

Сведения об авторах

✉ *Лантинова Анна Владимировна* – старший преподаватель ФГБОУ ВО ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация, e-mail: lantinovaan@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4670-1879>.

Марина Наталья Валентиновна – кандидат химических наук, доцент ФГБОУ ВО ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация, e-mail: marinanv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0035-2346-6652>.

Агапитов Егор Михайлович – ассистент ФГБОУ ВО ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100; ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, 620062, Российская Федерация, e-mail: agapitovem@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9709-1559>.

Евгений Владимирович Рогачев – ассистент ФГБОУ ВО ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100; ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, 620062, Российская Федерация, e-mail: rogachevve@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4964-6975>.

Валерий Владимирович Фомин – доктор биологических наук, доцент ФГБОУ ВО ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, 620100; ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, 620062, Российская Федерация, e-mail: fominvv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9211-5627>.

Information about the authors

✉ *Anna V. Lantinova* – Senior Lecturer, Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirsky Trakt St., Yekaterinburg, 620100, Russian Federation, lantinovaan@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4670-1879>.

Natalia V. Marina – PhD in Chemistry, Associate Professor, Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirsky Trakt St., Yekaterinburg, 620100, Russian Federation, marinanv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0035-2346-6652>.

Egor M. Agapitov – Assistant, Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirsky Trakt St., Yekaterinburg, 620100; Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Mira St., 19, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation, agapitovem@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9709-1559>.

Evgeny V. Rogachev – Assistant, Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirsky Trakt St., Yekaterinburg, 620100; Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 19, Mira St., Yekaterinburg, 620062, Russian Federation, rogachevve@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4964-6975>.

Valery V. Fomin – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirsky Trakt St., Yekaterinburg, 620100; Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Mira St., 19, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation, fominvv@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9211-5627>.

✉ Для контактов | Corresponding author



Интродукция рода *Picea* A. Dietr. в ботаническом саду Уральского федерального университета

Роман В. Михалищев¹, rmichaliszczew@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3035-2010>

Виктор В. Валдайских¹, v_vald@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9440-8522>

Елена П. Артемьева^{1,2}, EAtemeva@usurt.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0937-460X>

¹ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина», ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, 620062, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», ул. Колмогорова, 66, г. Екатеринбург, 620034, Российская Федерация

В коллекции древесных растений ботанического сада Уральского федерального университета выращиваются 12 видов, 3 разновидности и 7 декоративных форм елей (*Picea* A. Dietr.). Коллекция елей ботанического сада может быть источником новых интродуцентов как для озеленения, так и для осуществления на Среднем Урале лесоклиматических проектов, например, для создания карбоновых ферм. По длительности сохранения депонированного углерода хвойные деревья выступают надежными системами уменьшения парникового эффекта, поэтому они могут играть ключевую роль в регулировании глобального изменения климата. Изучение роста показало, что виды неодинаково реагируют на изменения метеоусловий. Основными метеофакторами, регулирующими начало роста побегов, являются суммы положительных температур, в то время как окончание роста побегов в большей степени детерминировано, кроме температуры, влагообеспеченностью в зимний и весенне-летний периоды. Таксономически близкие виды имели схожий пигментный состав. Хвоя разного возраста содержит разное количество пигментов – с возрастом пигментов становится больше – сумма хлорофиллов третьего года вегетации в среднем в 1,3 раза превышает содержание хлорофиллов первого года вегетации, поэтому трехлетняя хвоя приносит больший вклад в фотосинтетическую активность. Максимальное содержание хлорофиллов выявлено в хвое третьего года у *Picea koraiensis* – 2,96 мг/г сухой массы. Коэффициент соотношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* практически во всех случаях превышает значение 1,5, что означает достаточное световое довольствие для растений. Восемь видов рода *Picea* могут быть рекомендованы для использования в озеленении Екатеринбурга. Для лесоклиматических проектов предпочтительно использовать аборигенные виды елей.

Ключевые слова: ботанический сад, *Picea* A. Dietr., карбоновая ферма, рост побегов, пигменты хвои

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема Государственного задания FEUZ-2023-0019.

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Михалищев, Р. В. Интродукция рода *Picea* A. Dietr. в ботаническом саду Уральского федерального университета / Р. В. Михалищев, В. В. Валдайских, Е. П. Артемьева // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 4 (56). – С. 50-62. – Библиогр.: с. 59–61 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/4>.

Поступила 24.10.2024. Пересмотрена 03.11.2024. Принята 19.12.2024. Опубликована онлайн 27.12.2024.

The collection of spruces (*Picea* A. Dietr.) in the botanical garden of the Ural Federal University

¹Roman V. Mikhailishchev, rmichaliszczew@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-3035-2010>

¹Viktor V. Valdayskikh, v_vald@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-9440-8522>

^{1,2}Elena P. Artemyeva, EArtemeva@usurt.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-0937-460X>

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Mira str., 19, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation

²Ural State University of Railway Transport, Kolmogorova str., 66, Yekaterinburg, 620034, Russian Federation

Abstract

The collection of woody plants is containing 12 species, 3 varieties and 7 cultivars of spruces (*Picea* A. Dietr.) in the botanical garden of the Ural Federal University. This collection can be the source of a new ornamental plants for landscaping, and also for carbon sequestration, for example, to creating carbon farms in the Middle Urals. The conifers can be a reliable system for reducing the greenhouses effect by long-term storage the carbon in their wood. The studies of shoots growth showed that species are not uniform in reaction on a variability of weather condition. The analysis indicated that main meteorological parameters to influence on beginning of shoots growth is sum of effective temperatures, but in time the ending of growth is determinate by sum of precipitation in addition to temperatures. The cluster analysis indicated that taxonomically relative species had a similar pigments composition of needles. The various age needles contained a different sums of the pigments. The three-years needles contained in 1.3 times more chlorophylls than one-years needles, so one gives a more functional contribution in the photosynthesis activity. The maximum contain of chlorophyll was found in the three-years needles of Korean spruce (*Picea koraiensis* Nakai) – 2.96 mg/g on dry weight. The ratio of chlorophyll *a* to chlorophyll *b* in the most measures more than 1.5, so it means a sufficient light regime for plants under conditions in the botanical garden. The eight species of spruces can be recommended for landscaping in Yekaterinburg and the native species for a carbon farms.

