие ветви; для всех деревьев необходим ежегодный мониторинг категории состояния.

### Заключение

Фенологический ритм деревьев сосны кедровой сибирской соответствует условиям окружающей среды при интродукции в Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина. Вегетация начинается в последние дни мая, к концу августа годовые побеги одревесневают, что говорит о готовности растений к зимнему периоду. Низкая вариативность и близость сроков наступления фенофаз позволяют сделать вывод о консервативности наследственных качеств у обследованных деревьев и их незначительной реакции на изменение внешней среды.

Интродуцированные растения сосны сибирской в коллекционном фонде ПАБСИ являются здоровыми или ослабленными. Выращивание деревьев на коллекционных участках способствует тому, что почвенный покров не нарушен, корневая система не имеет ограничений для развития. Деревья 1-ствольные 1- и 2-вершинные. Отличаются густой кроной, верхушечные и боковые побеги развиты, в редких случаях прирост боковых побегов уменьшен. На стволах встречаются V-образные развилки, на одном из деревьев обнаружено дупло в зоне комеля. Отмеченные следы смолотечения могут быть признаком нарушений, что требует дополнительного инструментального обследования с целью определения воздействия болезни или патогена на устойчивость дерева.

Использованный подход, объединяющий анализ сезонного развития, жизнеспособности, риска падения дерева, показал себя перспективным для комплексной и объективной оценки состояния сосны кедровой сибирской по морфо-фенологическим признакам при интродукции в Арктической зоне РФ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Александрова М.С., Булыгин Н.Е., Ворошилов В.Н. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М.: ГБС АН СССР, 1975. 28 с.

Aleksandrova M.S., Bulygin N.E., Voroshilov V.N. *Technique of Phenological Observations in the Botanical Gardens of the USSR*. Moscow, Main Botanical Garden of the Academy of Sciences of the USSR Publ., 1975. 28 p. (In Russ.).

2. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

Alekseev V.A. Diagnostics of the Vital State of Trees and Forest Stands. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 1989, no. 4, pp. 51–57. (In Russ.).

3. Булыгин Н.Е. Дендрология. Фенологические наблюдения над хвойными породами. Л.: ЛТА, 1974. 84 с.
- Bulygin N.E. Dendrology. Phenological Observations on Conifers. Leningrad, Leningrad Forestry Academy Publ., 1974. 84 p. (In Russ.).
4. Виравчева Л.Л., Гончарова О.А., Кириллова Н.Р., Носатенко О.Ю., Тростенюк Н.Н. Редкие и исчезающие растения в интродукционной коллекции Полярно-альпийского ботанического сада-института // Hortus botanicus. 2019. Т. 14. С. 387–402.
- Viracheva L.L., Goncharova O.A., Kirillova N.R., Nosatenko O.Y., Trostenyuk N.N. Rare and Disappearing Plants in the Introductory Collection of the Polar-Alpine Botanical Garden and Institute. *Hortus botanicus*, 2019, vol. 14, pp. 387–402. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j4.art.2019.6605>
5. Галкина М.А., Зуева М.А. Коллекция «Флора Сибири» в Главном ботаническом саду РАН (Россия) // Природоохр. исследования. Заповед. наука. 2018. Т. 3, № 1. С. 65–79.
- Galkina M.A., Zueva M.A. Collection “Flora of Siberia” in the Main Botanical Garden of RAS (Russia). *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka = Nature Conservation Research*, 2018, vol. 3, no. 1, pp. 65–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.24189/ncr.2018.009>
6. Емельянова О.Ю., Цой М.Ф., Павленкова Г.А., Масалова Л.И., Фирсов А.И. Генетическая коллекция дендрария ВНИИСПК как центр сохранения растительного биоразнообразия // Селекция и сортоведение садовых культур. 2017. Т. 4, № 1-2. С. 41–44.
- Emelyanova O.Yu., Tsoi M.F., Pavlenkova G.A., Masalova L.I., Firsov A.I. Genetic Collection of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding Arboretum as a Center of Conservation of Plant Biodiversity. *Selektsiya i sortovozvedeniye sadovykh kul'tur = Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*, 2017, vol. 4, no. 1–2, pp. 41–44. (In Russ.).
7. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Элементарная биометрия. Петрозаводск: ПетрГУ, 2010. 104 с.
- Ivanter E.V., Korosov A.V. *Elementary Biometrics*. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2010. 104 p. (In Russ.).
8. Казаков Л.А. Интродукция хвойных в Субарктику. СПб.: Наука, 1993. 144 с.
- Kazakov L.A. Introduction of Conifers into the Subarctic. St. Petersburg, Nauka Publ., 1993. 144 p. (In Russ.).
9. Кищенко И.Т. Сезонное развитие и перспективность интродуцированных видов *Pinus L.* в таежной зоне (Карелия) // Вестн. Перм. ун-та. Сер.: Биология. 2021. Вып. 3. С. 149–157.
- Kishchenko I.T. Seasonal Development and Perspectivity of Introduced Species *Pinus L.* in the Taiga Area (Karelia). *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya Biologiya = Perm University Herald. Biology*, 2021, iss. 3, pp. 149–157. (In Russ.). <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2021-3-149-157>
10. Латин П.И., Сиднева С.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений. М.: Наука, 1973. С. 7–67.
- Lapin P.I., Sidneva S.V. Evaluation of the Prospects for the Introduction of Woody Plants according to Visual Observations. *Opyt introduktsii drevesnykh rastenij*. Moscow, Nauka Publ., 1973, pp. 7–67. (In Russ.).
11. Мамеев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1973. 284 с.
- Mamaev S.A. *Forms of Intraspecific Variability of Woody Plants (on the Example of the Pinaceae Family in the Urals)*. Moscow, Nauka Publ., 1973. 284 p. (In Russ.).
12. Миняева Ю.М., Кытина М.А. Редкие виды в экспозициях флоры Сибири и Дальнего Востока ботанического сада ВИЛАР // Растения в муссонном климате: антропогенная и климатогенная трансформация флоры и растительности: материалы VIII науч. конф., Благовещенск, 18–21 сент. 2018 г. Благовещенск: Дальневост. ГАУ, 2018. С. 142–146.

