



DOI 10.21178/2079–6080.2022.3.38

УДК: 635.92+582.477.2

Сезонный характер содержания пигментов в хвое туи западной в условиях Нижегородской области

© Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов, М.Ю. Котынова

Seasonal character of the pigment content in the needles of Northern white-cedar in the conditions of the Nizhny Novgorod region

N.N. Besschetnova, V.P. Besschetnov, M.Y. Kotynova (Nizhny Novgorod State Agricultural Academy)

The seasonal character of the pigment content in the needles of decorative forms and varieties of Northern white-cedar (*Thuja occidentalis* L.) in the conditions of the Nizhny Novgorod region was studied. The relevance of the work is due to the urgent need to optimize the assortment of types of trees and shrubs used in the creation of urban plantings capable of performing sanitary-hygienic, decorative-aesthetic and recreational-balneological functions. The objects of the study were 9 ornamental varieties of Western thuja and its typical form of seed origin, related to exotics in the Russian Federation and the Nizhny Novgorod Volga region. They had the following nomenclature: *Thuja occidentalis* f. *Rheingold*; *Thuja occidentalis* f. *Mr. Bowing Boll*; *Thuja occidentalis* f. *Woodwardii*; *Thuja occidentalis* f. *Tiny Tim*; *Thuja occidentalis* f. *Golden Smaragd*; *Thuja occidentalis* f. *Mirjam*; *Thuja occidentalis* f. *Golden Globe*; *Thuja occidentalis* f. *Danica*; *Thuja occidentalis* f. *Sunkist*. The mother plants were of the same age and were located within the boundaries of a single experimental site – the arboretum of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. Its territory, according to the system of forest-growing zoning, is included in the zone of coniferous-broadleaf forests and is assigned to the area of coniferous-broadleaf (mixed) forests of the European part of the Russian Federation. The content and balance of plastid pigments were detected by spectrophotometric method: SF-2000 spectrophotometer with GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4 software. Contrast differences in the pigment composition of the needles of the studied varieties of Northern white-cedar are dynamic in the initial and final phase of the growing season. In autumn, they contained significantly more chlorophyll-a in the tissue cells of annual needles (2.28 ± 0.042 mg/g) than in spring (1.29 ± 0.056 mg/g).

The average generalized for the growing season was 1.78 ± 0.046 mg/g. The presence of chlorophyll-b during the observation period is unstable: autumn estimates (0.62 ± 0.039 mg/g) are higher than those obtained at the beginning of the growing season (0.62 ± 0.031 mg/g), with a generalized average of 0.62 ± 0.025 mg/g. The sensitivity of different indicators of pigment composition to changes in weather conditions during the growing season varies. While maintaining general trends in the seasonal dynamics of the parameters of the pigment composition of needles, representatives of different forms and varieties of Northern white-cedar have a sufficiently pronounced specificity in this regard and demonstrate the significance of inter-variety differences throughout the year.

Key words: Northern white-cedar, varieties, decorative forms, plastid pigments, chlorophyll, carotenoids

Сезонный характер содержания пигментов в хвое туи западной в условиях Нижегородской области

Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов, М.Ю. Котынова

Исследовали сезонный характер содержания пигментов в хвое декоративных форм и сортов туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в условиях Нижегородской области. Актуальность работы обусловлена острой потребностью в оптимизации ассортимента видов деревьев и кустарников, используемых в создании городских насаждений, способных выполнять санитарно-гигиенические, декоративно-эстетические и рекреационно-бальнеологические функции. Объектами исследования выступали 9 декоративных сортов туи западной и её типичная форма семенного происхождения, относящиеся к экзотам в Российской Федерации и Нижегородском Поволжье. Они имели следующую номенклатуру: *Thuja occidentalis* f. *Rheingold*; *Thuja occidentalis* f. *Mr. Bowing Boll*; *Thuja occidentalis* f. *Woodwardii*; *Thuja occidentalis* *Tiny Tim*; *Thuja occidentalis* f. *Golden Smaragd*; *Thuja occidentalis* f. *Mirjam*; *Thuja occidentalis* f. *Golden Globe*; *Thuja occidentalis* f. *Danica*; *Thuja occidentalis* f. *Sunkist*. Одновозрастные растения дислоцированы в границах единого опытного участка – дендрария Нижегородской ГСХА. Его территория согласно системе лесорастительного районирования включена в зону хвойно-широколиственных лесов и отнесена к району хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации.

Содержание и баланс пластидных пигментов выявляли спектрофотометрическим методом: спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4.

Установлены контрастные различия в наполнении пластидными пигментами хвои исследованных сортов туи западной в начальной и финальной фазе вегетационного периода. Осенью они содержали значительно большее количество хлорофилла-а в клетках тканей однолетней хвои ($2,28 \pm 0,042$ мг/г), чем весной ($1,29 \pm 0,056$ мг/г), в среднем за вегетационный период $1,78 \pm 0,046$ мг/г. Наличие хлорофилла-б в течение срока наблюдений нестабильно: осенние оценки ($0,62 \pm 0,039$ мг/г) выше полученных весной ($0,62 \pm 0,031$ мг/г), при обобщенном среднем $0,62 \pm 0,025$ мг/г. Чувствительность разных показателей пигментного состава к сезонным изменениям погодных условий неодинакова.

Ключевые слова: туя западная, сорта, декоративные формы, пластидные пигменты, хлорофилл, каротиноиды

Бессчетнова Наталья Николаевна – декан факультета лесного хозяйства, д-р с.-х. наук
E-mail: besschetnova1966@mail.ru

Бессчетнов Владимир Петрович – заведующий кафедрой лесных культур, д-р биол. наук
E-mail: lesfak@bk.ru

Котынова Марина Юрьевна – аспирантка кафедры лесных культур
E-mail: kot-marina93@mail.ru

ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия»
603107, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97
Телефон: 8 (831) 214–33–49 (доб. 305)

Введение

Проблемы экологии современных городов, с которыми мир столкнулся уже давно [11], особенно остро проявились в последнее десятилетие [17]. Сейчас они приобрели поистине глобальный характер, и настоятельная потребность в их безотлагательном решении признана не только специалистами-экологами, но и каждым жителем мегаполисов. Не менее остро стоят вопросы углеродного загрязнения атмосферы и риски негативных климатических изменений [10, 16, 19, 35, 47]. Их надежным индикатором признаются древесные растения, чутко реагирующие на ухудшение параметров среды обитания [14, 27, 29, 30, 34, 35, 47, 48, 52]. Такая ситуация характерна для многих стран Старого и Нового Света, включая Российскую Федерацию. Действенной мерой в снижении экологической напряженности в границах урбанизированных территорий являются повсеместно предпринимаемые усилия по развитию в них систем озеленения, ядром которых служат насаждения из деревьев и кустарников. Они способны в полной мере обеспечивать выполнение санитарно-гигиенических, декоративно-эстетических и рекреационно-бальнеологических функций. К числу таких растений, бесспорно, относится туя западная (*Thuja occidentalis* L.), представленная на текущий момент своими многочисленными декоративными формами и сортами [24, 25, 28, 32, 33, 36, 39, 46, 49]. Результативность мероприятий по озеленению во многом обусловлена правильным выбором ассортимента видов древесных растений. Однако его ограниченность зачастую заметно осложняет решение поставленных задач. Вовлечению новых сортов и форм в хозяйственный оборот будут способствовать объективные сведения об особенностях их биологии, прогрессивные приемы тиражирования высококачественного посадочного материала, включая укоренение черенков в специальных вегетаци-

онных сооружениях [12, 13, 54, 63]. Проведение научно обоснованной интродукции способствует расширению территориальных границ распространения многочисленных декоративных форм и сортов туи западной в культуре и обеспечивает расширение сферы их практического применения. Последнее в значительной мере определяется уровнем адаптированности экзотов в местах расселения. В соответствии с этим при интродукции в целом системному и многоплановому анализу подвергаются биология, адаптивно-экологические реакции, сезонные изменения физиологического состояния переносимых растений [55–58, 61]. Немало работ посвящено особенностям строения их фотосинтезирующего аппарата и наличию в нем пластидных пигментов [37, 38, 44].

Цель проведенного нами исследования — дать оценку сезонным особенностям содержания и соотношения пластидных пигментов в хвое декоративных форм и сортов туи западной при их интродукции в Нижегородскую область.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись 9 декоративных сортов туи западной и её типичная форма семенного происхождения, относящиеся к экзотам в Российской Федерации и Нижегородском Поволжье. Они имели следующую номенклатуру и условные обозначения: *Thuja occidentalis* f. *Rheingold* (Сорт 1); *Thuja occidentalis* f. *Mr. Bowling Boll* (Сорт 2); *Thuja occidentalis* f. *Woodwardii* (Сорт 3); *Thuja occidentalis* f. *Tiny Tim* (Сорт 4); *Thuja occidentalis* f. *Golden Smaragd* (Сорт 5); *Thuja occidentalis* f. *Mirjam* (Сорт 6); *Thuja occidentalis* f. *Golden Globe* (Сорт 7); *Thuja occidentalis* f. *Danica* (Сорт 8); *Thuja occidentalis* f. *Sunkist* (). Исследуемые декоративные формы и сорта расположены на едином интродукционно-коллекционном участке дендрологического парка Нижегородской государственной

сельскохозяйственной академии, высота над уровнем моря – 136 м. Согласно современному лесорастительному районированию, объект находится в границах третьей лесорастительной зоны – зоны хвойно-широколиственных лесов и входит в район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Здесь сформировался влажный с умеренно теплым и влажным летом и умеренно суровой снежной зимой климат и преобладают серые лесные, а также дерново-подзолистые и подзолистые почвы. Подобные экологические параметры благоприятны для произрастания многих хвойных пород [1, 2, 15, 20], на что указывают сформировавшиеся в регионе высокобонитетные насаждения местных древесных видов, таких как: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) и ель европейская (*Picea abies* (L.) H. Karst.), лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* Dylis), включая их весьма продуктивные плантационные и лесные культуры, объекты лесного семеноводства, постоянной лесосеменной базы и единого генетико-селекционного комплекса. Положительный результат достигнут в интродукции туи западной [12, 13].