Keywords: botanical gardens, *Picea* A. Dietr., carbon farms, stems growth, pigments of needles

Funding: the work was carried out within the framework of a state assignment FEUZ-2023-0019.

Acknowledgments: authors thank the reviewers for their contribution to the peer review

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interests.

For citation: Mikhailishchev R.V., Valdayskikh V. V., Artemyeva E. P. (2024) The collection of spruces (*Picea* A. Dietr.) in the botanical garden of the Ural Federal University. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 4 (56). pp. 50-62 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/4>.

Received 24.10.2024. **Revised** 03.11.2024. **Accepted** 19.12.2024. **Published online** 27.12.2024.

Введение

Российская Федерация обладает большим ресурсным потенциалом лесов, которые могут играть ключевую роль в регулировании глобального изменения климата и достижении углеродной нейтраль-

ности к 2060 году. Видовое разнообразие видов семейства *Pinaceae* Lindl., и в частности рода *Picea* A. Dietr. во флоре Среднего Урала невелико, что стимулирует внимание к внедрению новых видов, способных найти применение не только в озеленении и

лесной индустрии, но и в решении экологических задач, включая развитие карбоновых ферм. Род *Picea* распространен в Азии, Европе и Северной Америке и включает около 35 видов [1]. В России встречаются в естественных условиях 8 видов ели и около 20 разводятся как интродуценты [2]. На Урале произрастают два вида и около 5 интродуцировано [3]. На Среднем Урале коллекции елей имеются в дендрарии Уральского лесотехнического университета из которых наиболее перспективные виды, прошедшие адаптацию в условиях дендрария Уральского учебно-опытного лесхоза: ель канадскую (*Picea glauca* (Moench.) Voss), ель колючую (*P. pungens* Engelm.), ель шероховатую (*P. asperata* Mast) [4]. Широкое распространение в озеленении на Среднем Урале получила аборигенная *P. obovata* Ledeb., а из интродуцентов – *P. pungens* Engelm. [3].

Климатические изменения оказывают существенное влияние на рост и развитие елей, в особенности такие факторы как повышенная температура и засухи [5, 6, 7, 8]. При этом повышение температуры может потенциально увеличить рост деревьев, в особенности на больших высотах в горах [9]. Некоторые виды елей хуже адаптируются к климатическим изменениям, чем, например, лиственницы [10]. В частности, величина реакции елей на засуху является видоспецифичной [11].

В нашей работе проведен сравнительный анализ роста и развития побегов аборигенных и инорайонных видов в зависимости от климатических условий. Исследование климатических факторов, влияющих на их развитие позволит разработать агротехнические приемы для конкретного региона, так как от правильного и своевременного ухода за насаждениями зависит их состояние и эстетический эффект.

По длительности сохранения депонированного углерода хвойные деревья выступают наиболее надежными системами уменьшения парникового эффекта, поэтому они могут играть ключевую роль в регулировании глобального изменения климата. Для этого важно знать потенциальную способность к депонированию углерода, которая определяется, в частности пигментным составом листьев (хвои).

Материалы и методы

Исследования проводились на базе ботанического сада Уральского федерального университета,

расположенного в Екатеринбурге, в подзоне южной тайги. Климат региона отличается характерными особенностями: средняя температура в январе, самом холодном месяце года, составляет $-12,6$ °C, а в июле, который является самым теплым месяцем, достигает $19,0$ °C. Среднегодовая температура воздуха удерживается на уровне $2,5$ °C. Годовое количество осадков в среднем составляет 539 мм, причем их основной объем выпадает на теплое время года, тогда как в зимние месяцы наблюдается минимум, особенно в феврале. Снежный покров достигает своей максимальной высоты — около 80 см — в марте. Продолжительность безморозного периода равна 104 дням. Коэффициент увлажненности колеблется в пределах 1,2–1,6, что указывает на достаточное увлажнение в вегетационный период. Наибольшее количество осадков наблюдается в период с июня по август. Климатические условия района интродукции характеризуются продолжительной зимней порой и сравнительно коротким летом. [12].

Объектами для исследований были 8 видов и разновидностей рода *Picea* A. Dietr., выращиваемых в коллекции ботанического сада Уральского федерального университета. Начало и окончание линейного роста побегов, а также зимостойкость растений определяли по методике ГБС РАН [13].

Отбор материала для определения фотосинтетических пигментов в лаборатории проводили в октябре 2023 г. (до наступления отрицательных температур). Образцы отбирали с ветвей среднего яруса по 3 образца с каждого за 3 последних года – всего 486 образцов. Каждый образец маркировали этикетками с названием. После завершения полевых работ образцы доставили в лабораторию и хранили в холодильнике до их обработки. Из каждого образца отбирали пробы по 3 аналитических повторности весом около 0,05 г, помещали в маркированную пробирку и добавляли 2 мл 95 %-го этанола. Навеску тщательно растирали в сухой фарфоровой ступке с небольшим количеством карбоната кальция и стекла (на кончике шпателя) до однородного состояния. Получившийся раствор центрифугировали дважды для очистки и доводили до 3 мл. Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрически. Оптическую плотность раствора измеряли с помощью спектрофотометра APEL PD-

303UV при длинах волн: 470, 649, 664 нм. Всего проведено более 2000 измерений. Значения оптической плотности пересчитывали в концентрацию пигментов в растворе (мг/л) по формулам 1–3 [14]:

$$C_a = 13,36 \times A_{664} - 5,19 \times A_{649}, \quad (1)$$

$$C_b = 27,43 \times A_{649} - 8,12 \times A_{664}, \quad (2)$$

$$C_{x+c} = \frac{(1000 \times A_{470} - 2,13 \times C_a - 97,64 \times C_b)}{209}, \quad (3)$$

где C_a – концентрация хлорофилла a , C_b – концентрация хлорофилла b , C_{x+c} – концентрация общих каротиноидов, A_{664} – оптическая плотность раствора на длине волны 664 нм, A_{649} – оптическая плотность раствора на длине волны 649 нм, A_{470} – оптическая плотность раствора на длине волны 470 нм. Концентрацию пигментов в хвое пересчитывали на абсолютно сухой вес (сушили хвою в сушильном шкафу при температуре 100 °С не менее 8 часов и измеряли массу на аналитических весах с точностью до $\pm 0,0001$ г).

