

ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ ХВОИ САЖЕНЦЕВ СОСНЫ ГОРНОЙ И СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов[✉]

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», Россия, 603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 97

lesfak@bk.ru

Представлены результаты изучения пигментного состава хвои 4-летних саженцев сосны горной (*Pinus mugo* Turra.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Обеспечено соблюдение принципа единственного логического различия, выдержаны базовые требования к постановке опыта. Реализован полевой стационарный и лабораторный методы с фиксацией наличия в однолетней хвое хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов. Применен спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4. Использованы 96%-е спиртовые вытяжки из гомогенизированной измельченной навески биоматериала, масса которой определена с точностью до 0,001 г на прецизионных аналитических весах Acculab VIC-300d3. Выполнен расчет концентраций пигментов по уравнениям Веттштейна и Хольма. Установлены слабые межвидовые различия в содержании и соотношении пластидных пигментов при хорошо заметных индивидуальных фенотипических различиях между особями семенного происхождения. По содержанию хлорофилла *a* у с. горной наибольшее среднее ($7,38 \pm 0,15$ мг/г) в 1,29 раза превосходило наименьшее ($5,72 \pm 0,24$ мг/г); у с. обыкновенной наибольшее среднее ($7,35 \pm 0,54$ мг/г) превысило наименьшее ($5,53 \pm 0,08$ мг/г) в 1,25 раза. Дана оценка влияния межвидовых и внутривидовых различий в пигментном составе хвои на формирование общего фона дисперсии его показателей, а также установлены эффекты их взаимодействия. Зафиксировано наибольшее влияние видоспецифичности в тестируемых характеристиках пигментного состава хвои: по доле содержания каротиноидов ($18,35 \pm 1,28$ %) и по отношению содержания каротиноидов к общей сумме содержания хлорофилла ($18,08 \pm 1,28$ %). Характер накопления пигментов в хвое сосны обыкновенной и сосны горной указывает на общность их экологических реакций и возможность введения последней в состав искусственных насаждений в Нижегородской области.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, сосна горная, пластидные пигменты, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды, межвидовые различия

Ссылка для цитирования: Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Пигментный состав хвои саженцев сосны горной и сосны обыкновенной в Нижегородской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 5–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-5-18

Род сосна (*Pinus* L.) хорошо известен своими многочисленными видами, подвидами, климатипами и формами, что нашло отражение в многочисленных отечественных [1–5] и зарубежных [6–10] публикациях, в которых, в частности, изложены различные взгляды на его систематику [11–13], сообщается о фертильных межвидовых гибридах [8, 14]. На территории России описано 16 аборигенных и 73 интродуцированных вида сосен [15], многостороннее исследование биологии которых позволило более точно идентифицировать представителей таксонов разных уровня и ранга. В их числе сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), которая неизменно относится к главным лесообразующим породам не только в России [2, 3–5], но и в Евразии [16–18]. Широта ареала и многообразие форм практического использования делают эту группу древесных растений, включая сосну горную (*Pinus mugo* Turra), объектом непрерывного и разностороннего изучения как в России [19–21], так и за ее

пределами [22–27]. При этом пристальное внимание уделяется селекционному совершенствованию [28–31], интродукции [32,33], морфометрии [34–36], физиологии [37–40] и пигментному составу хвои [41–43].

Вовлечение представителей инорайонной флоры в решение практических задач на основе современных методов интродукции существенно расширяет перечень видов деревьев и кустарников, не только формирующих ассортимент защитных или плантационных насаждений, но и способных успешно выполнять санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции. Аклиматизация и натурализация растений обеспечат оптимизацию ассортиментного состава городских зеленых насаждений и позволят решить непростые задачи стабилизации ключевых параметров среды урбоэкосистем.

Среди наиболее перспективных в указанном контексте видов сосна горная (*Pinus mugo* Turra.) уверенно занимает передовые позиции [44–48]. В Среднем Поволжье она является экзотом,

активно вводимым в систему озеленения городов лишь в два последних десятилетия. Вместе с тем перспективы ее успешного расселения в новых местах обитания определяются тем, что, по лесорастительному районированию, территория предполагаемой дислокации указанных объектов лежит в границах хвойно-широколиственного лесного района европейской части Российской Федерации (3-й лесорастительный район), который относится к зоне хвойно-широколиственных лесов. Здесь распространены серые лесные, а также дерново-подзолистые и подзолистые почвы и господствует относительно влажный климат с умеренно теплым и влажным летом и умеренно суровой снежной зимой, что предопределяет широкое распространение и успешное развитие большинства древесных пород в зоне средних широт Северного полушария [1, 49].

Критерием соответствия указанных условий среды биологическим особенностям вводимой в культуру сосны горной выступает наличие в данной местности природных популяций близкой ей по биологии и с экологической точки зрения, а также родственного в таксономическом отношении вида — сосны обыкновенной. Если данный вид последовательно и разнопланово исследуется в Нижегородской области [3–5, 19–21], то научных работ по сосне горной, произрастающей в регионе, еще крайне мало [32].

Цель работы

Цель работы — сравнительная оценка пигментного состава хвои саженцев сосны горной и сосны обыкновенной в условиях Нижегородского Поволжья.

Материалы и методы

Объектом исследований служили саженцы сосны горной и сосны обыкновенной, произраставшие в школьном отделении учебно-опытного питомника Нижегородского государственного агротехнологического университета — географические координаты: N56°19'43", E44°00'07", абсолютная высота 141 м. При выращивании посадочного материала была использована рядовая посадка двухлетних сеянцев в открытый грунт по схеме 35×10 см. Каждый вид был представлен восьмью рядами, которые выступали повторности опыта. Предметом исследования выступал пигментный состав хвои растений семенного происхождения, имевших биологический возраст 4 года (2 года — сеянцы и 2 года — саженцы).

Работы проведены полевым стационарным и лабораторным методом. Каждый вид сосны был представлен в восьми повторностях, которыми выступали отдельные ряды разделенные при этом на пять равновеликих по протяженности учетных

отрезков. Последние служили источником биологических проб хвои, общее количество которых составило 80 шт.

Теоретической платформой исследований служили имеющиеся фундаментальные работы по пластидным пигментам [50, 51]. Наличие в хвое хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, их суммарное количество и концентрацию каротиноидов выявляли спектрофотометрическим методом по оптической плотности экстракционной вытяжки [50–53] с помощью спектрофотометра СФ-2000. Его программное обеспечение GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4 позволяло строить спектры поглощения хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов, а также фиксировать их максимумы при длинах волн: 665; 649; 452,5 нм соответственно. Была учтена возможность некоторого смещения указанных максимумов в зависимости от оптических свойств используемого экстрагента [50–53], вследствие чего готовили его тестовый эталон. Концентрацию указанных веществ в миллиграммах на один грамм (мг/г) сырой массы хвои вычисляли по уравнениям Ветштейна и Хольма [51–53]. Массу навески устанавливали с точностью до 0,001 г на прецизионных аналитических весах Acculab VIC-300d3. Содержание пигментов на единицу массы сухого вещества вычисляли с определением его доли в каждой навеске после высушивания хвои до абсолютно сухого состояния [3, 5, 41, 43]. Далее расчетным путем находили [3, 5, 51–54]: отношение содержания разных форм хлорофилла; отношение их содержания к содержанию каротиноидов; долю каждого в пигментном составе; общее количество пигментов.

Такой подход традиционен в изучении фотосинтезирующего комплекса древесных растений [55–57], а введение в схему опыта производных признаков в методическом плане общепринято в биологических [58–61] и лесоводственных исследованиях [62–66].

Результаты и обсуждение

В исследовании установлено, что содержание и соотношение пластидных пигментов в хвое одновозрастных саженцев сосны горной и сосны обыкновенной неодинаково при сохранении индивидуальных различий между особями семенного происхождения, относящимися к каждому из двух сравниваемых видов (рис. 1–5). В частности, по содержанию хлорофилла *a* наблюдается слабовыраженная разница в его концентрации в тканях хвои разных видов, но достаточно заметна индивидуальная изменчивость внутри каждого из них (см. рис. 1).

По содержанию хлорофилла *a* в хвое сосны горной отмечено наибольшее среднее значение

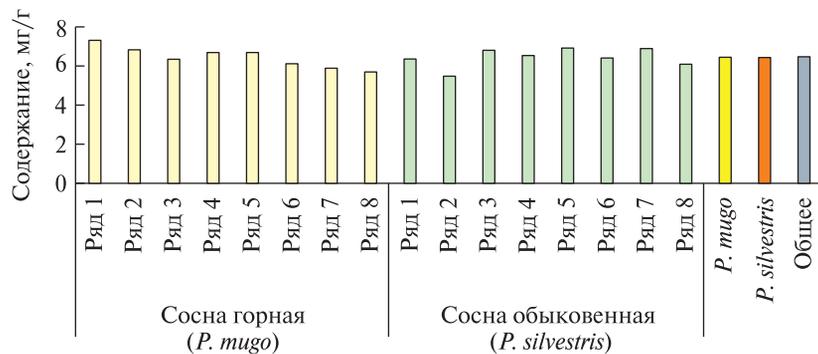


Рис. 1. Содержание хлорофилла *a* в хвое сосны горной и сосны обыкновенной
Fig. 1. The content of chlorophyll *a* in the needles of Mountain pine and Scots pine seedlings