Minyazeva Yu.M., Kytina M.A. Rare Species in the Exhibitions of the Flora of Siberia and the Far East of the ARSRIMAP Botanical Garden. *Plants in a Monsoon Climate: Anthropogenic and Climatogenic Transformation of Flora and Vegetation: Materials of the VIII Scientific Conference* (Blagoveshchensk, September 18–21, 2018). Blagoveshchensk, Far East State Agrarian University, 2018, pp. 142–146. (In Russ.).

13. Мкртчян М.А., Путенихина К.В. Интродуцированные виды рода *Pinus* L. в Башкирском Предуралье: фенологическое развитие // В мире науч. открытий. 2014. № 6. С. 41–54.

Mkrtychyan M.A., Putenikhina K.V. Introduced Species of *Pinus* L. in Bashkir Cis-Urals: Phenological Development. *V mire nauchnykh otkrytij* = In the World of Scientific Discoveries, 2014, no. 6, pp. 41–54. (In Russ.).

14. Раков Н.С., Старшова Н.П. Флора Ульяновского дендропарка: 1. Хвойные породы // Самар. Лука: проблемы регион. и глоб. экологии. 2019. Т. 28, № 1. С. 72–80.

Rakov N.S., Starshova N.P. Flora of the Ulyanovsk Arboretum: 1. Softwood. *Samarskaya Luka: problemy regional'noj i global'noj ekologii*, 2019, vol. 28, no. 1, pp. 72–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2073-1035-2019-10184>

15. Cannon C.H., Kua C.-S. Botanic Gardens Should Lead the Way to Create a “Garden Earth” in the Anthropocene. *Plant Diversity*, 2017, vol. 39, iss. 6, pp. 331–337. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.11.003>

16. Cavender N., Westwood M., Bechtoldt C., Donnelly G., Oldfield S., Gardner M., McNamara W. Strengthening the Conservation Value of *ex situ* Tree Collections. *Орх.*, 2015, vol. 49, iss. 3, pp. 416–424. <https://doi.org/10.1017/S0030605314000866>

17. *Drzewa w Krajobrazie. Podręcznik Praktyka* = Trees in the Landscape. Ed. by K. Witkoś-Gnach, P. Tyszkó-Chmielowiec. Wrocław: Fundacja EkoRozwoju Publ., 2014. 320 p.

18. Goncharova O., Lipponen I., Poloskova E., Zotova O. The Tree and Shrub Collections of the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute. *Sibbaldia: The International Journal of Botanic Garden Horticulture*, 2021, vol. 19, pp. 97–115. <https://doi.org/10.24823/Sibbaldia.2020.304>

19. Heywood V.H. The Future of Plant Conservation and the Role of Botanic Gardens. *Plant Diversity*, 2017, vol. 39, iss. 6, pp. 309–313. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.12.002>

20. Primack R.B., Miller-Rushing A.J. The Role of Botanical Gardens in Climate Change Research. *New Phytologist*, 2009, vol. 182, iss. 2, pp. 303–313. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02800.x>

21. Rafferty N.E., CaraDonna P.J., Burkle L.A., Iler A.M., Bronstein J.L. Phenological Overlap of Interacting Species in a Changing Climate: an Assessment of Available Approaches. *Ecology and Evolution*, 2013, vol. 3, iss. 9, pp. 3183–3193. <https://doi.org/10.1002/ece3.668>

22. Roloff A. *Baumkronen: Verständnis und Praktische Bedeutung eines Komplexen Naturphänomens* = Treetops: Understanding and Practical Significance of a Complex Natural Phenomenon. Stuttgart, Eugen Ulmer Verlag, 2001. 164 p. (in Germ.)

23. Rosbakh S., Hartig F., Sandanov D.V., Bukharova E.V., Miller T.K., Primack R.B. Siberian Plants Shift their Phenology in Response to Climate Change. *Global Change Biology*, 2021, vol. 27, iss. 18, pp. 4435–4448. <https://doi.org/10.1111/gcb.15744>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

---

**Вклад авторов:** Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
**Authors' Contribution:** All authors contributed equally to the writing of the article