Метеорологические параметры были рассчитаны на основании данных, предоставленных городской метеостанцией, опубликованных на сайте gr5.ru [15]. Гидротермический коэффициент увлажнения рассчитывали по формуле Г.Т. Селянинова:

$$\text{ГТК} = (\sum r \times 10) / \sum t,$$

где $\sum r$ – сумма осадков за период с температурами выше 10° С, $\sum t$ – сумма среднесуточных активных температур выше 10 °С. В процессе обработки фенологических наблюдений каждая фиксированная дата преобразовывалась в числовой формат, представляющий собой непрерывный ряд с отсчетом, начинающимся с 1 марта каждого календарного года. Данный подход обеспечивал унификацию данных и облегчал проведение последующих математических расчетов и анализа [16].

В ходе обработки полученных экспериментальных данных были рассчитаны средние арифметические значения (M), стандартные отклонения (σ) и ошибки средней арифметической (mM). Для оценки влияния погодных условий исследуемых годов и видовых особенностей на динамику прохождения фенологических фаз применялся дисперсион-

ный анализ. Для выявления степени сходства пигментного состава листьев использовался метод кластерного анализа. Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программного обеспечения MS Excel 2010 и Statistica 13.

Результаты и обсуждение

В коллекции древесных растений ботанического сада Уральского федерального университета выращиваются 12 видов, 3 разновидности и 7 декоративных форм елей (*Picea* A. Dietr.).

P. obovata Ledeb. – ель сибирская. Аборигенный вид для Среднего Урала. Распространена в азиатской части России, Казахстане, Монголии, Китае (Синьцзян). В коллекции 2 образца, 24 экземпляра. Получены саженцами из местных питомников, ботанического сада УрО РАН в 2010 году и растения неизвестного происхождения 1970 года посадки. Старые посадки ежегодно образуют шишки, наблюдается самосев. В коллекции выращиваются 2 разновидности: *P. o. var. krylovii* Luchnik и *P. o. var. caerulea* Malyshev, выращенные из семян, полученных из Барнаула (дендрарий НИИСС им. Лисавенко) в 2011 и 2023 гг. Зимостойкость вида и разновидностей – I.

P. abies (L.) H. Karst. – ель европейская. Распространена в природе в Европе, европейской части России. В коллекции 2 образца, 10 экземпляров. Выращены из семян, полученных из ботанического сада Кирова в 2010 г. и Липецка в 2011 г. Образует шишки с 12-летнего возраста. В коллекции имеются три садовые формы: ‘*Acrocona*’, ‘*Viminalis*’ и ‘*Nidiformis*’. Зимостойкость вида и декоративных форм – I. Изредка у вида и культиваров распускающиеся весной почки повреждаются возвратными заморозками.

P. koraiensis Nakai – ель корейская. Распространена в природе на Дальнем Востоке, в Китае и Монголии. В коллекции 1 образец, 14 экземпляров. Выращены из семян, полученных в 2012 году из Липецка. Также, как и у ели европейской распускающиеся почки в отдельные годы повреждаются позднелесенными заморозками. Зимостойкость – I.

P. omorika (Pančić) Purk. – ель сербская. Эндемик, распространена в долине реки Дрина в Сербии и Боснии. Красный список МСОП – вымирающие

виды. В коллекции 1 образец, 16 экземпляров, выращенные из семян, полученных из Липецка в 2012 году. В молодом возрасте изредка повреждались почки в зимний период, в настоящее время зимостойкость высокая. Образует шишки с 10-летнего возраста.

P. pungens Engelm. – ель колючая. Распространена на западе Северной Америки. В ботаническом саду выращивается с 1970 года, в коллекции 3 образца 31 экземпляр. В коллекцию привлечены саженцами из Йошкар-Олы (ботанический сад университета) в 2005 году и Екатеринбурга (ботанический сад УрО РАН) в 2010 году. Старые посадки 1970 года ежегодно образуют семена, наблюдается самосев. В ботаническом саду имеются три садовые формы: 'Glauca', 'Glauca Koster' и 'Argentea'. Зимостойкость вида и форм – I.

P. engelmannii Engelm. – ель Энгельманна. Распространена на западе Северной Америки. В коллекции 1 образец, 3 экземпляра. Получены саженцами из ботанического сада Уфы в 2013 году. Зимостойкость – I.

P. laxa (Münchh.) Sarg. – ель канадская. Распространена в Северной Америке (Канада, Аляска). В ботаническом саду 1 образец, 16 экземпляров, выращены из семян, полученных из Липецка в 2011 году. Зимостойкость – I. Образует шишки с 9-летнего возраста. В коллекции имеется одна садовая форма: 'Conika'.

P. rubens Sarg. – ель красная. Распространена в Северной Америке. В коллекции 1 образец, 7 экземпляров. Выращены из семян, полученных из Литвы (ботанический сад, Каунас) в 2016 году. Зимостойкость – I.

P. schrenkiana Fisch. & С.А.Мей. – ель Шренка. Распространена на Тянь-Шане. В коллекции 1 образец, 1 экземпляр. Получен саженцами из ботанического сада Уфы в 2013 году. Зимостойкость – I.