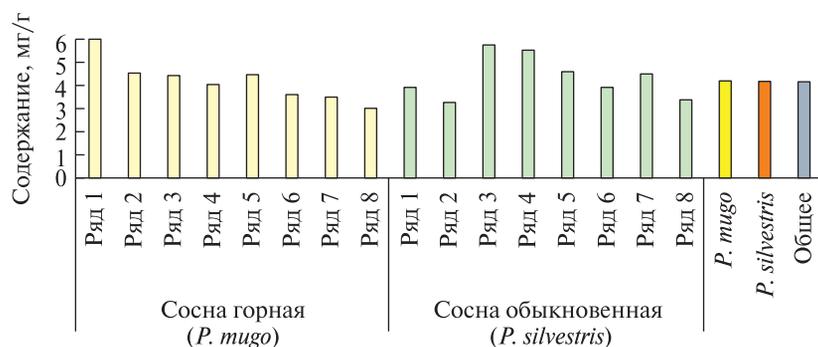


Рис. 2. Содержание хлорофилла *b* в хвое сосны горной и сосны обыкновенной
Fig. 2. The content of chlorophyll *b* in the needles of Mountain pine and Scots pine seedlings

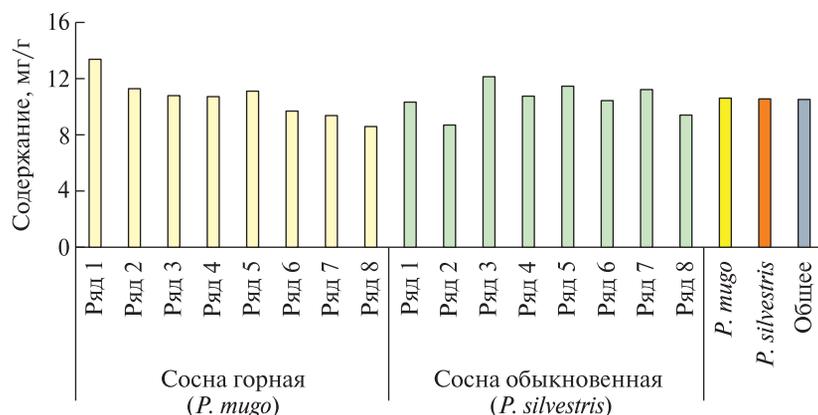


Рис. 3. Суммарное содержание хлорофилла *a* и хлорофилла *b* в хвое сосны горной и сосны обыкновенной
Fig. 3. The total content of chlorophyll *a* and chlorophyll *b* in the needles of Mountain pine and Scots pine seedlings

(7,38 ± 0,15 мг/г), которое наблюдалось в ряду 1, в 1,29 раза или на 1,66 мг/г превосходит наименьшее значение (5,72 ± 0,24 мг/г), отмеченное в ряду 8. Обобщенное по сосне горной среднее значение составило 6,46 ± 0,11 мг/г. Масштаб индивидуальных различий по сосне обыкновенной вполне сопоставим, и в этом случае наибольшее среднее значение (7,35 ± 0,54 мг/г), зафиксиро-

ванное в ряду 5, в 1,25 раза или на 1,38 мг/г превосходит наименьшее значение (5,53 ± 0,08 мг/г), отмеченное в ряду 2. Обобщенное по сосне обыкновенной среднее значение составило 6,46 ± 0,08 мг/г. Несколько иная картина соотношений между сравниваемыми видами, прежде всего представляющими их особями, складывается по содержанию хлорофилл *b* (см. рис. 2).

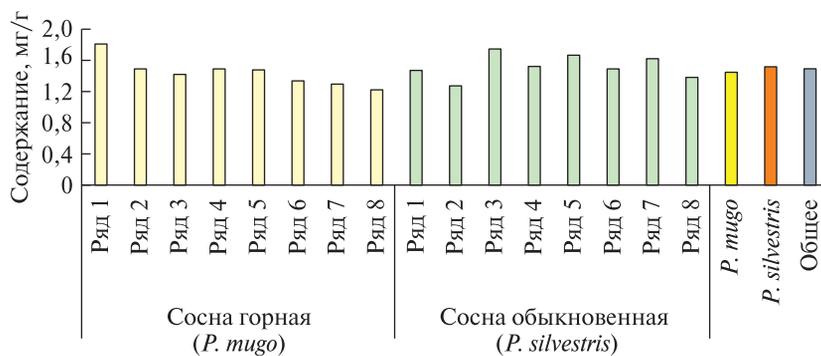


Рис. 4. Содержание каротиноидов в хвое сосны горной и сосны обыкновенной
Fig. 4. The content of undifferentiated carotenoids in the needles of Mountain pine and Scots pine seedlings

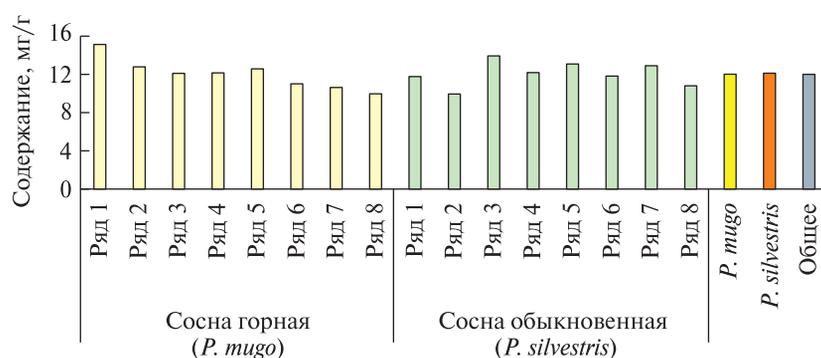


Рис. 5. Общая сумма пигментов в хвое сосны горной и сосны обыкновенной
Fig. 5. The total amount of pigments in the needles of Mountain pine and Scots pine seedlings

Однако и в этом случае разница в его содержании в хвое тестируемых представителей рода Сосна незначительна: $4,16 \pm 0,19$ мг/г (сосна горная) и $4,13 \pm 0,12$ мг/г (сосна обыкновенная). Такая ситуация минимизировала превышение (в 1,009 раза) и разность (на $0,036$ мг/г) полученных оценок на фоне их обобщенного значения $4,14 \pm 0,11$ мг/г.

Напротив, внутривидовая изменчивость между повторностями опыта проявилась более контрастно. В хвое сосны горной наибольшее среднее значение содержания хлорофилла *b* ($5,97 \pm 0,43$ мг/г), отмеченное в ряду 1, в 2,011 раза или на $3,01$ мг/г превосходит наименьшее значение ($2,97 \pm 0,30$ мг/г), наблюдавшееся в ряду 8. Индивидуальные различия у сосны обыкновенной по данному показателю сопоставимы по масштабу: наибольшее среднее значение ($5,38 \pm 0,19$ мг/г), зафиксированное на этот раз в ряду 3, в 1,666 раза или на $2,15$ мг/г превосходит наименьшее значение ($3,23 \pm 0,12$ мг/г), отмеченное в ряду 2.

Суммарное содержание в хвое представителей рода Сосна зеленых пластидных пигментов (хлорофилла *a* и хлорофилла *b*) в полной мере соответствовало особенностям содержания каждого из них по отдельности в фотосинтезирующем аппарате исследуемых растений (см. рис. 3).

Так же, как и в отдельно проведенных оценках содержания хлорофилла *a* (см. рис. 1) и хлорофилла *b* (см. рис. 2), в клетках хвои сосны горной и сосны обыкновенной, наблюдали предельно близкие оценки обобщенных средних значений суммарного содержания двух форм хлорофилла (см. рис. 3) по каждому из указанных видов: $10,63 \pm 0,29$ мг/г (сосна горная) и $10,58 \pm 0,19$ мг/г (сосна обыкновенная).

Они сформировали слабое превышение большего над меньшим (в 1,004 раза) и малозначимую разность ($0,04$ мг/г) на фоне практически полного отсутствия отклонений каждой из видовых оценок от обобщенного для всего массива данных среднего значения ($10,605 \pm 0,173$ мг/г). В то же время суммарное содержание двух форм хлорофилла в хвое саженцев сосны горной заметно варьирует, наибольшее среднее значение ($13,35 \pm 0,55$ мг/г) наблюдалось в ряду 1, а наименьшее ($8,69 \pm 0,53$ мг/г) — в ряду 8. Эти оценки показали превышение содержания в 1,53 раза или на $4,66$ мг/г. Обобщенное для данного вида среднее значение рассматриваемого признака составило $10,63 \pm 0,29$ мг/г. У сосны обыкновенной соотношение тех же оценок особой семенного происхождения носило принципиально сходный характер при вполне понятной индивидуальной

специфичности. У этой породы наибольшее среднее значение ($12,21 \pm 0,31$ мг/г) наблюдалось в ряду 3, а наименьшее ($8,76 \pm 0,18$ мг/г) — в ряду 2. Полученные оценки показали превышение в 1,393 раза или на 3,45 мг/г. Среднее для данного вида в целом значение составило $10,58 \pm 0,19$ мг/г.

Межвидовые различия в содержании недифференцированных каротиноидов в хвое сравниваемых между собой сосны горной и сосны обыкновенной проявились в большей степени (см. рис. 4).

Сравнение достигнутых растениями значений содержания в их хвое каротиноидов позволяет признать наличие на общем фоне дисперсии по данному признаку не только межвидовых различий, но и расхождений в значениях между саженцами в повторностях, которыми выступали учетные ряды в принятой организационно-методической схеме опыта. Оценки обобщенных по каждому из указанных видов средних значений содержания в тканях хвои каротиноидов составили: $1,46 \pm 0,04$ мг/г (сосна горная) и $1,53 \pm 0,03$ мг/г (сосна обыкновенная). Они сформировали некоторое превышение большего над меньшим (в 1,057 раза) и сравнительно небольшую разность ($0,08$ мг/г). Каждый из видов слабо отличался от обобщенного по всему массиву данных среднего значения рассматриваемого показателя ($1,49 \pm 0,03$ мг/г): в 1,029 раза или на $0,04$ мг/г — в меньшую сторону (сосна горная) и во столько же раз и на столько же единиц — в большую сторону (сосна обыкновенная).