Методологический подход предусматривал соблюдение важнейших требований к организации опыта: типичность, пригодность, целесообразность, надежность и соблюдение принципа единственного логического различия. В соответствии с этим для лабораторных исследований использованы одновозрастные растения вегетативного происхождения, с каждого из которых срезали по 5 однотипных одновозрастных побегов, находящихся в одинаковом фенологическом состоянии. Отбор биологического материала осуществлен одновременно из среднего яруса хорошо освещенного участка периферийной зоны крон учетных растений. Побег с признаками повреждения биотическими и абиотическими факторами

или с отклонениями от нормального развития отбраковывали. Первичной единицей выборки служила экстракционная навеска из объединенной хвои отдельного побега, собранной пропорционально со всех его частей. Их общее число в сезонном учете составило 150 шт. Опыт ставили дважды в течение вегетационного периода 2019 года, что позволило сформировать дисперсионный комплекс, содержащий 300 учетов.

Теоретической платформой в построении методических схем изучения пигментного состава фотосинтезирующего аппарата являлись классические работы в этой сфере исследований [40, 43–45, 50, 51, 53, 59, 60, 62, 64]. Выявляли содержание и баланс пластидных пигментов, для чего был проведен спектрофотометрический анализ, признаваемый наиболее точным методом их количественного определения [8, 9, 18, 21–23, 26, 31, 41, 42, 50, 64]. Он позволяет установить содержание пигментов по оптической плотности спиртовой вытяжки без её фракционирования и предварительного разделения. Аппаратно-приборная база представлена спектрофотометром СФ-2000. Его программное обеспечение GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4, позволяло строить на мониторе компьютера спектры поглощения тестируемых веществ. Фиксацию значений максимумов поглощения на полученных в указанном порядке графиках выполняли при длинах волн: 665 нм (хлорофилл-*a*); 649 нм (хлорофилл-*b*) и 452,5 нм (каротиноиды). При этом не исключали возможность некоторого смещения максимумов в зависимости от оптических свойств используемого экстрагента [18, 21, 23, 41, 42, 64]. Для вычисления концентрации пигментов в мг/г сырой массы хвои использовали уравнения Ветштейна и Хольма для 100 % ацетона и для 96 % этанола при условии их оптической чистоты [18, 21, 26, 31, 42]. Массу навески устанавливали с точностью до 0,001 г на трехразрядных аналитических

весах. Пересчет содержания пигментов на единицу массы сухого вещества выполняли после определения его доли в каждой навеске хвои, высушенной до абсолютно сухого состояния в шкафах HS 61 A [3–7].

На первом этапе устанавливали содержание хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b*, их суммарное количество и концентрацию каротиноидов. После этого находили отношение содержания хлорофилла-*a*, к содержанию хлорофилла-*b*; отношение различных форм хлорофилла к содержанию каротиноидов, их долю в пигментном составе и общее количество пигментов. Комплексный подход в подобном анализе является общепризнанным [3–7, 41, 42, 53]. Организационно-методическая схема работы включала в себя: 2 сезонно-контрастных срока учета (весна и осень), соответствующих фенологическим фазам начала и окончания вегетационного периода; 10 форм и сортов в каждом из сроков; 3 учетных растения по каждому из сортов (общее число 30 шт.); 5 учетных

побегов текущего прироста с каждого учетного дерева (один побег – одна экстракционная навеска); 13 признаков в анализе каждого биологического образца; 150 первичных единиц выборки по каждому из тестируемых признаков. Это позволило сформировать базу данных емкостью 1950 дата-единиц. Её статистическую обработку, включая двухфакторный дисперсионный анализ, осуществляли по общепринятым алгоритмам. При этом оценки среднего арифметического устанавливались: для каждого сорта (массив 15 единиц), каждого срока наблюдений (массив 150 единиц), обобщенного по всем срокам значения (массив 300 единиц).

Результаты и их обсуждение

Присутствие пигментов в хвое исследованных сортов и форм туи западной (обозначенных как сорта 1–10) динамично, при этом наиболее контрастные различия наблюдались между начальной и финальной фазой вегетационного периода (рис. 1–5).

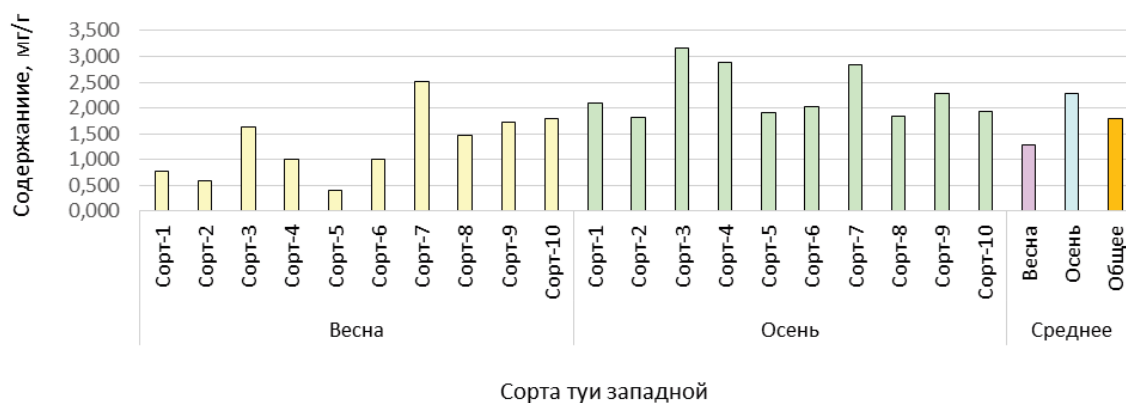


Рис. 1. Сезонное содержание хлорофилла-*a* в хвое туи западной

Легко заметить (рис. 1), что, сохраняя сортовую специфичность, представители исследованного ассортимента осенью содержали значительно большее количество хлорофилла-*a* в клетках тканей однолетней хвои ($2,28 \pm 0,042$ мг/г), чем весной ($1,29 \pm 0,056$ мг/г). Обобщенное по вегетационно-

му периоду среднее составило $1,78 \pm 0,046$ мг/г.

Наличие хлорофилла-*b* в клетках хвои также нестабильно в течение срока наблюдений (рис. 2). Однако в цифровом выражении средние значения при весенней ($0,62 \pm 0,031$ мг/г) и осенней ($0,62 \pm 0,039$ мг/г)

оценках, а также обобщенное для всех сроков учета ($0,62 \pm 0,025$ мг/г) практически одинаковы отдалено от крайних величин и составило.

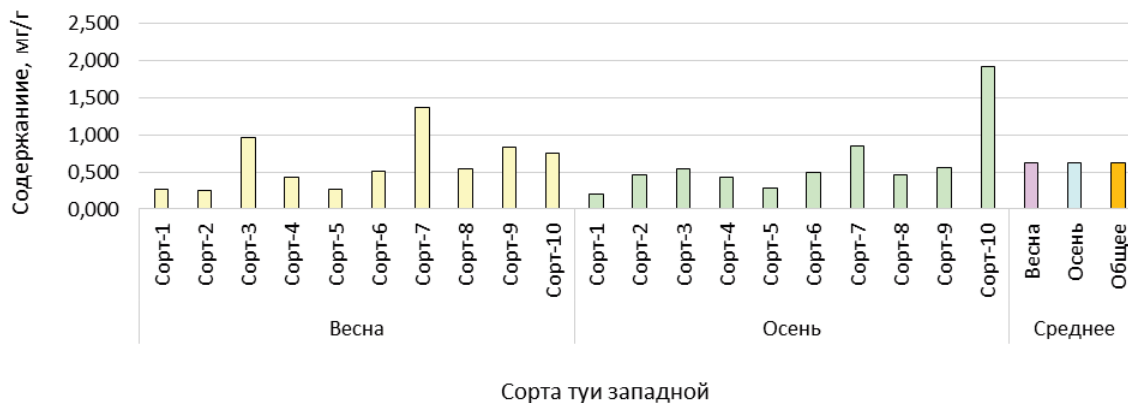


Рис. 2. Сезонное содержание хлорофилла-*b* в хвое туи западной

Сумма зеленых пигментов (хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*) вполне адекватно отражала отмеченную выше тенденцию в изменении количества разных форм хлорофилла весной и осенью (рис. 3). Полученные оценки соответственно составили: $1,90 \pm 0,086$ мг/г весной, и $2,90 \pm 0,057$ мг/г – осенью, при обобщенном среднем значении $2,40 \pm 0,059$ мг/г.

При этом суммарное содержание хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*, равно как и их раз-

дельное содержание, вычисляется по уравнениям: $S_{хла} = 13,70 \cdot D665 - 5,76 \cdot D649$; $S_{хлb} = 25,80 \cdot D649 - 7,60 \cdot D665$; $S_{хл(a+b)} = 6,10 \cdot D665 + 20,04 \cdot D649$, где: *S* – концентрация пигмента; *D665* – значение оптической плотности вытяжка при длине волны 665 нм (показания прибора); *D649* – значение оптической плотности вытяжка при длине волны 649 нм (показания прибора).