P. jezoensis (Siebold & Zucc.) Carrière – ель аянская. Распространена на Дальнем Востоке, в Китае, Корее, Японии. В коллекции 2 образца, 4 экземпляра. Выращены из семян, полученных из Липецка в 2011 году и из Йошкар-Олы в 2023 году. В коллекции имеется одна разновидность *P. j.* var. *koreana*

Уеки, выращенная из семян, полученных из Уссурийска в 2018 году. Зимостойкость вида и разновидности – I.

P. mariana (Mill.) Britton, Sterns & Poggenb. – Ель черная. Распространена в Северной Америке. В коллекции 1 образец 5 экземпляров, выращены из семян, полученных из ботанического сада университета (Йошкар-Ола) в 2023 году.

P. likiangensis (Franch.) E. Pritz. – Ель лицзянская. Распространена в Западном Китае. Выращена из семян коммерческого питомника, 1 образец 1 экземпляр в 2023 году.

Зимостойкость двух последних видов не оценивалась, так как сеянцы зимовали под снегом. В этих условиях зимовка прошла без повреждений. Остальные виды и формы показали относительно высокую зимостойкость, сохраняют типичную форму роста, однако ранее в условиях ботанического сада *P. omorika* в отдельные годы незначительно повреждалась в зимний период. В молодом возрасте у нее отмечались повреждения почек. Такие виды как, *Picea laxa* и *P. rubens* могут страдать в зимне-весенний период от физиологической сухости, что вызывает частичное опадение хвои, при этом побеги и почки не повреждаются, что позволяет растениям восстановиться в течение вегетационного сезона. Поздними весенними заморозками может повреждаться часть молодых побегов у *Picea abies*, *P. koraiensis* и *P. jezoensis*, что в целом не сказывается на их декоративности. Ель аянская отличается от других елей в коллекции очень медленным ростом, высота растений в 12-летнем возрасте не превышает 0,5 м. Изучаемые растения в разной степени могут повреждаться вредителями и болезнями, но заметных и значительных повреждений не наблюдалось.

Коллекция елей ботанического сада может быть источником новых интродуцентов как для озеленения, так и для осуществления на Среднем Урале лесоклиматических проектов, например, для создания карбоновых ферм. Предварительный анализ коллекции позволил отобрать 8 перспективных для этих целей видов, которые длительное время существуют в коллекции и имеют достаточно количество одновозрастных экземпляров.

В период с 2021 по 2024 годы был проведен детальный анализ линейного роста боковых побегов

различных пород деревьев. Исследования показали, что начало активного роста побегов у всех изученных видов приходилось на май, при достижении сумм положительных температур в диапазоне от 318,5 до 646,4 °С. Наиболее ранний старт роста фиксировался у ели европейской и ели корейской, развитию которых способствовали суммы температур от 318,5 до 543,3 °С. Эти виды начинали активно формировать побеги уже в первой половине мая, причем их средняя дата начала роста приходится на 15 мая (табл. 1).

Позднее активизация роста наблюдалась у ели колочей и ели сербской: у этих видов процесс начинался в третьей декаде мая, при значительно более высоких суммах температур, составляющих от 420,2 до 646,4 °С. У иных видов деревьев активное формирование побегов отмечалось в умеренные, средние сроки.

Завершение роста боковых побегов происходило в разные периоды, в зависимости от видовых особенностей деревьев, но преимущественно в июне

и июле. Этот процесс имел место при достижении сумм положительных температур от 956,5 до 1911,9 °С. Полученные результаты позволили выявить чёткую взаимосвязь между динамикой роста побегов и температурно-климатическими условиями, особенностями развития каждого из видов.

Самая ранняя дата окончания роста побегов отмечалась у ели Энгельманна – 8 июня в 2023 году, а самая поздняя у ели сербской – 20 июля в 2021 году. По продолжительности линейного роста побегов виды значительно различались, так наиболее продолжительным рост побегов наблюдался у ели канадской – в среднем 56 дней, а в отдельные годы у этого вида происходил вторичный рост побегов в августе. Непродолжительный рост побегов был характерен для ели Энгельмана – около 34 дней. Средняя продолжительность роста побегов у всех видов составила 44 дня. Наименьший средний прирост наблюдался у ели Энгельмана – 16,4 см, а наибольший – у ели корейской – 24,9 см.

Таблица 1

Характеристика роста побегов представителей *Picea* A. Dietr.

Table 1

The characteristics of a shoots growth of spruces (*Picea* A. Dietr.)

Species	Beginning of growth, date (M ± m _M)	Ending of growth, date (M ± m _M)	duration of growth, days (M ± m _M)	Length, sm (M ± m _M)
<i>Picea abies</i>	15.05±1,1	20.06±2,3	35,7±1,9	16,8±0,3
<i>P. koraiensis</i>	15.05±1,2	06.07±3,4	51,9±3,1	24,9±0,5
<i>P. laxa</i>	17.05±1,4	11.07±2,3	56,0±1,5	17,3±0,4
<i>P. obovata</i>	16.05±1,1	25.06±1,8	41,3±1,5	22,4±0,4
<i>P. obovata</i> var. <i>krylovii</i>	19.05±1,5	06.07±1,3	48,6±1,9	19,4±0,6
<i>P. omorika</i>	22.05±1,3	11.07±2,5	50,0±2,9	18,8±0,4
<i>P. pungens</i>	24.05±1,5	01.07±2,6	37,7±2,9	17,8±0,3
<i>P. engelmannii</i>	18.05±1,3	21.06±2,5	33,7±1,8	16,4±0,4

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

Нахождение и продолжительность фенологических фаз оказывали влияние погодные условия и особенности вида. На динамику начала роста боковых побегов, согласно данным дисперсионного анализа, оказывали значительное влияние как погодные условия (F=35,17; p <0,05), так и видовые

особенности растений (F=16,43; p <0,05). Определено, что время наступления фенофазы «начало роста побегов» существенно различалось между исследуемыми видами древесных растений, а также демонстрировало межгодовые вариации, связанные с изменением погодных условий. Данные результаты свидетельствуют о выраженной зависимости