Выступавшее интегральным показателем пигментного состава хвои двух видов сосен общее суммарное содержание в тканях листового аппарата хлорофилла и каротиноидов (см. рис. 5) во многом отражало основные тенденции в их раздельной концентрации (см. рис. 1–4).

Рассматривая визуализацию статистических данных по сумме пластидных пигментов, можно констатировать, что наибольшее среднее значение суммы у сосны горной ($15,16 \pm 0,66$ мг/г) в ряду 1, а наименьшее ($9,92 \pm 0,63$ мг/г) — в ряду 8. Разница в этих оценках составила $5,24$ мг/г, что обеспечило превышение первой из них над второй в 1,529 раза. Обобщенное в пределах данного вида среднее значение рассматриваемого показателя достигло величины $12,07 \pm 0,33$ мг/г. Сосна обыкновенная в этом отношении столь же неоднородна, и в разрезе повторностей опыта наибольшее среднее значение суммы пигментов ($13,96 \pm 0,37$ мг/г) отмечено в ряду 3, а наименьшее ($10,04 \pm 0,20$ мг/г) — в ряду 2. Общее для указанного вида среднее значение рассматриваемого признака составило $12,11 \pm 0,21$ мг/г. При этом, оценки по каждому из видов весьма выровнены и, как следствие, мало

отличаются от обобщенного для них среднего значения ($12,09 \pm 0,20$ мг/г) этого показателя.

Отмеченные выше тенденции накопления хлорофилла и каротиноидов в хвое сосны горной и сосны обыкновенной в той или иной мере логически сохранились при анализе других показателей их пигментного состава. Выраженное сходство характеристик пигментного состава хвои аборигенной сосны обыкновенной и интродуцированной сосны горной указывает на принципиальную общность их биологии, в частности, по тем ее показателям, которые определяют параметры фотосинтезирующего аппарата. Оценить силу раздельного влияния межвидовых и внутривидовых различий в пигментном составе хвои на формирование общего фона дисперсии, а также установить эффекты их взаимодействия позволил двухфакторный дисперсионный анализ (табл. 1, 2).

По влиянию видовой специфичности — фактору А для большего числа анализируемых признаков (8 из 13) существенность различий не получила подтверждений: опытный критерий Фишера ($F_{оп}А = 0,004 \dots 3,600$) меньше своего предельного порога ($F_{05/01}А = 3,99/7,04$). Остальные признаки продемонстрировали опытные F -критерии, превышающие соответствующие им табличные значения по данному организованному фактору дисперсионного комплекса (см. табл. 1, 2).

При этом по наличию в хвое сухого вещества (см. табл. 1) различия между сосной горной и сосной обыкновенной оказались существенными на 5%-м уровне значимости и были несущественными — на 1%-м. Данные обстоятельства позволили продолжить проведение дисперсионного анализа в части оценки эффективности влияния организованного фактора в отношении признаков с подтвержденной существенностью различий.

Из изложенного следует, что видовая принадлежность представителей рода Сосна (фактор А), определяющая биологический потенциал рассматриваемых растений (сосны горной и сосны обыкновенной), который во многом обуславливает продуктивность фотосинтеза, рост и последующее развитие в ранней фазе их онтогенеза, по некоторым признакам оказывает существенное влияние на формирование фенотипических различий между представителями сравниваемых видов. Однако действие этого фактора при подтвержденной достоверности эффекта влияния невелико и никогда не доминирует (см. табл. 2). Наибольшие достоверные оценки его влияния в расчетах с применением алгоритма Плохинского зафиксированы по доле содержания каротиноидов в пигментном составе хвои ($18,35 \pm 1,28$ %; $F_h^2 = 14,382$) и по отношению содержания каротиноидов к сумме содержания хлорофилла

Т а б л и ц а 1

**Результаты двухфакторного дисперсионного анализа содержания пигментов
в хвое сосны горной и сосны обыкновенной**

The results of a two-way ANOVA of the pigment content in the needles of Mountain pine and Scots pine

Фактор влияния, источник дисперсии	Критерий Фишера $F_{оп}$	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_h^2$)			
		по П्लохинскому		по Снедекору	
		h^2	$\pm s_h^2$	h^2	$\pm s_h^2$
Содержание хлорофилла <i>a</i>					
Виды (А)	0,004	0,00002	0,0156	—	—
Повторности (В)	5,755	0,2499	0,0820	0,1653	0,0913
Взаимодействие (АВ)	8,130	0,3531	0,0708	0,4957	0,0552
Остаток (Z)	—	0,3970	0,6030	0,3476	0,6524
Содержание хлорофилла <i>b</i>					
Виды (А)	0,057	0,0003	0,0156	—	—
Повторности (В)	8,182	0,3452	0,0716	0,2595	0,0810
Взаимодействие (АВ)	6,367	0,2687	0,0800	0,3878	0,0670
Остаток (Z)	—	0,3858	0,6142	0,3613	0,6387
Суммарное содержание хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>b</i>					
Виды (А)	0,057	0,0003	0,0156	—	—
Повторности (В)	8,182	0,3452	0,0716	0,2595	0,0810
Взаимодействие (АВ)	6,367	0,2687	0,0800	0,3878	0,0670
Остаток (Z)	—	0,3858	0,6142	0,3613	0,6387
Содержание каротиноидов					
Виды (А)	0,057	0,0003	0,0156	—	—
Повторности (В)	8,182	0,3452	0,0716	0,2595	0,0810
Взаимодействие (АВ)	6,367	0,2687	0,0800	0,3878	0,0670
Остаток (Z)	—	0,3858	0,6142	0,3613	0,6387
Обобщенное суммарное содержание пигментов					
Виды (А)	0,057	0,0003	0,0156	—	—
Повторности (В)	8,182	0,3452	0,0716	0,2595	0,0810
Взаимодействие (АВ)	6,367	0,2687	0,0800	0,3878	0,0670
Остаток (Z)	—	0,3858	0,6142	0,3613	0,6387
Содержание абсолютно сухого вещества					
Виды (А)	0,057	0,0003	0,0156	—	—
Повторности (В)	8,182	0,3452	0,0716	0,2595	0,0810
Взаимодействие (АВ)	6,367	0,2687	0,0800	0,3878	0,0670
Остаток (Z)	—	0,3858	0,6142	0,3613	0,6387

Примечание 1. Факторы влияния: А — организованный фактор, действие которого обусловлено межвидовыми различиями представителей рода Сосна; В — организованный фактор, действие которого связано с различиями между повторностями опыта (учетные ряды); АВ — эффект взаимодействия организованных факторов А и В; Z — неорганизованный фактор или остаточная дисперсия, соответствующая внутригрупповой (случайной) изменчивости, индуцируемой пестротой фона не учитываемых в опыте факторов среды.

Примечание 2. Обозначения: $F_{оп}$ — опытное значение критерия Фишера; F_{05} — табличное значение критерия Фишера на 5%-м уровне значимости ($F_{05/01A} = 3,99/7,04$; $F_{05/01B} = 2,15/2,93$; $F_{05/01AB} = 2,15/2,93$); h^2 — доля влияния организованного фактора; $\pm s_h^2$ — ошибка доли влияния организованного фактора; число первичных единиц выборки каждого признака — 80; общая емкость базы данных — 1040 дата-единиц.

($18,08 \pm 1,28$ %; $F_h^2 = 14,382$). В значительно меньшей степени при сохранении достоверности этот эффект проявился по отношению содержания хлорофилла *a* к содержанию каротиноидов ($12,77 \pm 1,36$ %; $F_h^2 = 9,369$) и по отношению содержания хлорофилла *b* к содержанию каротиноидов ($5,24 \pm 1,48$ %; $F_h^2 = 3,541$). Минимальная оценка при сохранении ее значимости только на 5%-м уровне принадлежала содержанию абсолютно сухого вещества в хвое представителей рода сосна ($3,01 \pm 1,52$ %; $F_h^2 = 1,99$).

Весьма индифферентными показателями, мало зависящими от видовой принадлежности исследуемых растений, и, как следствие, не оказавшими существенного влияния на формирование различий между ними, выступили важнейшие оценки содержания пластидных пигментов в хвое (см. табл. 1): содержание хлорофилла *a* ($0,002 \pm 1,56$ %); содержание хлорофилла *b* ($0,03 \pm 1,56$ %); суммарное содержание хлорофилла *a* и хлорофилла *b* ($0,02 \pm 1,56$ %); содержание каротиноидов ($3,09 \pm 1,51$ %); общее суммарное

**Результаты двухфакторного дисперсионного анализа соотношения пигментов
в хвое сосны горной и сосны обыкновенной**

The results of a two-way ANOVA of the of the ratio of pigments in the needles of Mountain pine and Scots pine