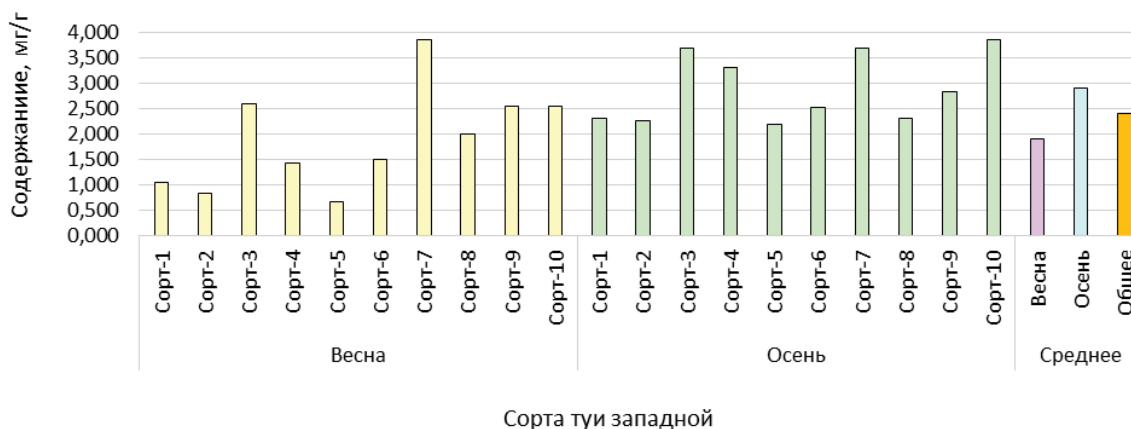


Рис. 3. Суммарное сезонное содержание хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b* в хвое туи западной

Участвующие в процессе фотосинтеза каротиноиды обладали своей динамикой сезонного накопления в клетках хвои рассматриваемых сортообразцов туи западной (рис. 4).

В этом случае различия еще более контрастны: $0,25 \pm 0,007$ мг/г (весной), и $0,66 \pm 0,014$ мг/г (осенью) при обобщенном среднем значении $0,46 \pm 0,014$ мг/г.

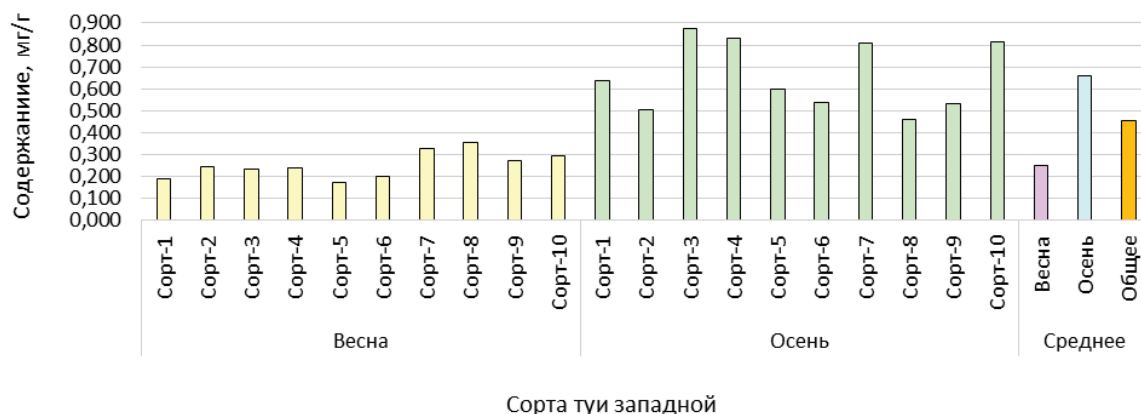


Рис. 4. Сезонное содержание каротиноидов в хвое туи западной

Превышение большей оценки над меньшей составило 0,41 мг/г или в 2,6 раза. Соотношение лимитов еще более значимо – в 28,5 раза или на 1,08 мг/г.

Интегральная оценка содержания пигментов в хвое исследованных форм и сортов

(общая сумма пластидных пигментов) в целом отражала общий характер в соотношении объектов исследования (форм и сортов туи) и представляла картину различий в начале и в конце вегетационного периода (рис. 5).

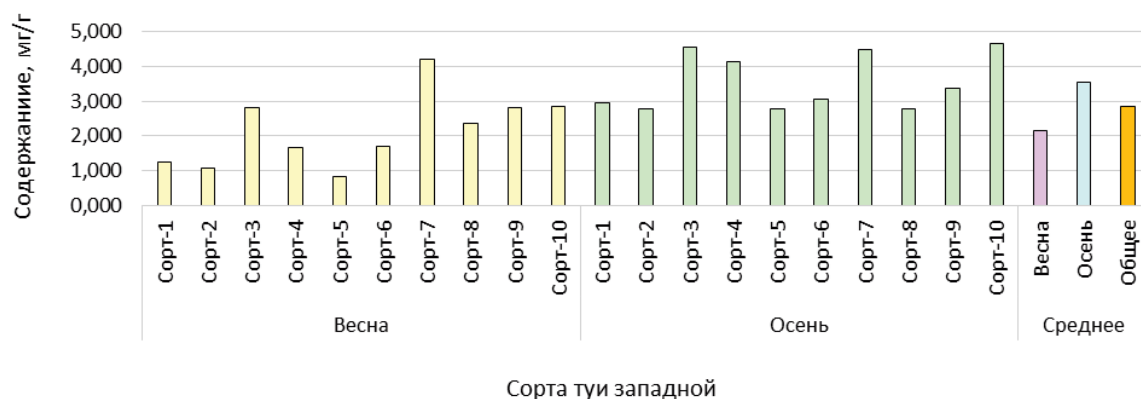


Рис. 5. Общее суммарное содержание пластидных пигментов в хвое туи западной

В конечном итоге картина сопоставления сортов во многом сохранила тенденции, наблюдавшиеся по содержанию хлорофилла-а, и в меньшей мере отражал структуру оценок по хлорофиллу-в. Наибольшее количество пигментов ($4,20 \pm 0,098$ мг/г) в весенний период обнаружено у туи 'Golden Globe' (сорт 7), в то время как в осенний период самые высокие оценки ($4,67 \pm 0,106$ мг/г) соответствовали типичной форме туи (образец 10). Обобщенные по срокам учета значения также сви-

детельствовали о большей концентрации пигментов в хвое в финале вегетации: $2,16 \pm 0,090$ мг/г (весной) и $3,56 \pm 0,068$ мг/г (осенью). Общее среднее, при этом составило $2,86 \pm 0,069$ мг/г. На этом фоне превышение большей сезонной оценки над меньшей достигло 1,40 мг/г или в 1,6 раза. Соотношение лимитов значительно больше – в 25,2 раза или на 5,26 мг/г.

Остальные показатели содержания и соотношения пигментов листового аппарата, а так-

же наличия в хвое сухого вещества характеризовались собственной спецификой в распределении оценок сортов и их соотношении в разные сезоны учета. Оценить эффекты влияния на

указанные различия комплекса факторов, вызывающих общую фенотипическую дисперсию, позволил анализ, проведенный по независимой двухфакторной схеме (табл.).

Таблица

Двухфакторный дисперсионный анализ содержания и баланса пигментов в хвое сортов туи западной в начале и в конце вегетации

Источник дисперсии, факторы влияния*	Критерий Фишера (F)		Доля влияния фактора ($h^2 \pm m_h$)			
	$F_{05/01}$	$F_{оп}$	по Плохинскому		по Снедекору	
			h^2	$\pm m_h^2$	h^2	$\pm m_h^2$
Содержание хлорофилла-а						
Срок учета (А)	3,88 / 6,73	1095,51	0,4023	0,0021	0,5021	0,0018
Сорта (В)	1,91 / 2,48	109,44	0,3617	0,0205	0,2487	0,0241
Взаимодействие (АВ)	1,91 / 2,48	40,30	0,1332	0,0279	0,1803	0,0263
Остаток (Z)	-	-	0,1028	0,8972	0,0688	0,9312
Содержание хлорофилла-б						
Срок учета (А)	3,88 / 6,73	0,04	0,0000	0,0036	-0,0006	0,0036
Сорта (В)	1,91 / 2,48	173,94	0,6254	0,0120	0,4985	0,0161
Взаимодействие (АВ)	1,91 / 2,48	73,08	0,2627	0,0237	0,4156	0,0188
Остаток (Z)	-	-	0,1119	0,8881	0,0865	0,9135
Суммарное содержание хлорофилла-а и хлорофилла-б						
Срок учета (А)	3,88 / 6,73	538,73	0,2399	0,0027	0,3399	0,0024
Сорта (В)	1,91 / 2,48	135,31	0,5422	0,0147	0,4245	0,0185
Взаимодействие (АВ)	1,91 / 2,48	23,27	0,0933	0,0291	0,1408	0,0276
Остаток (Z)	-	-	0,1247	0,8753	0,0948	0,9052
Содержание каротиноидов						
Срок учета (А)	3,88 / 6,73	1899,24	0,6884	0,0011	0,7551	0,0009
Сорта (В)	1,91 / 2,48	32,69	0,1066	0,0287	0,0630	0,0301
Взаимодействие (АВ)	1,91 / 2,48	31,73	0,1035	0,0288	0,1222	0,0282
Остаток (Z)	-	-	0,1015	0,8985	0,0597	0,9403
Отношение содержания хлорофилла-а к содержанию хлорофилла-б						
Срок учета (А)	3,88 / 6,73	754,91	0,3359	0,0024	0,4023	0,0021
Сорта (В)	1,91 / 2,48	72,44	0,2901	0,0228	0,1906	0,0260
Взаимодействие (АВ)	1,91 / 2,48	62,30	0,2495	0,0241	0,3271	0,0216
Остаток (Z)	-	-	0,1246	0,8754	0,0800	0,9200
Отношение содержания хлорофилла-а к содержанию каротиноидов						
Срок учета (А)	3,88 / 6,73	369,75	0,1906	0,0029	0,2365	0,0027
Сорта (В)	1,91 / 2,48	75,65	0,3509	0,0209	0,2394	0,0244
Взаимодействие (АВ)	1,91 / 2,48	67,74	0,3142	0,0220	0,4280	0,0184
Остаток (Z)	-	-	0,1443	0,8557	0,0962	0,9038
Отношение содержания хлорофилла-б к содержанию каротиноидов						