фенологической реакции растений от климатических факторов. Анализ корреляционных связей между фенофазой начала роста побегов и различными метеорологическими параметрами позволил выявить значимые зависимости. Согласно результатам исследования, начало роста побегов демонстрирует положительную корреляцию с суммой положительных температур, накопленной до фенофазы ($r=0,5126$; $p < 0,05$) с суммой осадков с января ($r=0,3266$; $p < 0,05$) и коэффициентом гидротермического увлажнения (ГТК) до начала роста побегов ($r=0,3608$; $p < 0,05$) и с условиями зимне-весеннего периода: со средней температурой за январь-март ($r=0,4000$; $p < 0,05$) и датой схода снежного покрова ($r=0,3615$; $p < 0,05$). Таким образом, чем выше сумма температур, накопленных до начала активного роста побегов, тем раньше наблюдается эта фенофаза. Кроме того, подобные зависимости указывают на важность температуры как ключевого фактора, регулирующего сезонную активность растений. Это подтверждается как видовой спецификой сроков начала роста, так и изменениями во временных рамках этой фенофазы под влиянием меняющихся погодно-климатических условий в разные годы. Такие результаты подчеркивают значение температурного

режима в прогнозировании фенологических процессов и их связей с климатической динамикой. Причем для видов с более поздним началом роста побегов корреляции с ГТК и температурой за январь-март сильнее ($r=0,6367$; $p < 0,05$ и $r=0,7065$; $p < 0,05$ соответственно), следовательно, эти виды (*Picea pungens* и *P. omorika*) более требовательны к тепло- и влагообеспеченности. На окончание роста побегов также оказывали влияние погодные условия ($F=59,10$; $p < 0,05$) и видовые особенности ($F=41,06$; $p < 0,05$). Фенофаза «окончание роста побегов» также, как и начало роста, положительно коррелирует с суммами температур ($r=0,7509$; $p < 0,05$), с суммой осадков ($r=0,7968$; $p < 0,05$) и ГТК ($r=0,6038$; $p < 0,05$) до начала фенофазы, причем их связи более сильные, чем у фенофазы «начало роста побегов». Отрицательно коррелирует со средней температурой за январь-март ($r=-0,2930$; $p < 0,05$). Также положительные корреляции с метеопараметрами были выявлены при анализе продолжительности роста. Напротив, длина побегов не коррелировала ни с одним из метеофакторов за текущий вегетационный сезон. Для оценки пигментного состав был проведен анализ одно-, двух- и трехлетней хвои изучаемых видов (табл. 2).

Таблица 2

Среднее содержание пигментов и их соотношение в хвое *Picea A. Dietr.*, мг/г сухого веса

Table 2

The mean contains of pigments and their ratio in needles of spruces (*Picea A. Dietr.*), mg/g on dry weight

Species	Age of needles, years	Chl. a	Chl. b	Chl. (a+b)	Car	Chl. a/b	Chl. (a+b)/car
<i>P. abies</i>	1	0,95±0,08	0,47±0,04	1,41±0,12	0,24±0,03	2,03±0,04	6,18±0,53
	2	0,89±0,11	0,44±0,06	1,33±0,17	0,27±0,03	2,07±0,05	5,06±0,45
	3	1,11±0,13	0,61±0,07	1,72±0,21	0,28±0,02	1,83±0,04	6,09±0,28
<i>P. koraiensis</i>	1	0,83±0,12	0,42±0,06	1,25±0,18	0,24±0,03	2,00±0,03	5,09±0,22
	2	1,12±0,18	0,62±0,12	1,74±0,31	0,31±0,04	1,85±0,13	5,62±0,43
	3	1,62±0,15	1,34±0,17	2,96±0,31	0,30±0,03	1,25±0,12	10,11±1,11
<i>P. laxa</i>	1	1,13±0,09	0,57±0,06	1,69±0,15	0,23±0,02	1,98±0,03	7,32±0,25
	2	1,48±0,09	0,79±0,07	2,27±0,14	0,36±0,02	1,90±0,10	6,35±0,41
	3	1,04±0,06	0,61±0,04	1,65±0,08	0,26±0,02	1,72±0,15	6,54±0,46
<i>P. obovata</i>	1	0,97±0,03	0,51±0,02	1,47±0,05	0,24±0,01	1,91±0,05	6,17±0,26
	2	1,40±0,06	0,72±0,04	2,12±0,10	0,35±0,02	1,96±0,03	6,02±0,17
	3	1,33±0,09	0,74±0,06	2,07±0,14	0,32±0,02	1,79±0,06	6,54±0,19

<i>P. obovata</i> var. <i>krylovii</i>	1	1,26±0,07	0,55±0,03	1,81±0,10	0,52±0,02	2,31±0,04	3,45±0,13
	2	1,71±0,07	0,84±0,03	2,55±0,09	0,53±0,02	2,03±0,04	4,81±0,21
	3	1,84±0,17	1,11±0,21	2,94±0,36	0,46±0,04	1,74±0,15	6,66±1,29
<i>P. omorika</i>	1	1,27±0,04	0,73±0,04	2,01±0,08	0,21±0,02	1,76±0,09	9,92±0,90
	2	1,24±0,10	0,62±0,07	1,86±0,17	0,31±0,02	2,02±0,09	6,29±0,41
	3	1,29±0,12	0,82±0,16	2,12±0,22	0,23±0,07	1,69±0,19	7,43±0,25
<i>P. pungens</i>	1	1,06±0,05	0,59±0,05	1,66±0,08	0,22±0,05	1,82±0,13	9,15±1,81
	2	1,61±0,09	0,83±0,05	2,44±0,14	0,40±0,02	1,94±0,03	6,07±0,22
	3	1,43±0,04	0,79±0,04	2,21±0,08	0,37±0,02	1,81±0,06	6,08±0,45
<i>P. engelmannii</i>	1	0,99±0,03	0,57±0,02	1,56±0,05	0,15±0,01	1,75±0,03	10,37±0,7
	2	1,37±0,06	0,75±0,06	2,12±0,11	0,27±0,02	1,84±0,08	3
	3	1,10±0,10	0,62±0,06	1,72±0,16	0,25±0,02	1,79±0,05	7,82±0,54 6,86±0,22

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Исследованиями [17, 18] установлено, что накопление и характер изменения пигментного фонда, как и другие физиологические показатели, являются видоспецифичными характеристиками. Кластерный анализ показал, что таксономически близкие виды имеют схожий пигментный состав и объединяются в один кластер (рис. 1). Такие виды как ель европейская, сибирская и корейская образуют один кластер, в котором ель европейская и си-

бирская имеют наиболее сходный пигментный состав и образуют отдельный кластер. при этом разновидность ели сибирской оказалась наиболее отличной по пигментному составу хвои от других видов, что вероятно связано с условиями формирования этой разновидности в горных условиях. В другой большой кластер объединились североамериканские виды елей канадская, колючая и Энгельманна.