Фактор влияния, источник дисперсии	Критерий Фишера $F_{оп}$	Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_{h^2}$)			
		по Плохинскому		по Снедекору	
		h^2	$\pm s_{h^2}$	h^2	$\pm s_{h^2}$
Отношение хлорофилла <i>a</i> к хлорофиллу <i>b</i>					
Виды (А)	0,985	0,0074	0,0155	–	–
Повторности (В)	6,757	0,3539	0,0707	0,2899	0,0777
Взаимодействие (АВ)	3,052	0,1599	0,0919	0,2067	0,0868
Остаток (Z)	–	0,4789	0,5211	0,5036	0,4964
Отношение содержания хлорофилла <i>a</i> к содержанию каротиноидов					
Виды (А)	11,287	0,1277	0,0136	0,2078	0,0124
Повторности (В)	0,941	0,0745	0,1012	–	–
Взаимодействие (АВ)	0,931	0,0737	0,1013	–	–
Остаток (Z)	–	0,7241	0,2759	0,8081	0,1919
Отношение содержания хлорофилла <i>b</i> к содержанию каротиноидов					
Виды (А)	7,783	0,0524	0,0148	0,0743	0,0145
Повторности (В)	7,772	0,3665	0,0693	0,2967	0,0769
Взаимодействие (АВ)	3,178	0,1499	0,0930	0,1909	0,0885
Остаток (Z)	–	0,4312	0,5688	0,4381	0,5619
Доля содержания хлорофилла <i>a</i> в пигментном составе					
Виды (А)	0,242	0,0017	0,0156	–	–
Повторности (В)	7,769	0,3764	0,0682	0,3081	0,0757
Взаимодействие (АВ)	3,694	0,1790	0,0898	0,2453	0,0825
Остаток (Z)	–	0,4430	0,5570	0,4552	0,5448
Доля содержания хлорофилла <i>b</i> в пигментном составе					
Виды (А)	0,242	0,0017	0,0156	–	–
Повторности (В)	7,769	0,3764	0,0682	0,3081	0,0757
Взаимодействие (АВ)	3,694	0,1790	0,0898	0,2453	0,0825
Остаток (Z)	–	0,4430	0,5570	0,4552	0,5448
Доля содержания каротиноидов в пигментном составе					
Виды (А)	15,595	0,1835	0,0128	0,3102	0,0108
Повторности (В)	0,428	0,0352	0,1055	–	–
Взаимодействие (АВ)	0,344	0,0283	0,1063	–	–
Остаток (Z)	–	0,7530	0,2470	0,8500	0,1500
Отношение каротиноидов к сумме хлорофилла					
Виды (А)	15,317	0,1808	0,0128	0,3059	0,0108
Повторности (В)	0,425	0,0351	0,1055	–	–
Взаимодействие (АВ)	0,347	0,0287	0,1062	–	–
Остаток (Z)	–	0,7554	0,2446	0,8548	0,1452

Примечание. Обозначение факторов влияния и величин дисперсионного анализа см. табл. 1.

содержание пластидных пигментов ($0,01 \pm 1,56\%$). Отношение содержания хлорофилла *a* к содержанию хлорофилла *b* демонстрировало сходные по величине и смыслу результаты ($0,74 \pm 1,55\%$).

Полученный в рамках данного этапа анализа материал позволил заключить, что сходство основных характеристик пигментного состава хвои аборигенной сосны обыкновенной и интродуцированной сосны горной указывает на принципиальную общность их биологии, в частности, по тем ее показателям, которые определяют количе-

ственные параметры и структуру фотосинтезирующего аппарата.

Принадлежность к повторности (фактор В) в подавляющем большинстве случаев (10 из 13) индуцировала существенные различия между группировками (между учетными рядами) как на 5%-м, так и на 1%-м уровнях значимости, которые по своим величинам нередко превосходили эффект межвидовых различий (фактор А). Данное утверждение базируется на превышении расчетными значениями критерия Фишера уста-

новленных для принятого в опыте числа степеней свободы критических уровней. Влияние внутривидовых различий ощутимо. В частности, по наличию в хвое представителей рода Сосна пигментов и базовой субстанции (см. табл. 1) наибольшие оценки характерны для содержания абсолютно сухого вещества ($38,89 \pm 6,68$ %; $F_h^2 = 5,818$), в то время как наименьшие — принадлежали содержанию каротиноидов ($19,86 \pm 8,77$ %; $F_h^2 = 2,266$). Соответствующие величины производных признаков (той их части, для которой существенность различий подтверждена) более выровнены (см. табл. 2): от $35,39 \pm 7,07$ % ($F_h^2 = 5,008$) по отношению содержания хлорофилла *a* к содержанию хлорофилла *b* до $37,64 \pm 6,82$ % ($F_h^2 = 5,518$) по доле содержания хлорофилла *a* и доле содержания хлорофилла *b*.

Взаимодействие организованных факторов (фактор АВ) чаще оказывало влияние, вызывавшее, как и в предшествующем анализе, возникновение достоверных различий, что наблюдалось в 10 случаях из 13, в которых расчетные значения критериев Фишера превосходили установленные пределы (см. табл. 1, 2). Этот фактор воздействовал на общую дисперсию примерно так же, как внутривидовые различия (фактор В). По характеристикам содержания в хвое пигментов и базовой субстанции (см. табл. 1) наибольшие оценки характерны для содержания хлорофилла *a* ($35,31 \pm 7,08$ %; $F_h^2 = 4,989$), суммарного содержания хлорофилла *a* и хлорофилла *b* ($30,52 \pm 7,60$ %; $F_h^2 = 4,015$), общего суммарного содержания пигментов ($29,91 \pm 7,67$ %; $F_h^2 = 3,901$) и содержания сухого вещества ($27,70 \pm 7,918$ %; $F_h^2 = 3,503$). Аналогичные оценки производных признаков заметно меньше (см. табл. 2): от $14,99 \pm 9,30$ % ($F_h^2 = 1,612$) по отношению содержания хлорофилла *b* к содержанию каротиноидов до $17,90 \pm 8,98$ % ($F_h^2 = 1,993$), по доле содержания хлорофилла *a* и доле содержания хлорофилла *b*. Поскольку различия в повторностях каждого варианта опыта проявились на выровненном фоне экологических условий, факт возникновения данной части дисперсии во многом можно связать с эндогенными особенностями растений семенного происхождения, формирующими уникальный состав генотипов каждого из учетных рядов. Можно констатировать, что внутривидовая изменчивость тестируемых признаков сосны горной и сосны обыкновенной, обусловленная спецификой генотипов принадлежащих им особей, указывает на возможность выделения из их числа растений с наиболее ценным по насыщенности и структуре пигментным составом.

На общем фоне изменчивости влияние неорганизованных факторов, как правило, преобладало, нередко превышая 50 %. В частности

установлено, что характеристики пигментного состава листового аппарата исследуемых растений обладают специфической восприимчивостью к комплексному воздействию условий внешней среды. Оценки остаточной дисперсии (фактор Z), возникающей под их влиянием, весьма неравнозначны и достигают значений: от 30,40 % (содержание абсолютно сухого вещества) до 72,41 % (отношение содержания хлорофилла *a* к содержанию каротиноидов) и даже до 75,30 % (доля содержания каротиноидов) и 75,54 % (отношение содержания каротиноидов к сумме содержания хлорофилла).

Выводы

1. Сходство характеристик пигментного состава хвои аборигенной сосны обыкновенной и интродуцированной сосны горной указывает на принципиальную общность их биологии, в частности, тех ее показателей, которые определяют количественные параметры и структуру фотосинтезирующего аппарата.

2. Внутривидовая изменчивость рассматриваемых признаков сосны горной и сосны обыкновенной, обусловленная спецификой генотипов принадлежащих им особей, указывает на возможность выделения из их состава растений с наиболее ценным по насыщенности и структуре пигментным составом.

3. Вскрытые тенденции в накоплении хлорофилла и каротиноидов в хвое сосны обыкновенной и сосны горной позволяют признать общность их экологических реакций и свидетельствуют о широких возможностях введения сосны горной в состав искусственных насаждений различного целевого назначения и конструкций, что, в свою очередь, будет способствовать расширению регионального ассортимента древесных и кустарниковых пород, предназначенных для этих целей.

Список литературы

- [1] Правдин Л.Ф. Половой диморфизм сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Труды Института леса АН СССР, 1950. Т. 3. С. 190–201.
- [2] Алехин В.В. Растительность СССР в основных зонах. М.: Советская наука, 1951. 512 с.
- [3] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 190 с.
- [4] Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале). М.: Наука, 1972. 283 с.
- [5] Хох А.Н., Звягинцев В.Б. Дифференциация сосняков, произрастающих в долгомошном и багульниковом типах леса по морфолого-анатомическим параметрам годичных слоев // Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века: Материалы 21-й Междунар. науч. конф. В 2 ч. / под ред. С.А. Маскевича,