Источник дисперсии, факторы влияния*	Критерий Фишера (F)		Доля влияния фактора ($h^2 \pm m_h$)			
	$F_{05/01}$	$F_{оп}$	по Плохинскому		по Снедекору	
			h^2	$\pm m_h^2$	h^2	$\pm m_h^2$
Срок учета (A)	3,88 / 6,73	513,02	0,3442	0,0023	0,4268	0,0020
Сорта (B)	1,91 / 2,48	44,47	0,2685	0,0235	0,1812	0,0263
Взаимодействие (AB)	1,91 / 2,48	33,02	0,1994	0,0257	0,2669	0,0236
Остаток (Z)	-	-	0,1879	0,8121	0,1250	0,8750
<i>Доля содержания хлорофилла-а</i>						
Срок учета (A)	3,88 / 6,73	516,66	0,2877	0,0025	0,3406	0,0024
Сорта (B)	1,91 / 2,48	49,39	0,2475	0,0242	0,1598	0,0270
Взаимодействие (AB)	1,91 / 2,48	61,64	0,3089	0,0222	0,4005	0,0193
Остаток (Z)	-	-	0,1559	0,8441	0,0991	0,9009
<i>Доля содержания хлорофилла-б</i>						
Срок учета (A)	3,88 / 6,73	516,66	0,2877	0,0025	0,3406	0,0024
Сорта (B)	1,91 / 2,48	49,39	0,2475	0,0242	0,1598	0,0270
Взаимодействие (AB)	1,91 / 2,48	61,64	0,3089	0,0222	0,4005	0,0193
Остаток (Z)	-	-	0,1559	0,8441	0,0991	0,9009
<i>Доля содержания каротиноидов</i>						
Срок учета (A)	3,88 / 6,73	231,46	0,1944	0,0029	0,2628	0,0026
Сорта (B)	1,91 / 2,48	48,67	0,3678	0,0203	0,2718	0,0234
Взаимодействие (AB)	1,91 / 2,48	26,81	0,2027	0,0256	0,2944	0,0227
Остаток (Z)	-	-	0,2351	0,7649	0,1711	0,8289
<i>Отношение содержание каротиноидов к сумме хлорофилла-а и хлорофилла-б</i>						
Срок учета (A)	3,88 / 6,73	164,88	0,1562	0,0030	0,2162	0,0028
Сорта (B)	1,91 / 2,48	43,91	0,3743	0,0201	0,2830	0,0230
Взаимодействие (AB)	1,91 / 2,48	23,96	0,2043	0,0256	0,3029	0,0224
Остаток (Z)	-	-	0,2652	0,7348	0,1979	0,8021
<i>Общее количество пигментов</i>						
Срок учета (A)	3,88 / 6,73	847,75	0,3404	0,0024	0,4561	0,0019
Сорта (B)	1,91 / 2,48	127,83	0,4619	0,0173	0,3415	0,0212
Взаимодействие (AB)	1,91 / 2,48	23,58	0,0852	0,0294	0,1216	0,0282
Остаток (Z)	-	-	0,1124	0,8876	0,0808	0,9192
<i>Содержание сухого вещества</i>						
Срок учета (A)	3,88 / 6,73	0,06	0,0001	0,0036	-0,0016	0,0036
Сорта (B)	1,91 / 2,48	92,12	0,7474	0,0081	0,7659	0,0075
Взаимодействие (AB)	1,91 / 2,48	0,02	0,0002	0,0321	-0,0165	0,0327
Остаток (Z)	-	-	0,2524	0,7476	0,2522	0,7478

Примечания. Факторы влияния: А – организованный фактор, действие которого связано с изменениями биологического состояния растений, вызываемыми их сезонным состоянием; В – организованный фактор, действие которого связано с различиями между сортами туи (генотипические различия); 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.

По большинству тестируемых характеристик пигментного состава хвои сортов туи западной подтверждена эффективность действия организованных факторов. Так, по фактору *A*, который в нашем случае представляет собой различия в сезонном состоянии опытных растений, за исключением содержания хлорофилла-*b* и наличия абсолютно сухого вещества, опытные *F*-критерии превысили предельно допустимые значения. Из этого следует, что сроки учета по сезонам года, соответствующие различному биологическому состоянию, которое определяет наличие и соотношение пигментов, участвующих в фотосинтезе, играют важную роль в формировании фенотипических различий между представителями исследуемых сортов. Однако при подтвержденной достоверности эффекта, связанного с этим фактором, доминирует он далеко не всегда. Например, по содержанию хлорофилла-*a* влияние различий в сезонном состоянии растений ощутимо, и его доля в формировании общей фенотипической дисперсии составила $40,2 \pm 0,21$ %. В то же время по содержанию хлорофилла-*b* существенных различий по срокам учета установлено не было (*F*-критерий меньше предельного уровня), что не позволило вычислять долю воздействия указанного фактора. Аналогичная картина сложилась по присутствию сухого вещества в тканях хвои при его определении в весенний и осенний период.

Все остальные признаки характеризовались наличием существенных различий в содержании и соотношении пластидных пигментов в учетах, проводимых весной и осенью. На это указывают критерии Фишера, достигавшие величин от 164,88 (отношение содержание каротиноидов к сумме хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*) до 1899 (содержание каротиноидов) при табличном пределе 3,88 и 6,73 на 5-процентном и 1-процентном уровнях соответственно. Адекватно этому оценки доли влияния означенного фактора в случаях с подтвержденной существенностью различий принимали значения от $15,6 \pm 0,30$ % (отношение содержание кароти-

ноидов к сумме хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*) до $68,8 \pm 0,11$ % (содержание каротиноидов). Выполнение вычислений по алгоритмам Плохинского и Снедекора дало вполне сопоставимые результаты.

Принадлежность к тому или иному сорту (фактор *B*) во всех случаях проведения анализа генерировала возникновение существенных различий между группировками (между собственно сортами туи западной) как на 5-процентном, так и на 1-процентном уровнях значимости. Это нашло подтверждение в оценках критериев Фишера, преодолевших порог отсека по всем включенным в схему опыта признакам: от 32,69 (содержание каротиноидов) до 92,12 (содержание сухого вещества) и даже до 173,94 (содержание хлорофилла-*b*) при табличном пороге 1,91 (на 5-процентном уровне) и 2,48 (на 1-процентном уровне). Такой исход данной фазы дисперсионного анализа в отношении эндогенной специфичности сортов туи позволил развить его в части определения доли влияния сортовой индивидуальности на общий фон фенотипической дисперсии. В частности, было установлено, что наибольшие значения присущи содержанию хлорофилла-*b* ($62,5 \pm 1,20$ %) и сухого вещества ($74,7 \pm 0,81$ %), а наименьшие – наличию каротиноидов ($10,7 \pm 2,87$ %).

Эффект взаимодействия организованных факторов (фактор *AB*) в подавляющем большинстве случаев (12 из 13) оказывался статистически значимым. Критерии Фишера в указанной части анализа превысили заданный для принятого в опыте числа степеней свободы минимально допустимый уровень: от 23,27 (суммарное содержание хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*); 23,96 (отношение содержание каротиноидов к сумме хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*); 23,58 (общее количество пигментов) до 73,08 (содержание хлорофилла-*b*) и 67,74 (отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию каротиноидов). Исключение составило содержание сухого вещества – 0,02. Сила влияния рассматриваемого фактора (эффект взаимодействия организованных факторов) по своим масшта-

бам сопоставима с эффектом, вызываемым принадлежностью к разным сортам. При этом большие значения достигли $31,4 \pm 2,20$ % (отношение содержания хлорофилла-*a* к содержанию каротиноидов) и $30,9 \pm 2,22$ % (доля содержания хлорофилла-*b*), а меньшие — $9,3 \pm 2,20$ % (суммарное содержание хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*) и $8,5 \pm 2,94$ % (общее количество пигментов). Влияние неорганизованных факторов (остаточная дисперсия или *фактор Z*) сравнительно мало: от $10,28$ % (содержание хлорофилла-*a*) и $10,15$ % (содержание каротиноидов) до $25,24$ % (содержание хлорофилла-*b*). Такой результат во много обусловлен тем, что значительная часть дисперсии, связанной с влиянием факторов среды (в нашем случае — различия в физиологическом состоянии учетных растений в начале и конце вегетационного периода), была представлена организованным фактором (*фактор A*) и не учитывалась в составе остаточной дисперсии, возникающей, как правило, под действием пестроты экологического фона.