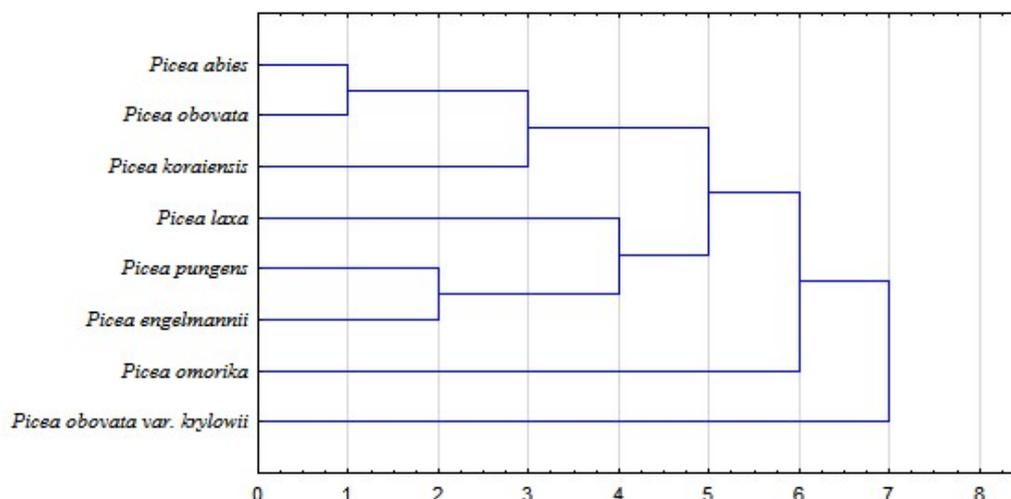


Рисунок 1. Дендрограмма сходства пигментного состава хвои *Picea* A. Dietr.

Figure 1. Dendrogram of similarities on pigments compositions of spruces needles (*Picea* A. Dietr.)

Результаты корреляционного анализа выявили положительную связь между возрастом хвои и суммарным содержанием хлорофиллов *a* и *b* ($r=0,324$, $p < 0,05$). Установлено, что сумма хлорофиллов в хвое третьего года вегетации в среднем превышает их содержание в хвое первого года вегетации в 1,3 раза. Данный вывод согласуется с результатами других исследований. Например, для *Picea abies* было показано, что, хвоя третьего и четвертого годов вегетации содержит в 1,5 раза больше хлорофиллов, чем хвоя первого и второго годов. Это свидетельствует о значительно более высокой функциональной значимости хвои третьего и четвертого годов в процессе фотосинтеза, что подтверждает ее

большой вклад в общую продуктивность фотосинтезирующих органов древесного растения [19]. Ель характеризуется довольно высокими концентрациями хлорофиллов *a* и особенно *b*, что расширяет возможности ее ассимиляционного аппарата поглощения энергии в длинноволновом и коротковолновом участках спектра [20]. Подобная тенденция прослеживается для хвои второго и третьего года в наших исследованиях – концентрация форм хлорофиллов у ели в 1,3–1,4 раза выше.

Особенности функционирования хлорофиллов *a* и *b* могут быть отражены в различиях их коэффициентов вариации (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты вариации для хлорофиллов *a* и *b*

Table 3

Coefficient of variation on chlorophylls *a* and *b*

Species	One-year needles		Two-year needles		Three-year needles	
	Va, %	Vb, %	Va, %	Vb, %	Va, %	Vb, %
<i>P. abies</i>	8,71	8,23	11,77	13,83	12,13	11,73
<i>P. koraiensis</i>	14,21	15,06	16,39	19,10	9,32	12,93
<i>P. laxa</i>	8,51	9,76	5,99	8,30	6,12	7,31
<i>P. obovata</i>	3,15	3,63	4,38	5,95	6,87	7,47
<i>P. obovata var. krylovii</i>	5,77	5,45	3,87	3,65	9,35	17,81
<i>P. omorika</i>	3,31	6,10	8,45	11,59	8,60	10,46
<i>P. pungens</i>	4,58	7,57	5,50	5,83	2,95	5,37
<i>P. engelmannii</i>	3,51	3,74	4,54	7,45	9,40	9,06

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

В среднем, изменчивость содержания двух форм хлорофилла характеризуется низким коэффициентом вариации, лишь хвоя некоторых видов отдельного возраста показали средний (*P. koraiensis*, *P. obovata*) коэффициент вариации. Однако коэффициент вариации хлорофилла *a* меньше, чем хлорофилла *b* для всех трех возрастов. Хлорофилл *b*, будучи дополнительным пигментом, в большей степени отражает факторы среды, чувствительнее реагируя на внешние воздействия, так как он отвечает за размер антенны, прежде всего, за световые условия, которые есть у дерева.

Отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* отражает обеспеченность растения к свету. Чем больше хлорофилла *a* по отношению к хлорофиллу

b, тем интенсивнее происходит фотосинтез. В норме этот коэффициент должен быть выше 1,5–2. Практически все изучаемые виды имеют показатель соотношения хлорофиллов выше 1,5, а значит свет, скорее всего, не ограничивал фотосинтетическую активность.