- М.Г. Герменчук. Минск: Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь, 2021. С. 355–358.
- [6] Miller P. The gardeners dictionary: containing the methods of cultivating and improving all sorts of trees, plants, and flowers, for the kitchen, fruit, and pleasure gardens, as also those which are used in medicine: with directions for the culture of vineyards, and making of wine in England. London: Print. by J. and J. Rivington, 1754, 532 p. DOI: 10.5962/bhl.title.541
- [7] Masters M.T. A general view of the Genus Pinus // Botanical J. of the Linnean Society, 1904, v. 35, iss. 248, pp. 560–659. DOI: 10.1111/j.1095-8339.1904.tb00702.x
- [8] Duffeld J.W. Relationships and species hybridization in the genus Pinus // Forstgenetik, 1951, v. 1, iss. 4, pp. 93–97.
- [9] Van der Burgh, J. Holzer der niederrheinischen Braunkohlenformation, 2. Holzer der Braunkoh-lengruben «Maria Theresia» zu Herzogenrath, «Zukunft West» zu Eschweiler und «Victor» (Zulpich Mitte) zu Zulpich. Nebst einer systematiach-anatomischen Bearbeitung der Gattung Pinus L. // Review of Palaeobotany and Palynology, 1973, v. 15, iss. 2–3, pp. 73–275. DOI: 10.1016/0034-6667(73)90001-8
- [10] Miller C.N., Malinky J.M. Seed cones of Pinus from the Late Cretaceous of New Jersey, U.S.A. // Review of Palaeobotany and Palynology, 1986, v. 46, iss. 3–4, pp. 257–272. DOI: 10.1016/0034-6667(86)90018-7
- [11] Crichfield W.B., Little E.L. Geographic distribution of the pines of the world // Bulletin: United States Department of Agriculture. United States Forest Service. Series: Miscellaneous Publication, no. 991. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, 1966, 97 p. DOI: 10.5962/bhl.title.66393
- [12] Crichfield W.B., Little E.L. Subdivisions of the genus Pinus (Pines) // Bulletin: United States Department of Agriculture. United States Forest Service. Series: Miscellaneous Publication, no. 1144. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, 1969, 51 p.
- [13] Mirov N.T. The genus Pinus. New York: The Ronald Press Company, 1967, 602 p. DOI:10.2307/2258116
- [14] Critchfield W.B. Interspecific hybridization in Pinus: A summary review // Proceedings of Symposium on Interspecific and Interprovenance Hybridization in Forest Trees: 14th Meeting of Canadian tree improvement association. Part 2. / Ed.: D.P. Fowler and C.Y. Yeatman. Ottawa: Miscellaneous Publication, 1975, pp. 99–105.
- [15] Орлова Л.В. О диагностических признаках вегетативных органов в роде Pinus (Pinaceae) // Ботанический журнал, 2001. Т. 86. № 9. С. 33–44.
- [16] Salminen H., Jalkanen R., Lindholm M. Summer temperature affects the ratio of radial and height growth of Scots pine in northern Finland // Annals of Forest Science, 2009, v. 66, iss. 8, article number 810, total pages 9, pp. 1–9. DOI: 10.1051/forest/2009074
- [17] Taulavuori E., Taulavuori K., Niinimaa A., Laine K. Effect of Ecotype and Latitude on Growth, Frost Hardiness, and Oxidative Stress of South to North Transplanted Scots Pine Seedlings // International J. of Forestry Research, 2010, v. 1, article ID 162084, total pages 16, pp. 1–16. DOI: 10.1155/2010/162084
- [18] Krakau U.-K., Liesebach M., Aronen T., Lelu-Walter M.A., Schneck V. Scots pine (Pinus sylvestris L.) // Forest Tree Breeding in Europe: Current State-of-the-Art and Perspectives. Managing Forest Ecosystems, v. 25, ch. 4. Dordrecht, Heidelberg, New-York, London: Springer Science+Business Media, 2013, pp. 267–323. DOI: 10.1007/978-94-007-6146-9_6
- [19] Лебедев В.М., Лебедев Е.В. Взаимосвязь биологической продуктивности и поглотительной деятельности корней хвойных пород в онтогенезе в зоне южной тайги России // Агрохимия, 2012. № 8. С. 9–17.
- [20] Feklistov P., Sobolev A., Bolotov I., Barzut O. The results of the introduction of twisted pine (pinus contorta) in Bolshoy Solovetsky Island // Folia Forestalia Polonica, Series A, 2022, t. 64, no. 1, pp. 1–6.
- [21] Горелов А.Н., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Сравнительная оценка таксационных показателей плюсовых деревьев сосны обыкновенной на лесосеменной плантации // Хвойные бореальной зоны, 2022. Т. 40. № 1. С. 27–37.
- [22] Andersone U., Vinsh G. Changes of Morphogenic Competence in Mature Pinus sylvestris L. Buds in vitro // Annals of Botany, 2002, v. 90, iss. 2, pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcfl176
- [23] Venäläinen M., Harju A.M., Kainulainen P., Viitanen H., Nikulainen H. Variation in the decay resistance and its relationship with other wood characteristics in old Scots pines // Annals of Forest Science, 2003, v. 60, no. 5, pp. 409–417. DOI: 10.1051/forest:2003033
- [24] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y. Seasonal Variation in Respiration of 1 year old Shoots of Scots Pine Exposed to Elevated Carbon Dioxide and Temperature for 4 Years // Annals of Botany, 2003, v. 92, iss. 1, pp. 89–96. DOI: 10.1093/AOB/MCG118
- [25] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y., Ryppö A., Niinistö S. Seasonal and Annual Stem Respiration of Scots Pine Trees under Boreal Conditions // Annals of Botany, 2004, v. 94, iss. 6, pp. 889–896. DOI: 10.1093/aob/mch218
- [26] Bohne G., Woehlecke H., Ehwald R. Water Relations of the Pine Exine // Annals of Botany, 2005, v. 96, iss. 2, pp. 201–208. DOI: 10.1093/aob/mci169
- [27] Wennström U., Bergsten U., Nilsson J.-E. Seedling establishment and growth after direct seeding with Pinus sylvestris: effects of seed type, seed origin, and seeding year // Silva Fennica, 2007, v. 41, iss. 2, pp. 299–314. DOI: 10.14214/sf.298
- [28] Раевский Б.В. Особенности вегетативного роста клонов сосны обыкновенной в Карелии // ИЗВУЗ Лесной журнал, 2013. № 4. С. 7–15.
- [29] Старова Н.В., Янбаев Ю.А., Юмадилов Н.Х., Адлер Э.Н., Духарев В.А., Шигапов З.Х. Генетическая изменчивость сосны обыкновенной в возрастных группах // Генетика, 1990. Т. 26. № 3. С. 498–505.
- [30] Тарханов С.Н. Хвойные насаждения в условиях атмосферного загрязнения // Лесное хозяйство, 2004. № 3. С. 18.
- [31] Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Comparative assessment of the taxation indicators of plus trees of Scots pine on a forest seed plantation // Conifers of the boreal area, 2023, v. 40, no. 7 (special), pp. 577–584.
- [32] Вилков М.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Орнатский А.Н. Выращивание саженцев сосны горной (Pinus mugo) в Нижегородской области // Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 1 декабря 2020 г. / под ред. С.М. Хамитовой. Вологда: Изд-во Вологодского государственного университета, 2020. С. 13–15.
- [33] Храмова О.Ю., Вилков М.В. Рост и развитие саженцев сосны горной (Pinus mugo) при интродукции в Нижегородскую область // Молодежный Агрофорум–2021: Материалы Междунар. науч.-практ. интернет-конф. молодых ученых, г. Нижний Новгород, 11–12 февраля 2021 г. / под ред. Н.Ю. Бармина. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской ГСХА, 2021. С. 230–236.
- [34] Boratyńska K., Jasińska A.K., Boratyński A. Taxonomic and geographic differentiation of Pinus mugo complex on the needle characteristics // Systematics and Biodiversity, 2015, v. 13, iss. 6, pp. 1–15. DOI:10.1080/14772000.2015.1058300