В порядке обсуждения результатов можно отметить, что исследованные сорта туи западной, являющиеся экзотами в Нижегородской области, имеют заметную разницу по наличию в хвое пластидных пигментов. Установленные межсортные различия по своим масштабам относятся к существенным, что подтвердил однофакторный дисперсионный анализ. Поскольку зафиксированная неоднородность проявилась в границах единого опытного участка дендрологической коллекции Нижегородской ГСХА, на выровненном экофоне и при одинаковых режимах выращивания, причину её возникновения можно в значительной мере связать со спецификой генотипов рассматриваемых форм и сортов. Помимо этого, полученный материал свидетельствует о заметной чувствительности и выраженной реакции исследованных сортов туи на сезонные изменения состояния окружающей среды, которое проявлялось в динамике показателей пигментного состава их фотосинтезирующего аппарата. Эффект такого влияния достаточно велик и по оценкам двухфакторного дисперсионного анализа достигал

$68,8 \pm 0,11$ % (содержание каротиноидов), что указывает на высокую зависимость данных признаков от сезонного физиологического состояния исследуемых растений в момент отбора биологических проб. Свое подтверждение специфика разных сортов туи западной нашла в проявлении указанных реакций на изменения погодных условий (именно они носят сезонный характер, а почвенные условия, рельеф и др. — стабильны). Реакция исследуемых растений, принадлежащих к разным сортам указанного вида, на фазы вегетационного периода, выразившаяся через изменение в содержании пластидных пигментов фотосинтеза, специфична. В определенной мере это свидетельствует о различных ресурсах адаптации, неодинаковых возможностях фотосинтеза и, как следствие, о различном потенциале их интродукции в Нижегородскую область. Влияние сортовой специфичности укладывалось в интервал значений от $10,7 \pm 2,87$ % (по содержанию каротиноидов) до $62,5 \pm 1,20$ % (содержание хлорофилла-*b*) от общего эффекта всех факторов, выступающих источниками фенотипической дисперсии. Эти обстоятельства необходимо учитывать при формировании в Среднем Поволжье ассортимента искусственных насаждений. Зафиксированная в опыте относительно слабая зависимость удельных показателей содержания пигментов (доли содержания хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b*) от сортовой принадлежности (эффект составил $24,8 \pm 2,42$ %) соответствует полученным ранее сведениям о стабильности указанных характеристик пигментного состава ряда хвойных видов, включая представителей туи западной. Достаточно высокий (до $31,4 \pm 2,20$ %) уровень оценочных значений эффекта взаимодействия организованных факторов, сопоставимый с эффектами отдельных факторов, а в ряде случаев даже выше, также свидетельствует о неодинаковой реакции испытанных сортов туи западной на сезонную динамику параметров среды.

Являясь чрезвычайно чувствительным к внешним воздействиям, тонко настроенным биологическим инструментом растительного организма, фотосинтезирующий аппарат не

может не реагировать на изменения параметров среды [37, 51, 56–58], что проявляется, в том числе, в сезонной (начало и завершение вегетационного периода) флуктуации характеристик пигментного состава хвои [38, 44, 53, 62]. В рассматриваемом опыте фотосинтезирующий аппарат всех тестируемых сортов туи западной показал повышенную восприимчивость к ним, сохранив сравнительно высокий уровень величин остаточной дисперсии, которую, как правило, связывают с влиянием неорганизованных факторов среды. Указанные оценки в исследованном комплексе сортов принимали значения: от 10,28 % (содержание хлорофилла-*a*) и 10,15 % (содержание каротиноидов) до 25,24 % (содержание хлорофилла-*b*). Доля дисперсии, генерируемой межсортовыми различиями, каждый из которых в силу особенностей своего географического происхождения обладает специфическим набором генотипов составляющих его особей, контролирующим, в том числе содержание и баланс пигментов хвои, чаще оказывала еще большее влияние.

В заключение можно отметить, что количественные характеристики присутствия в хвое исследованных сортов туи западной, интродуцированных в Нижегородскую область, имеют сезонно нестабильный характер и подвержены существенным изменениям в течение года. Чувствительность разных показателей содержания и соотношения пластидных пигментов к изменениям погодных условий новых мест обитания в течение года неодинакова, и по одним признакам (например, содержание каротиноидов) представители вида могут демонстрировать высокую зависимость своих биологических реакций от них, по другим (например, доли участия хлорофилла-*a* и хлорофилла-*b* в формировании общего их со-

держания) – проявляют выраженную индифферентность. При сохранении общих тенденций в сезонной динамике параметров пигментного состава хвои представители разных сортов обладают заметной специфичностью в этом отношении, демонстрируют существенные межсортовые различия в течение всего года, что необходимо учитывать при формировании ассортимента искусственных насаждений с участием перечисленных экзотов.

Выводы

1. Содержание и баланс пигментов в тканях хвои интродуцированных сортов и типичной формы туи западной в условиях Нижегородской области имеет сезонно нестабильный характер и имеет существенные различия в содержании и соотношении пластидных пигментов в начале и в конце вегетационного периода.

2. Чувствительность разных показателей пигментного состава хвои туи западной к изменениям сезонного состояния на фоне динамики в течение года погодных условий мест обитания неодинакова, и по одним признакам (например, содержание каротиноидов) представители данного вида могут демонстрировать высокую зависимость своих биологических реакций от них, по другим (например, содержание хлорофилла-*b* или содержание сухого вещества) – проявляют выраженную индифферентность.

3. При сохранении общих тенденций в сезонной динамике параметров пигментного состава хвои представители разных форм и сортов туи западной обладают достаточно выраженной специфичностью в этом отношении и демонстрируют существенность межсортовых различий в течение вегетационного периода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверкиев, Д.С. История развития растительного покрова Горьковской области и ее ботанико-географическое деление / Д.С. Аверкиев // Ученые записки Горьковского университета. Вып. XXXV. – Горький, 1954. – С. 119–136.

2. Алехин, В.В. Объяснительная записка к геоботаническим картам (современной и восстановленной) бывшей Нижегородской губернии (в масштабе 1:500.000) / В.В. Алехин. – Ленинград – Горький: Горьковский государственный университет – 1 картографическая фабрика ВКТ (типография 1 картографической фабрики ВКТ), 1935. – 67 с.
3. Бессчетнова, Н.Н. Содержание основных пигментов в хвое плюсовых деревьев сосны обыкновенной / Н.Н. Бессчетнова // Лесной вестник / Forestry bulletin (Вестник Московского государственного университета леса) – 2010. – № 6 (75). – С. 4–10.
4. Бессчетнова, Н.Н. Пигментный состав хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной в архивах клонов / Н.Н. Бессчетнова // Труды факультета лесного хозяйства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии : сборник научных статей. – Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2011. – № 1 (1). – С. 56–65.
5. Бессчетнова, Н.Н. Многомерная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по показателям пигментного состава хвои / Н.Н. Бессчетнова // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 1 (17). – С. 5–14.
6. Бессчетнова, Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и физиология хвои плюсовых деревьев / Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов. – Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2014. – 368 с.
7. Бессчетнова, Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев / Н.Н. Бессчетнова. – Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2014. – 382 с.
8. Годнев, Т.Н. Строение хлорофилла и методы его количественного определения / Т.Н. Годнев. – Минск : Издательство АН БССР, 1952. – 215 с.
9. Ермаков, И.А. Методы биохимических исследований растений / И.А. Ермаков. – М.-Л. : Сельхозгиз, 1952. – 520 с.
10. Исаев, А.С. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, В.И. Сухих, С.П. Титов, А.И. Уткин, А.А. Голуб, Д.Г. Замолодчиков, А.А. Пряжников. – М. : Центр экологической политики России, 1995. – 156 с.
11. Коммонер, Б. Замыкающийся круг: Природа, человек, технология / Б. Коммонер. Пер. с англ. / [Послеловие академика Е.К. Федорова, с. 248–278]. – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 279 с.
12. Котынова, М.Ю. Регенерационная способность представителей рода туя при укоренении черенков в теплицах / М.Ю. Котынова, В.П. Бессчетнов // Современное лесное хозяйство – проблемы и перспективы : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию «ВНИИ-ЛГИСБиотех», 3–4 декабря 2020 года. Воронеж : Истоки, 2020. – С. 40–43.
13. Котынова, М.Ю. Укоренение черенков декоративных форм туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в теплицах / М.Ю. Котынова, В.П. Бессчетнов, Н.Н. Бессчетнова // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : Материалы XVIII Международной научно-технической конференции : г. Вологда, 1 декабря 2020 г. Отв. ред. С.М. Хамитова. Вологда : ВоГУ, 2020. – С. 147–149.
14. Кулагин, Ю.З. Древесные растения и промышленная среда / Ю.З. Кулагин. – М. : Наука, 1974. – 125 с.
15. Куприянов, Н.В. Леса и лесное хозяйство Нижегородской области / Н.В. Куприянов, С.С. Веретенников, В.В. Шишов. – Нижний Новгород : Волго-Вятское книжное издательство, 1995. – 349 с.
16. Курбанов, Э.А. Углероддепонирующие насаждения Киотского протокола / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола : Марийский государственный технологический университет, 2007. – 184 с.
17. Ляховенко, О.И. Основные экологические проблемы российских городов и стратегия их разрешения / О.И. Ляховенко, Д.И. Чулков // Русская политология – Russian political science. – 2017. – № 3 (4). – С. 21–26.