Дисперсионный анализ показал, что отсутствие влияния пигментного состава на размеры приростов побегов ($F=0,085$, $p=0,771$). Это объясняется тем, что пигменты определяют только потенциальную способность к фотосинтезу. Показатель прироста является интегрированной характеристикой, которая зависит не только от количества пигментов, но и от того, как они функционируют в зависимости от температуры, освещенности, влажности. Конечный

прирост определяется разницей между фотосинтезом и дыханием. Чем больше пигментов, тем больше потенциальная возможность растений фотосинтезировать, но ее реализация зависит от внешних условий среды.

Заключение

Таким образом, разные виды неодинаково реагируют на изменения метеоусловий. Основными метеофакторами, регулирующими начало роста побегов, являются суммы положительных температур, в то время как окончание роста побегов в большей степени детерминировано, кроме температуры, влагообеспеченностью в зимний и весенне-летний периоды.

Наибольшие среднегодовые приросты наблюдались у двух видов елей (*Picea koraiensis* – 24,9 см, *Picea obovata* – 22,4 см).

Хвоя разного возраста содержит разное количество пигментов – с возрастом пигментов становится больше – сумма хлорофиллов третьего года

вегетации в среднем в 1,3 раза превышает содержание хлорофиллов первого года вегетации, поэтому трехлетняя хвоя привносит больший вклад в фотосинтетическую активность. Максимальное содержание хлорофиллов выявлено в хвое третьего года у *Picea koraiensis* – 2,96 мг/г сухой массы. Отсутствует прямая связь между содержанием пигментов в хвое и приростом побегов, так как прирост зависит от разницы между фотосинтезом и дыханием, внешних условий. Коэффициент соотношения хлорофилла а к хлорофиллу b практически во всех случаях превышает значение 1,5, что означает достаточное световое довольствие для растения.

Полученные нами данные позволят разработать агротехнику видов рода *Picea* A. Dietr. для условий Среднего Урала. Изученные виды могут быть рекомендованы для использования в озеленении Екатеринбурга. Для использования в лесоклиматических проектах предпочтительно использовать аборигенные виды елей.

Список литературы

1. Fu L. G., Li N., Mills R. *Pinaceae* Lindley. Flora of China: Z.Y. Wu, P.H. Raven (eds.). *Cycadaceae* through *Fagaceae*; St. Louis: Science Press, Beijing, and Missouri Botanical Garden Press. 1999; 4: 11-52.
2. Булыгин Н. Е., Ярмишко В. Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2001. 528 с.
3. Мамаев С. А. Виды хвойных на Урале и их использование в озеленении. УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1983. 102 с.
4. Ананьина А. В., Воробьева М. В., Марковская А. Н., Крекова Я. А., Залесов С. В. Перспективность интродуцентов учебно-опытного дендрария уральского учебно-опытного лесхоза. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.П. Филиппова. 2024; 3(76): 81-89. DOI: <https://doi.org/10.34655/bgsha.2024.76.3.011>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=73161876>.
5. He J., Shen Z., Ning C., Zhang W., Halik Ü. Elevational Effects of Climate Warming on Tree Growth in a *Picea schrenkiana* Forest in the Eastern Tianshan Mountains. *Forests*. 2024; 15: 2052. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15122052>.
6. Orešković M., Trlin D., Anić I., Oršanić M., Prša L., Mikac S. Climate Sensitivity and Tree Growth Patterns in Subalpine Spruce-Dominated Forests of the North-Western Dinaric Alps. *Forests*. 2024; 15: 1972. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15111972>.
7. Sharma M. Climate-Sensitive Diameter Growth Models for White Spruce and White Pine Plantations. *Forests*. 2023; 14: 2457. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14122457>.
8. Jiao L., Xue R., Qi C., Chen K., Liu X. Comparison of the responses of radial growth to climate change for two dominant coniferous tree species in the eastern Qilian Mountains, northwestern China. *Int J Biometeorol*. 2021; 65: 1823-1836. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02139-4>.
9. Jiao L., Wang S., Chen K., Liu X. Dynamic response to climate change in the radial growth of *Picea schrenkiana* in western Tien Shan, China. *J. For. Res.* 2022; 33: 147-157. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01336-6>.
10. Wu X., Jiao L., Liu X., Xue R., Qi C., Du D. Ecological Adaptation of Two Dominant Conifer Species to Extreme Climate in the Tianshan Mountains. *Forest*. 2023; 14: 1434. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14071434>.

11. Mašek J., Dorado-Liñán I., Treml V. Responses of stem growth and canopy greenness of temperate conifers to dry spells. *Int J Biometeorol.* 2024; 68: 1533-1544. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02682-w>.
12. Климат Урала. URL: http://svgimet.ru/?page_id=1707 (дата обращения: 10.09.2024).
13. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. Москва, 1975. 28 с.
14. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology.* 1987; 148: P. 350-382. DOI: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).
15. Архив погоды. – URL: http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Екатеринбурге (дата обращения: 10.09.2024).
16. Зайцев Г. Н. Оптимум и норма в интродукции растений. М.: Наука, 1983. 272 с.
17. Кулькова А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Сезонные изменения пигментного состава хвои представителей рода ель в Нижегородской области. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2021; 235: 22-39. DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2021.235.22-39>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46115006>.
18. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Ершов П. В. Генотипическая обусловленность пигментного состава хвои плюсовых деревьев ели европейской. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал.* 2019; 1(367): 63-76. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.1.63>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36949911>.
19. Силкина О. В. Комплексная оценка эколого-физиологических параметров хвои *Abies sibirica* и *Picea abies* в процессе вегетации и ее фитопродуктивная активность : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 «Экология», 03.00.32 «Биологические ресурсы» / О. В. Силкина. – Казань, 2006. 25 с.
20. Тужилкина В. В. Фотосинтетическая активность сосны и ели в условиях средней подзоны тайги Коми АССР : автореф. дис. ... канд. биол. наук: специальность 03.00.12 «Физиология и биохимия растений» / В. В. Тужилкина. – Воронеж, 1984. – 19 с.