- [35] Boratynska, K., Muchewicz, E., Drojma, M. *Pinus mugo* Turra geographic differentiation based on needle characters // *Dendrobiology*, 2004, v. 51, pp. 9–17.
- [36] Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Изменчивость морфометрических признаков хвои на клоновой плантации плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 2017. Т. 21. № 2. С. 198–206. DOI: 10.18699/VJ17.237
- [37] Голиков Д.Ю., Монтиле А.А., Шавнин С.А. Сезонные динамики электрического импеданса и емкости прикамбиального комплекса тканей ствола деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в древостое естественного происхождения // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2022. № 4 (56). С. 19–31.
- [38] Ryyppö A.M., Sutinen S., Mäenpää M., Vapaavuori E., Repo T. Frost damage and recovery of Scots pine seedlings at the end of the growing season // *Canadian J. of Forest Research*, 2011, v. 27, iss. 9, pp. 1376–1382. DOI: 10.1139/x97-108
- [39] Celiński K., Chudzińska Ewa., Gmur A., Piosik L., Wojnicka-Półtorak A. Cytological characterization of three closely related pines – *Pinus mugo*, *P. uliginosa* and *P. × rhaetica* from the *Pinus mugo* complex (Pinaceae) // *Biologia*, 2019, v. 74, iss. 7, pp. 751–756. DOI: 10.2478/s11756-019-00201-6
- [40] Schonbeck L., Gessler A., Hoch G., McDowell N.G., Riegling A., Schaub M., Li M.-H. Homeostatic levels of non-structural carbohydrates after 13 yr of drought and irrigation in *Pinus sylvestris* // *New Phytologist*, 2018, v. 219, pp. 1314–1324. DOI: 10.1111/nph.1522
- [41] Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. Влияние атмосферного загрязнения на фотосинтезирующий аппарат *Pinus sylvestris* L. и *Picea obovata* Ledeb. × *p. abies* (L.) karst. в северной тайге бассейна Северной Двины // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2014. № 1 (337). С. 20–26.
- [42] Wachowiak W., Baczekiewicz A., Celiński K., Prus-Głowacki W. Species-specific chloroplast DNA polymorphism in the trnV-rbcL region in *Pinus sylvestris* and *P. mugo* // *Dendrobiology*, 2004, v. 51, pp. 67–72.
- [43] Peguero-Pina J.J., Morales F., Gil-Pelegrín E. Frost damage in *Pinus sylvestris* L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma // *Annals of Forest Science*, 2008, v. 65, no. 8, article numb. 813, number of page(s) 6, pp. 1–6. DOI: 10.1051/forest:2008068
- [44] Minghetti P., Nardi E. Lectotypification of *Pinus mugo* Turra (Pinaceae) // *Taxon*, 1999, v. 48, no. 3, pp. 465–469. DOI: 10.2307/1224557
- [45] Popovic M. Growth of the Mountain Pine (*Pinus mugo*, Turr.) in Yugoslavia // *J. of Biogeography*, 1976, v. 3, no. 3, pp. 261–267. DOI: 10.2307/3038016
- [46] Nardi E., Minghetti P. Proposal to Conserve the Name *Pinus mugo* (Pinaceae) with a Conserved Type // *Taxon*, 1999, v. 48, no. 3, pp. 571–572. DOI: 10.2307/1224568
- [47] Charra-Vaskou K., Mayr S. The hydraulic conductivity of the xylem in conifer needles (*Picea abies* and *Pinus mugo*) // *J. of Experimental Botany*, 2011, v. 62, no. 12, pp. 4383–4390. DOI: 10.1093/jxb/err157
- [48] Dai L., Palombo C., Van Gils H., Rossiter D.G., Tognetti R., Luo G. *Pinus mugo* Krummholz Dynamics During Concomitant Change in Pastoralism and Climate in the Central Apennines // *Mountain Research and Development*, 2017, v. 37, no. 1, pp. 75–86. DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-14-00104.1
- [49] Полуяхтов К.К. Лесорастительное районирование Горьковской области // *Биологические основы повышения продуктивности и охраны лесных, луговых и водных фитоценозов Горьковского Поволжья*. Горький: Изд-во Горьковского государственного университета, 1974. С. 4–20.
- [50] Шлык А.А. О спектрофотометрическом определении хлорофиллов *a* и *b* // *Биохимия*, 1968. Т. 33. Вып. 2. С. 275–285.
- [51] Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents // *Biochemical Society Transactions*, 1983, v. 11, no 6, pp. 591–592. DOI: 10.1042/bst0110591
- [52] Porra R.G., Thomson W.A., Kriedemann P.E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls *a* and *b* extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy // *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, v. 975, iss. 3, pp. 384–394. DOI: 10.1016/S0005-2728(89)80347-0
- [53] Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls *a* and *b*, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution // *J. of plant physiology*, 1994, v. 144, iss. 3, pp. 307–313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2
- [54] Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*) // *Tree Physiology*, 1997, v. 17, no.12, pp. 767–775. DOI: 10.1093/treephys/17.12.767
- [55] Casella E., Sinoquet H. Botanical determinants of foliage clumping and light interception in two-year-old coppice poplar canopies: assessment from 3-D plant mock-ups // *Annals of Forest Science*, 2007, v. 64, no. 4. pp. 395–404. DOI: 10.1051/forest:2007016
- [56] Бабаев Р.Н. Основные статистики площади листовых пластин разных видов и форм березы в условиях интродукции // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*, 2021. № 4(32). С. 5–13.
- [57] Кулькова А.В. Зависимость процессов регенерации от физиологического состояния побегов на примере *Picea pungens* Engelm., f. *Glauca* в условиях интродукции в Нижегородскую область // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*, 2022. № 3(35). С. 33–42.
- [58] Lian Yong-Shan, Zhen Hong. A research on dividing infraspecific patterns within *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *Sinensis* Rousi in Gansu province // *Proceedings of International Symposium on see buckthorn (Hippophae rhamnoides L.)*. Xian, China, 1989, October 19–23. Xian, 1989, pp. 31–34.
- [59] Noll F., Lyons C.K. A novel method for manually falling trees // *The Forestry Chronicle*, 2010, v. 86, no. 5, pp. 608–613. DOI: 10.5558/tfc86608-5
- [60] Dumais D., Prévost M. Physiology and growth of advance *Picea rubens* and *Abies balsamea* regeneration following different canopy openings // *Tree Physiology*, 2014, v. 34, iss. 2, pp. 194–204. DOI: 10.1093/treephys/tpt114
- [61] Benomar L., Lamhamedi M.S., Villeneuve I., Rainville A., Beaulieu J., Bousquet J., Margolis H.A. Fine-scale geographic variation in photosynthetic-related traits of *Picea glauca* seedlings indicates local adaptation to climate // *Tree Physiology*, 2015, v. 35, iss. 8, pp. 864–878. DOI: 10.1093/treephys/tpv054
- [62] Кулькова А.В. Корреляция показателей корнеобразования и пострегенерационного развития черенков ели европейской (*Picea abies* (L.) h. karst.) // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2018. № 3 (363). С. 28–36.
- [63] Есичев А.О., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабич А.Н., Кентбаев Е.Ж., Кентбаева Б.А. Содержание и баланс запасных веществ в побегах лиственницы сибирской в условиях реинтродукции в Нижегородскую

- область // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022, Т. 26, № 1. С. 17–27.
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27
- [64] Кулькова А.В. Межвидовая изменчивость представителей рода Ель (*Picea* A. Dietr.) по содержанию крахмала в тканях побегов // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2016. № 3 (11). С. 28–34.
- [65] Кулькова А.В. Эффективность стимулирующей обработки черенков ели Коники (*Picea glauca*) биологически активными препаратами // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2020. № 4 (28). С. 10–19.
- [66] Бабаев Р.Н. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов березы в условиях интродукции // Рост и воспроизводство научных кадров в АПК: Рос. нац. науч.-практ. интернет-конф. для обучающихся и молодых ученых / под ред. Н.Н. Бессчетновой. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской ГСХА, 2020. С. 74–78.

Сведения об авторах

Бессчетнова Наталья Николаевна — д-р с.-х. наук, доцент, декан факультета лесного хозяйства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», besschetnova1966@mail.ru

Бессчетнов Владимир Петрович [✉] — д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой лесных культур, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», lesfak@bk.ru

Поступила в редакцию 15.03.2024.

Одобрено после рецензирования 27.03.2024.

Принята к публикации 15.05.2024.

NEEDLES PIGMENT COMPOSITION OF MOUNTAIN PINE AND SCOTS PINE SEEDLINGS IN NIZHNY NOVGOROD REGION

N.N. Besschetnova, V.P. Besschetnov [✉]

Nizhegorodsky State Agrotechnological University, 97, Gagarin av., 603107, Nizhny Novgorod, Russia

lesfak@bk.ru

The study results of the needles pigment composition of 4-year-old seedlings of Mountain pine (*Pinus mugo* Turra.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) are presented. The principle of the only logical difference has been observed, and the basic requirements for setting the experiment have been met. Field-stationary and laboratory methods were implemented to fix the presence of chlorophyll-a, chlorophyll-b and carotenoids in 1-year-old needles. The SF-2000 spectrophotometer with the GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4 software was used. 96 % alcohol extracts were used from a homogenized crushed biomaterial sample, the mass of which was determined with an accuracy of 0,001 g on precise analytical scales Acculab VIC-300d3. The pigment concentrations were calculated by the Wettstein and Holm equations. Weak interspecific differences in the content and ratio of plastid pigments have been established with well-marked individual phenotypic differences between specimens of seed origin. According to the content of chlorophyll-a in mountain pine, the highest average ($7,38 \pm 0,15$ mg/g) was 1,29 times higher than the lowest ($5,72 \pm 0,24$ mg/g); in Scots pine. The highest average ($7,35 \pm 0,54$ mg/g) exceeded the lowest ($5,53 \pm 0,08$ mg/g) by 1,25 times. The influence of interspecific and intraspecific differences in the pigment composition of needles on the formation of the general background of the dispersion of its indicators is assessed, and the effects of their interaction are established. The greatest effect of species specificity was recorded in the tested characteristics of the needles pigment composition by the proportion of carotenoids ($18,35 \pm 1,28$ %) and by the ratio of carotenoids to the total amount of chlorophyll ($18,08 \pm 1,28$ %). The nature of the accumulation of pigments in the needles of Scots pine and Mountain pine indicates the commonality of their ecological reactions and the possibility of introducing the latter into artificial plantations in the Nizhny Novgorod region.

Keywords: Scots pine, Mountain pine, plastid pigments, chlorophyll-a, chlorophyll-b, carotenoids, interspecific differences

Suggested citation: Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Pigmentnyy sostav khvoi sazhenitsev sosny gornoy i sosny obyknovnoy v Nizhegorodskoy oblasti* [Needles pigment composition of Mountain pine and Scots pine seedlings in Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 5–18.
DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-5-18

References

- [1] Pravdin L.F. *Polovoy dimorfizm sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.)* [Sexual dimorphism of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]. *Trudy Instituta lesa AN SSSR* [Proceedings of the Forest Institute of the USSR Academy of Sciences], 1950, v. 3, pp. 190–201.
- [2] Alekhin V.V. *Rastitel'nost' SSSR v osnovnykh zonakh* [Vegetation of the USSR in the main zones]. Moscow: Soviet Science, 1951, 512 p.