18. Максимов, Г.Л. Методы биохимического анализа растений / Г.Л. Максимов. – Л. : Издательство Ленинградского государственного университета, 1978. – 192 с.
19. Ньюмен, А. Легкие нашей планеты. Пер. с англ. / А. Ньюмен. – М. : Мир, 1989. – 335 с.
20. Полуяхтов, К.К. Лесорастительное районирование Горьковской области / К.К. Полуяхтов // Биологические основы повышения продуктивности и охраны лесных, луговых и водных фитоценозов Горьковского Поволжья. – Горький : ГГУ, 1974. – С. 4–20.
21. Третьяков, Н.Н. Практикум по физиологии растений : Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений / Н.Н. Третьяков, Т.В. Карнаухова, Л.А. Паничкин. – Под общей редакцией Н.Н. Третьякова – 3-е изд., перераб. и дополн. – М. : Агропромиздат, 1990. – 271 с.
22. Шлык, А.А. О спектрофотометрическом определении хлорофиллов а и b / А.А. Шлык // Биохимия, 1968. – Т. 33, вып. 2. – С. 275–285.
23. Шлык, А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А.А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений / под ред. О.А. Павлиновой. – М. : Наука, 1971. – С. 154–170.
24. Beardmore, T. A survey of tree species of concern in Canada: the role for genetic conservation / T. Beardmore, J. Loo, B. McAfee, C. Malouin, D. Simpson // Annals of Forest Science. – 2006. – Vol. 82, no. 1. – pp. 351–363. – DOI: 10.5558/tfc78522–4.
25. Daniels, L.D. Western redcedar population dynamics in old-growth forests: Contrasting ecological paradigms using tree rings / L.D. Daniels // The Forestry Chronicle. – 2003. – Vol. 79, is. 3. – pp. 517–530. – DOI: 10.5558/tfc79517–3.
26. Dere, S. Spectrophotometric Determination of Chlorophyll – A, B and Total Carotenoid Contents of Some Algae Species Using Different Solvents / Ş. Dere, T. Güneş, R. Sivaci // Turkish Journal of Botany. – 1998. – Vol. 22, is. 1. – pp. 13–18.
27. Di Filippo, A. Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) old stored coppice in Central Italy / A. Di Filippo, A. Alessandrini, F. Biondi, S. Blasi, L. Portoghesi, G. Piovesan // Annals of Forest Science. – 2010. – Vol. 67, no. 7, article numb. 706. – pp. 1–14. – DOI: 10.1051/forest/2010031.
28. Fowler, D.P. Western Red Cedar (*Thuja plicata* Donn) in Nova Scotia / D.P. Fowler // The Forestry Chronicle. – 1981. – Vol. 57, is. 3. – pp. 124–125. – DOI: 10.5558/tfc57124–3.
29. Franke, A.K. Quantifying changes of the coniferous forest line in Finnish Lapland during 1983–2009 / A.K. Franke, P. Aatsinki, V. Hallikainen, E. Huhta, M. Hyppönen, V. Juntunen, K. Mikkola, S. Neuvonen, P. Rautio // Silva Fennica. – 2015. – Vol. 49, no. 4, article id 1408. – pp. 1–18. – DOI: 10.14214/sf.1408.
30. Gimmi, U. Land-use and climate change effects in forest compositional trajectories in a dry Central-Alpine valley / U. Gimmi, T. Wohlgemuth, A. Rigling, C.W. Hoffmann, M. Bürgi // Annals of Forest Science. – 1994. – Vol. 51, no. 6. – pp. 529–551. – DOI: 10.1051/forest:19940601.
31. Gitelson, A.A. The Chlorophyll Fluorescence Ratio F735/F700 as an Accurate Measure of the Chlorophyll Content in Plants / A.A. Gitelson, C. Buschmann, H.K. Lichtenthaler // Remote Sensing of Environment. An Interdisciplinary Journal / Estimation of Chlorophyll Content by Fluorescence Measurements. – 1999. – Vol. 69. – pp. 296–302. – DOI:10.1016/S0034–4257(99)00023–1.
32. Griess, V.C. The potential of mixing timber assets to financially offset negative effects of deer browsing on western redcedar / V.C. Griess, R. Panwar, J. Cool // The Forestry Chronicle. – 2015. – no. 91 (04). – pp. 436–443. – DOI: 10.5558/tfc2015–073.

33. Grossnickle, S.C. Yellow-cedar and western redcedar ecophysiological response to fall, winter and early spring temperature conditions / S.C. Grossnickle, J.H. Russell // *Annals of Forest Science*. – 2006. – Vol. 63, no. 1. – pp. 1–8. – DOI: 10.1051/forest:2005092.
34. Gull, B.A. Longitudinal differences in Scots pine shoot elongation / B.A. Gull, T. Persson, A. Fedorkov, T.J. Mullin // *Silva Fennica*. – 2018. – Vol. 52, no. 5, article id 10040. – pp. 1–12. – DOI: 10.14214/sf.10040.
35. Hager, H. Productivity and LAI of floodplain forest sites in relationships to water supply / H. Hager, R. Haslinger, H. Schume // *Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere*. – 1999. – Vol. 18, supplement 1. – 1999. – pp. 5–14.
36. Haluk, J-P. Biosynthèse de tropolones dans les calcs et les suspensions cellulaires à partir d'ébauches foliaires de plantules de *Thuja plicata* Donn / J-P. Haluk, C. Roussel-Bousta // *Annals of Forest Science*. – 2003. – Vol. 60, no. 3. – pp. 271–276. – DOI: 10.1051/forest:2003018.
37. Klůšeiko, J. Drought tolerance of Scots pine in diverse growth conditions on a dune estimated on the basis of carbohydrates and chlorophyll fluorescence in needles / J. Klůšeiko, M. Tilk // *Forestry Studies*. – 2008. – Vol. 49. – pp. 25–36. – DOI: 10.2478/v10132-011-0060-3
38. Kvičala, M. Photosynthetic Active Pigments Changes in Norway Spruce (*Picea abies*) under the Different Acclimation Irradiation and Elevated CO₂ Content / M. Kvičala, E. Lacková, L. Urbancová // *Environmental Chemistry*. – 2014. – Vol. 11, is. 1, art. id 572576, 4 pages. – pp. 572–576. – DOI: 10.1155/2014/572576.
39. Leadbitter, P. A comparison of historical and current forest cover in selected areas of the Great Lakes–St. Lawrence Forest of central Ontario / P. Leadbitter, D. Euler, B. Naylor // *The Forestry Chronicle*. – 2002. – Vol. 78, no. 4. – pp. 522–529. – DOI: 10.5558/tfc78522-4.
40. Lidholm, J. A functional promoter shift of a chloroplast gene: a transcriptional fusion between a novel psbAgene copy and the trnK(UUU) gene in *Pinus contorta* / J. Lidholm, P. Gustafsson // *The Plant Journal*. – 1992. – Vol. 2, is. 6. – pp. 875–886. – DOI: 10.1046/j.1365-313x.1992.t01-4-00999.x.
41. Lichtentaller, H.K. Chlorophyll a and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes / H.K. Lichtentaller // *Methods in Enzymology*. – 1987. – Vol. 148: Plant Cell Membranes. pp. 350–382.
42. Lichtentaller, H.K. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents / H.K. Lichtentaller, A.R. Wellburn // *Biochemical Society Transactions*. – 1983. – Vol. 11, no. 6. – pp. 591–592.
43. Linder, S. Photosynthesis and Transpiration of 20-Year-Old Scots Pine / S. Linder, E. Troeng // *Ecological Bulletins. Published by the Nordic Society Oikos*. – 1980. – no. 32, Structure and Functin of Northern Coniferous Forests: An Ecosystem Study. – pp. 165–181.
44. Major, J.E. Genetic variation and control of chloroplast pigment concentrations in *Picea rubens*, *Picea mariana* and their hybrids. I. Ambient and elevated [CO₂] environments / J.E. Major, D.C. Barsi, A. Mosseler, M. Campbell // *Tree Physiology*. – 2007. – Vol. 27, no. 3. – pp. 353–364. – DOI: 10.1093/treephys/27.3.353.
45. Miazek, K. Chlorophyll extraction from leaves, needles and microalgae: A kinetic approach. / K. Miazek, S. Ledakowicz // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. – 2013. – Vol. 6, no. 2. – pp. 107–115. – DOI: 10.3965/j.ijabe.20130602.0012.
46. Noland, T.L. Determining the glyphosate tolerance of eastern white cedar: First year post-treatment results / T.L. Noland, R. Man, M. Irvine // *The Forestry Chronicle*. – 2015. – Vol. 91 (02). – pp. 182–186. – DOI: 10.5558/tfc2015-029.
47. Oszlanyi, J. Consequences of anthropic impact on Danuble floodplain forests in Slovakia / J. Oszlanyi // *Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere*. – 1999. – Vol. 18, supplement 1/1999. – pp. 103–110.