References

1. Fu L. G., Li N., Mills R. *Pinaceae* Lindley. *Flora of China*: Z.Y. Wu, P.H. Raven (eds.). *Cycadaceae* through *Fagaceae*; St. Louis: Science Press, Beijing, and Missouri Botanical Garden Press. 1999; 4: 11-52.
2. Bulygin N. E., Yarmishko V. T. *Dendrologia* [Dendrology]. М.: MGUL, 2001. 528 p. (In Russ.).
3. Mamayev S. A. Vidy khvoynykh na Urale i ikh ispolzovanie v ozelenenii [The conifers on the Urals and the using one in landscaping]. UNTS AN SSSR – Sverdlovsk, 1983. 102 p. (In Russ.).
4. Ananyina A. V., Vorobyova M. V., Markovskaya A. N., Krekova Ya. A., Zalesov S. V. Perspektivnost introdutsentov uchebno-opytного dendrariya uralskogo uchebno-opytного leskhoza [Prospects of invasive plants of an educational and experimental arboretum of the Ural educational and experimental forestry enterprise]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Fillipova = Buryat Agrarian Journal.* 2024; 3(76): 81-89. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34655/bgsha.2024.76.3.011>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=73161876>.
5. He J., Shen Z., Ning C., Zhang W., Halik Ü. Elevational Effects of Climate Warming on Tree Growth in a *Picea schrenkiana* Forest in the Eastern Tianshan Mountains. *Forests.* 2024; 15: 2052. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15122052>.
6. Orešković M., Trlin D., Anić I., Oršanić M., Prša L., Mikac S. Climate Sensitivity and Tree Growth Patterns in Subalpine Spruce-Dominated Forests of the North-Western Dinaric Alps. *Forests.* 2024; 15: 1972. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15111972>.
7. Sharma M. Climate-Sensitive Diameter Growth Models for White Spruce and White Pine Plantations. *Forests.* 2023; 14: 2457. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14122457>.
8. Jiao L., Xue R., Qi C., Chen K., Liu X. Comparison of the responses of radial growth to climate change for two dominant coniferous tree species in the eastern Qilian Mountains, northwestern China. *Int J Biometeorol.* 2021; 65: 1823-1836. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02139-4>.

9. Jiao L., Wang S., Chen K., Liu X. Dynamic response to climate change in the radial growth of *Picea schrenkiana* in western Tien Shan, China. *J. For. Res.* 2022; 33: 147-157. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01336-6>.
10. Wu X., Jiao L., Liu X., Xue R., Qi C., Du D. Ecological Adaptation of Two Dominant Conifer Species to Extreme Climate in the Tianshan Mountains. *Forest.* 2023; 14: 1434. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14071434>.
11. Mašek J., Dorado-Liñán I., Trembl V. Responses of stem growth and canopy greenness of temperate conifers to dry spells. *Int J Biometeorol.* 2024; 68: 1533-1544. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-024-02682-w>.
12. Klimat Urala [Climate of the Urals] (In Russ.). URL: http://svgimet.ru/?page_id=1707 (date of access: 10.09.2024).
13. Metodika fenologicheskikh nabludeniy v botanicheskikh sadakh SSSR [The methods of phenological observation in botanical gardens of USSR]. Moscow, 1975. 28 p. (In Russ.).
14. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology.* 1987; 148: P. 350-382. DOI: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).
15. Arhiv pogody [The weather archive] (In Russ.). URL: http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Екатеринбурге (date of access: 10.09.2024).
16. Zaytsev G. N. Optimum i norma v introduksii rasteniy [The optimum and norm in plant introduction]. M.: Nauka, 1983. 272 p. (In Russ.).
17. Kulkova A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Sezonnaya izmeneniya pigmentnogo sostava khvoi predstaviteley roda yel v Nizhegorodskoy oblasti [Seasonal changes in the pigment composition of needles of representatives of the genus spruce in the Nizhny Novgorod region]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii.* 2021; 235: 22-39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2021.235.22-39>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46115006>.
18. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Ershov P. V. Genotipicheskaya obuslovlennost pigmentnogo sostava khvoi plusovykh derevyev eli evropeyskoy. [Genotypic Conditionality of Plus Tree Needle Pigment Composition of Norway Spruce]. *Lesnoy Zhurnal = Forestry Journal.* 2019; 1(367): 63-76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.1.63>. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36949911>.
19. Silkina O. V. Kompleksnaya ocenka ekologo-fiziologicheskikh parametrov hvoi *Abies sibirica* i *Picea abies* v processe vegetatsii i ee fitoproduktivnaya aktivnost : autoref. dis. ... Cand.Sci. (Biol.) : 03.00.16 «Ecology», 03.00.32 «Biological resources». Kazan, 2006. 25 p. (In Russ.).
20. Tuzhilkina V. V. Fotosinteticheskaya aktivnost sosny i eli v usloviyakh sredney podzony tajgi Komi ASSR : autoref. dis. ... Cand.Sci. (Biol.) : 03.00.12 «Plant physiology and Biochemistry». Voronezh, 1984. 19 p. (In Russ.).

Сведения об авторах

Михалищев Роман Валерьевич – ведущий инженер ботанического сада Уральского федерального университета, ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, 620062, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-3035-2010>, e-mail: rmichaliszczew@gmail.com.

Валдайских Виктор Владимирович – кандидат биологических наук, доцент, директор ботанического сада Уральского федерального университета, ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, 620062, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0001-9440-8522>, e-mail: v_vald@mail.ru.

Артемова Елена Петровна – кандидат биологических наук, ведущий инженер ботанического сада Уральского федерального университета, ул. Мира, 19, г. Екатеринбург, 620062, Российская Федерация; профессор Уральского государственного университета путей сообщения, ул. Колмогорова, 66, г. Екатеринбург, 620034, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0003-0937-460X>, e-mail: EAtemeva@usurt.ru.