- [3] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scots pine. Variation, intraspecific systematics and selection]. Moscow: Nauka, 1964, 190 p.
- [4] Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae na Urale)* [Forms of intraspecific variability of woody plants (using the example of the *Pinaceae* family in the Urals)]. Moscow: Nauka, 1972, 283 p.
- [5] Khokh A.N., Zvyagintsev V.B. *Differentsiatsiya sosnyakov, proizrastayushchikh v dolgomoshnom i bagul'nikovom tipakh lesa po morfoloogo-anatomicheskim parametram godichnykh sloev* [Differentiation of pine forests growing in long-moss and wild rosemary forest types according to the morphological and anatomical parameters of annual layers]. Sakharovskie chteniya 2021 goda: ekologicheskie problemy XXI veka: mater. 21-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Sakharov readings 2021: environmental problems of the 21st century: material. 21st international scientific conference, in 2 parts]. Ed. S.A. Maskevich, M.G. Germenchuk. Minsk: Information and Computing Center of the Ministry of Finance of the Republic of Belarus, 2021, pp. 355–358.
- [6] Miller P. *The gardeners dictionary: containing the methods of cultivating and improving all sorts of trees, plants, and flowers, for the kitchen, fruit, and pleasure gardens, as also those which are used in medicine: with directions for the culture of vineyards, and making of wine in England.* London: Print. by J. and J. Rivington, 1754, 532 p. DOI: 10.5962/bhl.title.541
- [7] Masters M.T. A general view of the Genus Pinus. *Botanical J. of the Linnean Society*, 1904, v. 35, iss. 248, pp. 560–659. DOI: 10.1111/j.1095-8339.1904.tb00702.x
- [8] Duffeld J.W. Relationships and species hybridization in the genus Pinus. *Forstgenetik*, 1951, v. 1, iss. 4, pp. 93–97.
- [9] Van der Burgh, J. *Holzer der niederrheinischen Braunkohlenformation, 2. Holzer der Braunkohlenlengruben «Maria Theresia» zu Herzogenrath, «Zukunft West» zu Eschweiler und «Victor» (Zulpich Mitte) zu Zulpich. Nebst einer systematiach-anatomischen Bearbeitung der Gattung Pinus L.. Review of Palaeobotany and Palynology*, 1973, v. 15, iss. 2–3, pp. 73–275. DOI: 10.1016/0034-6667(73)90001-8
- [10] Miller C.N., Malinky J.M. Seed cones of Pinus from the Late Cretaceous of New Jersey, U.S.A.. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1986, v. 46, iss. 3–4, pp. 257–272. DOI: 10.1016/0034-6667(86)90018-7
- [11] Crichfield W.B., Little E.L. Geographic distribution of the pines of the world. *Bulletin: United States Department of Agriculture. United States Forest Service. Series: Miscellaneous Publication, no. 991.* Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, 1966, 97 p. DOI: 10.5962/bhl.title.66393
- [12] Crichfield W.B., Little E.L. Subdivisions of the genus Pinus (Pines). *Bulletin: United States Department of Agriculture. United States Forest Service. Series: Miscellaneous Publication, no. 1144.* Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, 1969, 51 p.
- [13] Mirov N.T. *The genus Pinus.* New York: The Ronald Press Company, 1967, 602 p. DOI:10.2307/2258116
- [14] Critchfield W.B. Interspecific hybridization in Pinus: A summary review. *Proceedings of Symposium on Interspecific and Interprovenance Hybridization in Forest Trees: 14th Meeting of Canadian tree improvement association. Part 2.* / Ed.: D.P. Fowler and C.Y. Yeatman. Ottawa: Miscellaneous Publication, 1975, pp. 99–105.
- [15] Orlova L.V. *O diagnosticheskikh priznakakh vegetativnykh organov v rode Pinus (Pinaceae)* [On the diagnostic characteristics of vegetative organs in the genus *Pinus (Pinaceae)*]. *Botanicheskiy zhurnal [Botanical Journal]*, 2001, t. 86, no. 9, pp. 33–44.
- [16] Salminen H., Jalkanen R., Lindholm M. Summer temperature affects the ratio of radial and height growth of Scots pine in northern Finland. *Annals of Forest Science*, 2009, v. 66, iss. 8, article number 810, total pages 9, pp. 1–9. DOI: 10.1051/forest/2009074
- [17] Taulavuori E., Taulavuori K., Niinimaa A., Laine K. Effect of Ecotype and Latitude on Growth, Frost Hardiness, and Oxidative Stress of South to North Transplanted Scots Pine Seedlings. *International J. of Forestry Research*, 2010, v. 1, article ID 162084, total pages 16, pp. 1–16. DOI: 10.1155/2010/162084
- [18] Krakau U.-K., Liesebach M., Aronen T., Lelu-Walter M.A., Schneck V. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Forest Tree Breeding in Europe: Current State-of-the-Art and Perspectives. Managing Forest Ecosystems*, v. 25, ch. 4. Dordrecht, Heidelberg, New-York, London: Springer Science+Business Media, 2013, pp. 267–323. DOI: 10.1007/978-94-007-6146-9_6
- [19] Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Sravnitel'naya otsenka taksatsionnykh pokazateley plusovykh derev'ev sosny obyknovennoy na lesosemnoy plantatsii* [The relationship between biological productivity and absorption activity of coniferous roots in ontogenesis in the southern taiga zone of Russia]. *Agrokhimiya [Agrochemistry]*, 2012, no. 8, pp. 9–17.
- [20] Feklistov P., Sobolev A., Bolotov I., Barzut O. The results of the introduction of twisted pine (*pinus contorta*) in Bolshoy Solovetsky Island. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 2022, t. 64, no. 1, pp. 1–6.
- [21] Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Sravnitel'naya otsenka taksatsionnykh pokazateley plusovykh derev'ev sosny obyknovennoy na lesosemnoy plantatsii* [Comparative assessment of taxation indicators of plus-sized Scots pine trees on a forest seed plantation]. *Khvoynye boreal'noy zony [Conifers of the boreal zone]*, 2022, t. 40, no. 1, pp. 27–37.
- [22] Andersone U., Vinsh G. Changes of Morphogenic Competence in Mature *Pinus sylvestris* L. Buds in vitro. *Annals of Botany*, 2002, v. 90, iss. 2, pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcf176
- [23] Venäläinen M., Harju A.M., Kainulainen P., Viitanen H., Nikulainen H. Variation in the decay resistance and its relationship with other wood characteristics in old Scots pines. *Annals of Forest Science*, 2003, v. 60, no. 5, pp. 409–417. DOI: 10.1051/forest:2003033
- [24] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y. Seasonal Variation in Respiration of 1 year old Shoots of Scots Pine Exposed to Elevated Carbon Dioxide and Temperature for 4 Years. *Annals of Botany*, 2003, v. 92, iss. 1, pp. 89–96. DOI: 10.1093/AOB/MCG118
- [25] Zha T., Kellomäki S., Wang K.-Y., Rypö A., Niinistö S. Seasonal and Annual Stem Respiration of Scots Pine Trees under Boreal Conditions. *Annals of Botany*, 2004, v. 94, iss. 6, pp. 889–896. DOI: 10.1093/aob/mch218
- [26] Bohne G., Woehlecke H., Ehwald R. Water Relations of the Pine Exine. *Annals of Botany*, 2005, v. 96, iss. 2, pp. 201–208. DOI: 10.1093/aob/mci169
- [27] Wennström U., Bergsten U., Nilsson J.-E. Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: effects of seed type, seed origin, and seeding year. *Silva Fennica*, 2007, v. 41, iss. 2, pp. 299–314. DOI: 10.14214/sf.298
- [28] Raevskiy B.V. *Osobennosti vegetativnogo rosta klonov sosny obyknovennoy v Karelii* [Features of vegetative growth of Scots pine clones in Karelia]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2013, no. 4, pp. 7–15.
- [29] Starova N.V., Yanbaev Yu.A., Yumadilov N.Kh., Adler E.N., Dukharev V.A., Shigapov Z.Kh. *Geneticheskaya izmenchivost' sosny obyknovennoy v vozrastnykh gruppakh* [Genetic variability of Scots pine in age groups]. *Genetika [Genetics]*, 1990, t. 26, no. 3, pp. 498–505.