48. Palmroth, S. Boreal forest and climate change – from processes and transport to trees, ecosystems and atmosphere / S. Palmroth // *Silva Fennica*. – 2009. – Vol. 43, no. 4, article id 461. – pp. 711–713. – DOI: 10.14214/sf.461.
49. Pedlar, J.H. A street tree survey for Canadian communities: Protocol and early results / J.H. Pedlar, D.W. McKenney, D. Allen, K. Lawrence, G. Lawrence, K. Campbell // *The Forestry Chronicle*. – 2013. – Vol. 89 (6). – pp. 753–758. – DOI: 10.5558/tfc2013–137.
50. Porra, R.G. 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 / R.G. Porra, W.A. Thomson, P.E. Kriedemann // *Biochimica et Biophysica Acta*. – 1989. – Vol. 975, pp. 384–394. – DOI: 10.1016/S0005–2728(89)80347–0.
51. Pukacki, P.M. Effects of sulphur, fluoride and heavy metals pollution on the chlorophyll fluorescence of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles / P.M. Pukacki // *Dendrobiology*. – 2000. – Vol. 45. – pp. 83–88.
52. Reyer, C. Inter-specific competition in mixed forests of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and common beech (*Fagus sylvatica*) under climate change – a model-based analysis / C. Reyer, P. Lasch, G.M.J. Mohren, F.J. Sterck // *Annals of Forest Science*. – 2010. – Vol. 67, no. 8, article numb. 805. – pp. 1–11. – DOI: 10.1051/forest/2010041.
53. Rosenthal1, S.I. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*) / S.I. Rosenthal1, E.L. Camm // *Tree Physiology*. – 1997. – Vol. 17, no. 12. – pp. 767–775. – DOI: 10.1093/treephys/17.12.767.
54. Scarratt, J.B. Greenhouse Managers: Beware Combustion Fumes in Container Greenhouses / J.B. Scarratt // *The Forestry Chronicle*. – 1985. – Vol. 61, no. 4. – pp. 308–311. – DOI: 10.5558/tfc61308–4.
55. Schaberg, P.G. Winter photosynthesis of red spruce from three Vermont seed sources / P.G. Schaberg, R.C. Wilkinson, J.B. Shane, J.R. Donnelly, P.F. Cali // *Tree Physiology*. – 1995. – Vol. 15; is. 5. – pp. 345–350. – DOI: 10.1093/treephys/15.5.345.
56. Schaberg, P.G. Photosynthetic capacity of red spruce during the winter / P.G. Schaberg, J.B. Shane, P.F. Cali, J.R. Donnelly, G.R. Strimbeck // *Tree Physiology*. – 1998. – Vol. 18; is. 4. – pp. 271–276. – DOI: 10.1093/treephys/18.4.271.
57. Schaberg, P.G. Seasonal patterns of carbohydrate reserves in red spruce seedlings / P.G. Schaberg, M.C. Snyder, J.B. Shane, J.R. Donnelly // *Tree Physiology*. – 2000. – Vol. 20, is. 8. – pp. 549–555. – DOI: 10.1093/treephys/20.8.549.
58. Schaberg, P.G. Cold tolerance and photosystem function in a montane red spruce population: physiological relationships with foliar carbohydrates / P.G. Schaberg, G.R. Strimbeck, G.J. Hawley, D.H. DeHayes, J.B. Shane, P.F. Murakami, T.D. Perkins, J.R. Donnelly, B.L. Wong // *Journal of Sustainable Forestry*. – 1999. – Vol. 10, is. 1–2. – pp. 173–180. – DOI: 10.1300/J091v10n01_20.
59. Schoefs, B. Chlorophyll Synthesis in Dark-Grown Pine Primary Needles / B. Schoefs, F. Franck // *Plant Physiology*. – 1998. – Vol. 118. – pp. 1159–1168. – DOI: 10.1104/pp.118.4.1159.
60. Skuodiene, L. Quantitative changes in aminoacid proline and chlorophyll in the needles of *Picea abies* Karst. (L.) during stress and adaptation / L. Skuodiene // *Biologija / Lithuanian academy of sciences, Vilnius university*. – 2001. – Vol. 47, no. 2. – pp. 54–56.
61. Stinziano, J.R. Warming delays autumn declines in photosynthetic capacity in a boreal conifer, Norway spruce (*Picea abies*) / J.R. Stinziano, N.P.A. Hüner, D.A. Way // *Tree Physiology*. – 2015. – Vol. 35, is. 12. – pp. 1303–1313. – DOI: 10.1093/treephys/tpv118.
62. Tausz, M. Multivariate patterns of biochemical responses of *Pinus ponderosa* trees at field plots in the San Bernardino Mountains, southern California / M. Tausz, A. Bytnerowicz, M.J. Arbaugh, A. Wonisch, D. Grill // *Tree Physiology*. – 2001. – Vol. 21, no. 5. – pp. 329–336. – DOI: 10.1093/treephys/21.5.329.

63. Thorpe, T.A. Application of Tissue Culture Technology to Forest Tree Improvement / T.A. Thorpe // The Forestry Chronicle. – 1985. – Vol. 61, no. 5. – pp. 436–438. – DOI: 10.5558/tfc61436–5.
64. Wellburn, A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution / A.R. Wellburn // Journal of plant physiology. – 1994. – Vol. 144, is. 3. – pp. 307–313. – DOI: 10.1016/S0176–1617(11)81192–2.

REFERENCES

1. Averkiev D.S. Istoriya razvitiya rastitel'nogo pokrova Gor'kovskoy oblasti i ee botaniko-geograficheskoe delenie. *Uchenye zapiski Gor'kovskogo universiteta*. Gor'kij, 1954, vyp. XXXV, pp. 119–136. (In Russian)
2. Alekhin V.V. Ob'yasnitel'naya zapiska k geobotanicheskim kartam (sovremennoj i vosstanovlennoj) byvshej Nizhegorodskoj gubernii (v masshtabe 1:500.000). Leningrad – Gor'kij: Gor'kovskij gosudarstvennyj universitet – 1 kartograficheskaya fabrika VKT (tipografiya 1 kartograficheskoy fabriki VKT). 1935, 67 p. (In Russian)
3. Besschetnova N.N. Soderzhanie osnovnykh pigmentov v hvoe plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy. *Lesnoj vestnik / Forestry bulletin (Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa)*, 2010, no. 6 (75), pp. 4–10. (In Russian)
4. Besschetnova N.N. Pigmentnyj sostav hvoi plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy v arhivah klonov. *Trudy fakul'teta lesnogo hozyajstva Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii: sbornik nauchnykh statej*. Nizhnij Novgorod, 2011, no. (1). pp. 56–65. (In Russian)
5. Besschetnova N.N. Mnogomernaya ocenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovnoy (*Pinus sylvestris* L.) po pokazatelyam pigmentnogo sostava hvoi. *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2013, no. 1 (17), pp. 5–14. (In Russian)
6. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Sosna obyknovennaya (*Pinus sylvestris* L.). Morfometriya i fiziologiya hvoi plyusovykh derev'ev. Nizhnij Novgorod, 2014, 368 p. (In Russian)
7. Besschetnova N.N. Sosna obyknovennaya (*Pinus sylvestris* L.). Effektivnost' otbora plyusovykh derev'ev. Nizhnij Novgorod, 2014, 382 p. (In Russian)
8. Godnev T.N. Stroenie hlorofilla i metody ego kolichestvennogo opredeleniya. Minsk, 1952, 215 p. (In Russian)
9. Ermakov I.A. Metody biokhimicheskikh issledovaniy rastenij. Moscow-Leningrad, 1952, 520 p. (In Russian)
10. Isaev A.S., Korovin G.N., Suhij V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii. Moscow, 1995, 156 p. (In Russian)
11. Kommoner B. Zamykayushchijsya krug: Priroda, chelovek, tekhnologiya. Perevod s anglijskogo, [Posleslovie akademika E.K. Fedorova, s. 248–278]. Leningrad, 1974, 279 p. (In Russian)
12. Kotynova M.YU., Besschetnov V.P. Regeneracionnaya sposobnost' predstavitelej roda tuya pri ukorenении cherenkov v teplicah. *Sovremennoe lesnoe hozyajstvo problemy i perspektivy. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 50-letiyu «VNIILGISbiotekh» 3–4 dekabrya 2020 g.* Voronezh, 2020, pp. 40–43. (In Russian)
13. Kotynova M.Yu., Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Ukorenenie cherenkov dekorativnykh form tui zapadnoj (*Thuja occidentalis* L.) v teplicah. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: Materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, g. Vologda, 1 dekabrya 2020 g.* Otv. red. S.M. Hamitova. Vologda, 2020, pp. 147–149. (In Russian)
14. Kulagin Yu.Z. Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda. Moscow, 1974, 125 p. (In Russian)
15. Kupriyanov N.V., Veretennikov S.S., SHishov V.V. Lesa i lesnoe hozyajstvo Nizhegorodskoj oblasti. Nizhnij Novgorod, 1995, 349 p. (In Russian)

16. Kurbanov E.A. Uglерododeponiruyushchie nasazhdeniya Kiotskogo protokola: Joshkar-Ola, 2007, 184 p. (In Russian)
17. Lyahovenko O.I., Chulkov D.I. Osnovnye ekologicheskie problemy rossijskih gorodov i strategiya ih razresheniya. *Russkaya politologiya – Russian political science*, 2017, no. 3 (4). pp. 21–26. (In Russian)
18. Maksimov G.L. Metody biohimicheskogo analiza rastenij. Leningrad, 1978, 192 p. (In Russian)
19. N'yumen A. Legkie nashej planety. Perevod s anglijskogo. Moscow, 1989, 335 p. (In Russian)
20. Poluyahtov K.K. Lesorastitel'noe rajonirovanie Gor'kovskoj. *Biologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti i ohrany lesnyh, lugovyh i vodnyh fitocenzozov Gor'kovskogo Povolzh'ya*. Gor'kij, 1974, pp. 4–20. (In Russian)
21. Tret'yakov N.N., Karnauhova T.V., Panichkin L.A. Praktikum po fiziologii rastenij. Uchebniki i uchebnye posobiya dlya studentov vysshih uchebnyh zavedenij. Pod obshchej redakciej N.N. Tret'yakova. 3-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe. Moscow, 1990. 271 p. (In Russian)
22. Shlyk A.A. O spektrofotometricheskom opredelenii hlorofillov a i b. *Biohimiya*. 1968, T. 33, vyp. 2, pp. 275–285. (In Russian)
23. Shlyk A.A. Opredelenie hlorofilla i karotinoidov v ekstraktah zelenyh list'ev. *Biohimicheskie metody v fiziologii rastenij*, pod redakciej O.A. Pavlinovoj. Moscow, 1971, pp. 154–170. (In Russian)
24. Beardmore T., Loo J., McAfee B., Malouin C., Simpson D. A survey of tree species of concern in Canada: the role for genetic conservation. *Annals of Forest Science*, 2006, vol. 82, no. 1, pp. 351–363. DOI: 10.5558/tfc78522-4
25. Daniels L.D. Western redcedar population dynamics in old-growth forests: Contrasting ecological paradigms using tree rings. *The Forestry Chronicle*, 2003, vol. 79, is. 3, pp. 517–530. DOI: 10.5558/tfc79517-3
26. Dere S., Güneş T., Sivaci R. Spectrophotometric Determination of Chlorophyll – A, B and Total Carotenoid Contents of Some Algae Species Using Different Solvents. *Turkish Journal of Botany*, 1998, vol. 22, is. 1, pp. 13–18.
27. Di Filippo A., Alessandrini A., Biondi F., Blasi S., Portoghesi L., Piovesan G. Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) old stored coppice in Central Italy. *Annals of Forest Science*, 2010, vol. 67, no. 7, article numb. 706, pp. 1–14. DOI: 10.1051/forest/2010031
28. Fowler D.P. Western Red Cedar (*Thuja plicata* Donn) in Nova Scotia. *The Forestry Chronicle*, 1981, vol. 57, is. 3, pp. 124–125. DOI: 10.5558/tfc57124-3
29. Franke A.K., Aatsinki P., Hallikainen V., Huhta E., Hyppönen M., Juntunen V., Mikkola S., Neuvonen K., Rautio P. Quantifying changes of the coniferous forest line in Finnish Lapland during 1983–2009. *Silva Fennica*, 2015, vol. 49, no. 4, article id 1408, pp. 1–18. DOI: 10.14214/sf.1408
30. Gimmi U., Wohlgemuth T., Rigling A., Hoffmann C.W., Bürgi M. Land-use and climate change effects in forest compositional trajectories in a dry Central-Alpine valley. *Annals of Forest Science*, 1994, vol. 51, no. 6, pp. 529–551. DOI: 10.1051/forest:19940601
31. Gitelson A.A., Buschmann C., Lichtenthaler H.K. The Chlorophyll Fluorescence Ratio F735/F700 as an Accurate Measure of the Chlorophyll Content in Plants. *Remote Sensing of Environment. An Interdisciplinary Journal / Estimation of Chlorophyll Content by Fluorescence Measurements*, 1999, vol. 69, pp. 296–302. DOI:10.1016/S0034-4257(99)00023-1
32. Griess V.C., Panwar R., Cool J. The potential of mixing timber assets to financially offset negative effects of deer browsing on western redcedar. *The Forestry Chronicle*, 2015, no. 91 (04), pp. 436–443. DOI: 10.5558/tfc2015-073
33. Grossnickle S.C., Russell J.H. Yellow-cedar and western redcedar ecophysiological response to fall, winter and early spring temperature conditions. *Annals of Forest Science*, 2006, vol. 63, no. 1, pp. 1–8. DOI: 10.1051/forest:2005092