- [30] Tarkhanov S.N. *Khvoynye nasazhdeniya v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya* [Coniferous plantations in conditions of atmospheric pollution]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2004, no. 3, p. 18.
- [31] Gorelov A.N., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Comparative assessment of the taxation indicators of plus trees of Scots pine on a forest seed plantation. *Conifers of the boreal area*, 2023, v. 40, no. 7 (special), pp. 577–584.
- [32] Vilkov M.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Ornatskiy A.N. *Vyrashchivanie sazhentsev sosny gornoy (Pinus mugo) v Nizhegorodskoy oblasti* [Growing mountain pine (*Pinus mugo*) seedlings in the Nizhny Novgorod region]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa. Materialy XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Current problems of development of the forestry complex. Materials of the XVIII International Scientific and Technical Conference], Vologda, December 1, 2020. Ed. C.M. Khamitova. Vologda: Vologda State University, 2020, pp. 13–15.
- [33] Khranova O.Yu., Vilkov M.V. *Rost i razvitie sazhentsev sosny gornoy (Pinus mugo) pri introduktsii v Nizhegorodskuyu oblast'* [Growth and development of mountain pine (*Pinus mugo*) seedlings during introduction into the Nizhny Novgorod region]. *Molodezhnyy Agroforum–2021: mater. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii molodykh uchenykh* [Youth Agroforum–2021: material. International scientific and practical Internet conference of young scientists], Nizhny Novgorod, February 11–12, 2021. Ed. N.Yu. Barmina. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2021, pp. 230–236.
- [34] Boratyńska K., Jasińska A.K., Boratyński A. Taxonomic and geographic differentiation of *Pinus mugo* complex on the needle characteristics. *Systematics and Biodiversity*, 2015, v. 13, iss. 6, pp. 1–15. DOI:10.1080/14772000.2015.1058300
- [35] Boratyńska, K., Muchewicz, E., Drojma, M. *Pinus mugo* Turra geographic differentiation based on needle characters. *Dendrobiology*, 2004, v. 51, pp. 9–17.
- [36] Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. *Izmenchivost' morfometricheskikh priznakov khvoi na klonovoy plantatsii plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.)* [Variability of morphometric characteristics of needles on a clonal plantation of plus trees of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov J. of Genetics and Breeding], 2017, t. 21, no. 2, pp. 198–206. DOI: 10.18699/VJ17.237
- [37] Golikov D.Yu., Montile A.A., Shavnin S.A. *Sezonnye dinamiki elektricheskogo impedansa i elektroemkosti prikambial'nogo kompleksa tkaney stvola derev'ev sosny obyknovnoy, proizrastayushchikh v drevostoe estestvennogo proiskhozhdeniya* [Seasonal dynamics of electrical impedance and electrical capacity of the precambial complex trunk tissues of Scots pine trees growing in a forest stand of natural origin]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2022, no. 4 (56), pp. 19–31.
- [38] Ryyppö A.M., Sutinen S., Mäenpää M., Vapaavuori E., Repo T. Frost damage and recovery of Scots pine seedlings at the end of the growing season. *Canadian J. of Forest Research*, 2011, v. 27, iss. 9, pp. 1376–1382. DOI: 10.1139/x97-108
- [39] Celiński K., Chudzińska Ewa., Gmur A., Piosik L., Wojnicka-Półtorak A. Cytological characterization of three closely related pines – *Pinus mugo*, *P. uliginosa* and *P. × rhaetica* from the *Pinus mugo* complex (Pinaceae). *Biologia*, 2019, v. 74, iss. 7, pp. 751–756. DOI:10.2478/s11756-019-00201-6
- [40] Schonbeck L., Gessler A., Hoch G., McDowell N.G., Rigling A., Schaub M., Li M.-H. Homeostatic levels of nonstructural carbohydrates after 13 yr of drought and irrigation in *Pinus sylvestris*. *New Phytologist*, 2018, v. 219, pp. 1314–1324. DOI: 10.1111/nph.1522
- [41] Tarkhanov S.N., Biryukov S.Yu. *Vliyanie atmosfernogo zagryazneniya na fotosinteziruyushchiy apparat Pinus sylvestris L. i Picea obovata Ledeb. × p. abies (L.) karst. v severnoy tayge basseyna Severnoy Dviny* [Effect of atmospheric pollution on the photosynthetic apparatus of *Pinus sylvestris* L. and *Picea obovata* Ledeb. × *p. abies* (L.) karst. in the northern taiga of the Northern Dvina basin]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2014, no. 1 (337), pp. 20–26.
- [42] Wachowiak W., Baczkiewicz A., Celiński K., Prus-Głowacki W. Species-specific chloroplast DNA polymorphism in the trnV-rbcL region in *Pinus sylvestris* and *P. mugo*. *Dendrobiology*, 2004, v. 51, pp. 67–72.
- [43] Peguero-Pina J.J., Morales F., Gil-Pelegrín E. Frost damage in *Pinus sylvestris* L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma. *Annals of Forest Science*, 2008, v. 65, no. 8, article numb. 813, number of page(s) 6, pp. 1–6. DOI: 10.1051/forest:2008068
- [44] Minghetti P., Nardi E. Lectotypification of *Pinus mugo* Turra (Pinaceae). *Taxon*, 1999, v. 48, no. 3, pp. 465–469. DOI: 10.2307/1224557
- [45] Popovic M. Growth of the Mountain Pine (*Pinus mugo*, Turr.) in Yugoslavia. *J. of Biogeography*, 1976, v. 3, no. 3, pp. 261–267. DOI: 10.2307/3038016
- [46] Nardi E., Minghetti P. Proposal to Conserve the Name *Pinus mugo* (Pinaceae) with a Conserved Type. *Taxon*, 1999, v. 48, no. 3, pp. 571–572. DOI: 10.2307/1224568
- [47] Charra-Vaskou K., Mayr S. The hydraulic conductivity of the xylem in conifer needles (*Picea abies* and *Pinus mugo*). *J. of Experimental Botany*, 2011, v. 62, no. 12, pp. 4383–4390. DOI:10.1093/jxb/err157
- [48] Dai L., Palombo C., Van Gils H., Rossiter D.G., Tognetti R., Luo G. *Pinus mugo* Krummholz Dynamics During Concomitant Change in Pastoralism and Climate in the Central Apennines. *Mountain Research and Development*, 2017, v. 37, no. 1, pp. 75–86. DOI:10.1659/MRD-JOURNAL-D-14-00104.1
- [49] Poluyakhtov K.K. *Lesorastitel'noe rayonirovanie Gor'kovskoy oblasti* [Forest vegetation zoning of the Gorky region]. *Biologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti i okhrany lesnykh, lugovykh i vodnykh fitotsenozov Gor'kovskogo Povolzh'ya* [Biological foundations for increasing the productivity and protection of forest, meadow and aquatic phytocenoses of the Gorky Volga region]. Gorky: Gorky State University, 1974, pp. 4–20.
- [50] Shlyk A.A. *O spektrofotometricheskom opredelenii khlorofillov a i b* [On the spectrophotometric determination of chlorophylls a and b]. *Biokhimiya* [Biochemistry], 1968, t. 33, iss. 2, pp. 275–285.
- [51] Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 1983, v. 11, no 6, pp. 591–592. DOI: 10.1042/bst0110591
- [52] Porra R.G., Thomson W.A., Kriedemann P.E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, v. 975, iss. 3, pp. 384–394. DOI: 10.1016/S0005-2728(89)80347-0

- [53] Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *J. of plant physiology*, 1994, v. 144, iss. 3, pp. 307–313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2
- [54] Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*). *Tree Physiology*, 1997, v. 17, no.12, pp. 767–775. DOI: 10.1093/treephys/17.12.767
- [55] Casella E., Sinoquet H. Botanical determinants of foliage clumping and light interception in two-year-old coppice poplar canopies: assessment from 3-D plant mock-ups. *Annals of Forest Science*, 2007, v. 64, no. 4. pp. 395–404. DOI: 10.1051/forest:2007016
- [56] Babaev R.N. *Osnovnye statistiki ploshchadi listovykh plastin raznykh vidov i form berezy v usloviyakh introduktsii* [Basic statistics of the area of leaf blades of different types and forms of birch under conditions of introduction]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2021, no. 4(32), pp. 5–13.
- [57] Kul'kova A.V. *Zavisimost' protsessov regeneratsii ot fiziologicheskogo sostoyaniya pobegov na primere Picea pungens Engelm., f. Glauca v usloviyakh introduktsii v Nizhegorodskuyu oblast'* [Dependence of regeneration processes on the physiological state of shoots using the example of *Picea pungens* Engelm., f. *Glauca* under conditions of introduction to the Nizhny Novgorod region]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2022, no. 3(35), pp. 33–42.
- [58] Lian Yong-Shan, Zhen Hong. A research on dividing infraspecific patterns within *Hippophae rhamnoides* L. ssp. *Sinensis* Rouxi in Gansu province. *Proceedings of International Symposium on see buckthorn (Hippophae rhamnoides L.)*. Xian, China, 1989, October 19–23. Xian, 1989, pp. 31–34.
- [59] Noll F., Lyons C.K. A novel method for manually falling trees. *The Forestry Chronicle*, 2010, v. 86, no. 5, pp. 608–613. DOI: 10.5558/tfc86608-5
- [60] Dumais D., Prévost M. Physiology and growth of advance *Picea rubens* and *Abies balsamea* regeneration following different canopy openings. *Tree Physiology*, 2014, v. 34, iss. 2, pp. 194–204. DOI: 10.1093/treephys/tpt114
- [61] Benomar L., Lamhamedi M.S., Villeneuve I., Rainville A., Beaulieu J., Bousquet J., Margolis H.A. Fine-scale geographic variation in photosynthetic-related traits of *Picea glauca* seedlings indicates local adaptation to climate. *Tree Physiology*, 2015, v. 35, iss. 8, pp. 864–878. DOI: 10.1093/treephys/tpv054
- [62] Kul'kova A.V. *Korrelatsiya pokazateley korneobrazovaniya i postregeneratsionnogo razvitiya cherenkov eli evropeyskoy (Picea abies (L.) h. karst.)* [Correlation of root formation indicators and post-regeneration development of cuttings of Norway spruce (*Picea abies* (L.) h. karst.)]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2018, no. 3 (363), pp. 28–36.
- [63] Yesichev A.O., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Kentbayev E.Zh., Kentbayeva B.A. *Soderzhanie i balans zapasnykh veshchestv v pobegakh listvennitsy sibirskoy v usloviyakh reintroduktsii v Nizhegorodskuyu oblast'* [Content and balance of storage compounds in Siberian larch shoots under its reintroduction in Nizhny Novgorod region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 1, pp. 17–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-17-27
- [64] Kul'kova A.V. *Mezhvidovaya izmenchivost' predstaviteley roda El' (Picea A. Dietr.) po sodержaniyu krakhmala v tkanyakh pobegov* [Interspecific variability of representatives of the spruce genus (*Picea* A. Dietr.) in terms of starch content in shoot tissues]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2016, no. 3 (11), pp. 28–34.
- [65] Kul'kova A.V. *Effektivnost' stimuliruyushchey obrabotki cherenkov eli Konika (Picea glauca) biologicheskimi preparatami* [The effectiveness of stimulating treatment of cuttings of Konika spruce (*Picea glauca*) with biologically active preparations]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2020, no. 4 (28), pp. 10–19.
- [66] Babaev R.N. *Soderzhanie krakhmala v tkanyakh pobegov raznykh vidov berezy v usloviyakh introduktsii* [Starch content in the tissues of shoots of different types of birch under conditions of introduction]. *Rost i vosproizvodstvo nauchnykh kadrov v APK: Rossiyskaya natsional'naya nauchno-prakticheskaya internet-konferentsiya dlya obuchayushchikhsya i molodykh uchenykh* [Growth and reproduction of scientific personnel in the agro-industrial complex: Russian national scientific and practical Internet conference for students and young scientists]. Ed. N.N. Countlessnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2020, pp. 74–78.

Authors' information

Besschetnova Natal'ya Nikolaevna — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Dean of the Faculty of Forestry of the Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, besschetnova1966@mail.ru

Besschetnov Vladimir Petrovich — Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Forest crops of the Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, lesfak@mail.ru

Received 15.03.2024

Approved after review 27.03.2024.

Accepted for publication 15.05.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
 Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
 The authors declare that there is no conflict of interest