34. Gull B.A., Persson T., Fedorkov A., Mullin T.J. Longitudinal differences in Scots pine shoot elongation. *Silva Fennica*, 2018, vol. 52, no. 5, article id 10040, pp. 1–12. DOI: 10.14214/sf.10040
35. Hager H., Haslinger R., Schume H. Productivity and LAI of floodplain forest sites in relationships to water supply. *Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere*, 1999, vol. 18, supplement 1/1999, pp. 5–14.
36. Haluk J-P., Roussel-Bousta C. Biosynthèse de tropolones dans les calcs et les suspensions cellulaires à partir d'ébauches foliaires de plantules de *Thuja plicata* Donn. *Annals of Forest Science*, 2003, vol. 60, no. 3, pp. 271–276. DOI: 10.1051/forest:2003018
37. Klůšeiko J., Tilk M. Drought tolerance of Scots pine in diverse growth conditions on a dune estimated on the basis of carbohydrates and chlorophyll fluorescence in needles. *Forestry Studies*, 2008, vol. 49, pp. 25–36. DOI: 10.2478/v10132-011-0060-3
38. Kvičala M., Lacková E., Urbancová L. Photosynthetic Active Pigments Changes in Norway Spruce (*Picea abies*) under the Different Acclimation Irradiation and Elevated CO₂ Content. *Environmental Chemistry*, 2014, vol. 11, is. 1, art. Id 572576, 4 pages, pp. 572–576. DOI: 10.1155/2014/572576
39. Leadbitter P., Euler D., Naylor B. A comparison of historical and current forest cover in selected areas of the Great Lakes–St. Lawrence Forest of central Ontario. *The Forestry Chronicle*, 2002, vol. 78, no. 4, pp. 522–529. DOI: 10.5558/tfc78522-4
40. Lidholm J., Gustafsson P. A functional promoter shift of a chloroplast gene: a transcriptional fusion between a novel psbA gene copy and the trnK(UUU) gene in *Pinus contorta*. *The Plant Journal*, 1992, vol. 2, is. 6, pp. 875–886. DOI: 10.1046/j.1365-313x.1992.t01-4-00999.x
41. Lichtenthaler H.K. Chlorophyll a and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 1987, vol. 148: *Plant Cell Membranes*, pp. 350–382.
42. 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, vol 11, no. 6, pp. 591–592.
43. Linder S., Troeng E. Photosynthesis and Transpiration of 20-Year-Old Scots Pine. *Ecological Bulletins. Published by the Nordic Society Oikos*, 1980, no. 32, *Structure and Function of Northern Coniferous Forests: An Ecosystem Study*, pp. 165–181.
44. Major J.E., Barsi D.C., Mosseler A., Campbell M. Genetic variation and control of chloroplast pigment concentrations in *Picea rubens*, *Picea mariana* and their hybrids. I. Ambient and elevated [CO₂] environments. *Tree Physiology*, 2007, vol. 27, no. 3, pp. 353–364. DOI: 10.1093/treephys/27.3.353
45. Miazek K., Ledakowicz S. Chlorophyll extraction from leaves, needles and microalgae: A kinetic approach. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2013, vol. 6, no. 2, pp. 107–115. DOI: 10.3965/j.ijabe.20130602.0012
46. Noland T.L., Man R., Irvine M. Determining the glyphosate tolerance of eastern white cedar: First year post-treatment results. *The Forestry Chronicle*, 2015, vol. 91 (02), pp. 182–186. DOI: 10.5558/tfc2015-029.
47. Oszlanyi J. Consequences of anthropic impact on Danube floodplain forests in Slovakia // *Ecology (Bratislava). Journal for ecological problem of the biosphere*, 1999, vol. 18, Supplement 1/1999, pp. 103–110.
48. Palmroth S. Boreal forest and climate change from processes and transport to trees, ecosystems and atmosphere. *Silva Fennica*, 2009, vol. 43, no. 4, article id 461, pp. 711–713. DOI: 10.14214/sf.461
49. Pedlar J.H., McKenney D.W., Allen D., Lawrence K., Lawrence G., Campbell K. A street tree survey for Canadian communities: Protocol and early results. *The Forestry Chronicle*, 2013, vol. 89 (6), pp. 753–758. DOI: 10.5558/tfc2013-137
50. 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, vol. 975, pp. 384–394. DOI: 10.1016/S0005-2728(89)80347-0
51. Pukacki P.M. Effects of sulphur, fluoride and heavy metals pollution on the chlorophyll fluorescence of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Dendrobiology*, 2000, vol. 45, pp. 83–88.
52. Reyer C., Lasch P., Mohren G.M.J., Sterck F.J. Inter-specific competition in mixed forests of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) and common beech (*Fagus sylvatica*) under climate change a model-based analysis. *Annals of Forest Science*, 2010, vol. 67, no. 8, article numb. 805, pp. 1–11. DOI: 10.1051/forest/2010041.
53. Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic decline and pigment loss during autumn foliar senescence in western larch (*Larix occidentalis*). *Tree Physiology*, 1997, vol. 17, no. 12, pp. 767–775. DOI: 10.1093/treephys/17.12.767
54. Scarratt J.B. Greenhouse Managers: Beware Combustion Fumes in Container Greenhouses. *The Forestry Chronicle*, 1985, vol. 61, no. 4, pp. 308–311. DOI: 10.5558/tfc61308-4
55. Schaberg P.G., Wilkinson R.C., Shane J.B., Donnelly J.R., Cali P.F. Winter photosynthesis of red spruce from three Vermont seed sources. *Tree Physiology*, 1995, vol. 15; is. 5, pp. 345–350. DOI: 10.1093/treephys/15.5.345
56. Schaberg P.G., Shane J.B., Cali P.F., Donnelly J.R., Strimbeck G.R. Photosynthetic capacity of red spruce during the winter. *Tree Physiology*, 1998, vol. 18; is. 4, pp. 271–276. DOI: 10.1093/treephys/18.4.271
57. Schaberg P.G., Snyder M.C., Shane J.B., Donnelly J.R. Seasonal patterns of carbohydrate reserves in red spruce seedlings. *Tree Physiology*, 2000, vol. 20, is. 8, pp. 549–555. DOI: 10.1093/treephys/20.8.549
58. Schaberg P.G., Strimbeck G.R., Hawley G.J., DeHayes D.H., Shane J.B., Murakami P.F., Perkins T.D., Donnelly J.R., Wong B.L. Cold tolerance and photosystem function in a montane red spruce population: physiological relationships with foliar carbohydrates. *Journal of Sustainable Forestry*, 1999, vol. 10, is. 1–2, pp. 173–180. DOI: 10.1300/J091v10n01_20
59. Schoefs B., Franck F. Chlorophyll Synthesis in Dark-Grown Pine Primary Needles. *Plant Physiology*, 1998, vol. 118, pp. 1159–1168. DOI: 10.1104/pp.118.4.1159
60. Skuodiene L. Quantitative changes in aminoacid proline and chlorophyll in the needles of *Picea abies* Karst. (L.) during stress and adaptation. *Biologija / Lithuanian academy of sciences, Vilnius university*, 2001, vol. 47, no. 2, pp. 54–56.
61. Stinziano J.R., Hüner N.P.A., Way D.A. Warming delays autumn declines in photosynthetic capacity in a boreal conifer, Norway spruce (*Picea abies*). *Tree Physiology*, 2015, vol. 35, is. 12, pp. 1303–1313. DOI: 10.1093/treephys/tpv118
62. Tausz M., Bytnerowicz A., Arbaugh M.J., Wonisch A., Grill D. Multivariate patterns of biochemical responses of *Pinus ponderosa* trees at field plots in the San Bernardino Mountains, southern California. *Tree Physiology*, 2001, vol. 21, no. 5, pp. 329–336. DOI: 10.1093/treephys/21.5.329
63. Thorpe T.A. Application of Tissue Culture Technology to Forest Tree Improvement. *The Forestry Chronicle*, 1985, vol. 61, no. 5, pp. 436–438. DOI: 10.5558/tfc61436-5
64. Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of plant physiology*, 1994, vol. 144, is. 3, pp. 307–313. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2

Статья поступила в редакцию 22.06.2022