

СОДЕРЖАНИЕ И СООТНОШЕНИЕ ПЛАСТИДНЫХ ПИГМЕНТОВ В ХВОЕ БИОТЫ ВОСТОЧНОЙ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ

Б. А. Кентбаева¹, Е. Ж. Кентбаев¹, Н. Н. Бессчетнова², В. П. Бессчетнов², К. П. Мурадов²

¹Казахский национальный аграрный исследовательский университет
Республика Казахстан, 050050, г. Алматы, проспект Абая, 8

²Нижегородский государственный агротехнологический университет
Российская Федерация, 603107, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, 97
E-mail: lesfak@bk.ru

Актуальность работы обусловлена высокой потребностью в теоретическом обосновании оптимизации ассортимента городских зеленых насаждений и технологий их создания. Цель исследований – установить пигментный состав хвои биоты восточной (*Platycladus orientalis* (L.) Franco) при интродукции в условия Нижегородской области (Россия) и Алматинской области (Казахстан). Объектом исследования выступала 1-летняя хвоя биоты, заготовленная на коллекционных участках Нижегородского ГАТУ (г. Нижний Новгород, Россия) и КазНИАУ (г. Алматы, Казахстан). Географические координаты мест дислокации 56°14'30" N, 43°57'16" E и 43°14'31" N, 76°57'7" E, абсолютная высота – 141 м и 872 м соответственно. Методологический подход предполагал соблюдение принципа единственного логического различия и требований к типичности, пригодности, надежности, оптимальности и целесообразности опыта. Методика построена на полевых и лабораторных исследованиях. Содержание хлорофилла-а, хлорофилла-б и каротиноидов выявляли спектрофотометром СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4. С его помощью регистрировали максимумы поглощения для вышеуказанных пигментов при длинах волн: 665 нм, 649 нм, 452,5 нм. Зафиксирована неоднородность пигментного состава листового аппарата учетных растений по всем тестируемым показателям. Отмечены различия, проявившиеся как между сравниваемыми опытными участками, так и на уровне индивидуальной фенотипической изменчивости в границах каждого из них. Установлены средние значения содержания хлорофилла-а, которые составили: от 0,70±0,024 мг/г до 0,92±0,028 мг/г (российская локация) и от 0,86±0,017 мг/г до 0,95±0,042 мг/г (казахстанская локация). Определено наличие хлорофилла-б в хвое растений на обследованных участках: от 0,35±0,018 мг/г до 0,71±0,081 мг/г в российской локации и от 1,13±0,082 мг/г до 1,53±0,085 мг/г (дерево 4) – в казахстанской. Обнаружено присутствие каротиноидов: от 0,32±0,008 мг/г до 0,37±0,012 мг/г и от 0,24±0,021 мг/г до 0,38±0,032 мг/г в российской и казахстанской локации соответственно.

Ключевые слова: биота восточная, интродукция, хвоя, пластидные пигменты, хлорофилл-а, хлорофилл-б, и каротиноиды, географическая изменчивость.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 3, P. 13–22

THE CONTENT AND RATIO OF PLASTID PIGMENTS IN THE NEEDLES OF THE PLATYCLADUS ORIENTALIS DURING INTRODUCTION

B. A. Kentbayeva¹, E. J. Kentbayev¹, N. N. Besschetnova², V. P. Besschetnov², K. P. Muradov²

¹Kazakh National Agrarian Research University
8, Abai Av., Almaty, 050050, Republic of Kazakhstan

²Nizhny Novgorod State Agrotechnological University
97, Gagarina Av., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation
E-mail: lesfak@bk.ru

The relevance of the work is due to the high need for a theoretical justification for optimizing the range of urban green spaces and technologies for their creation. The aim of the research is to establish the pigment composition of the needles of the *Platycladus orientalis* or Oriental thuja (*Platycladus orientalis* (L.) Franco) when introduced into the conditions of the Nizhny Novgorod region (Russia) and the Almaty region (Kazakhstan). The object of the study was 1-year-old needles of biota harvested at the collection sites of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University (Nizhny Novgorod, Russia) and Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan). The geographical coordinates of the locations are 56°14'30" N, 43°57'16" E and 43°14'31" N, 76°57'7" E, the absolute height is 141 m and 872 m, respectively. The methodological approach assumed compliance with the principle of the only logical difference and the requirements for typicality, suitability, reliability, optimality and expediency of the experience. The methodology is based on field and laboratory studies. The content of chlorophyll-a, chlorophyll-b and carotenoids was detected with a SF-2000 spectrophotometer with GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4 software. It was used to

record absorption maxima for the above pigments at wavelengths: 665 nm, 649 nm, 452.5 nm. The heterogeneity of the pigment composition of the leaf apparatus of the accounting plants was recorded for all the tested indicators. The differences were noted both between the compared experimental sites and at the level of individual phenotypic variability within the boundaries of each of them. The average values of chlorophyll-a content were established, which ranged from 0.70 ± 0.024 mg/g to 0.92 ± 0.028 mg/g (Russian location) and from 0.86 ± 0.017 mg/g to 0.95 ± 0.042 mg/g (Kazakhstan location). The presence of chlorophyll-b in the conifers of plants in the surveyed areas was determined: from 0.35 ± 0.018 mg/g to 0.71 ± 0.081 mg/g in the Russian location and from 1.13 ± 0.082 mg/g to 1.53 ± 0.085 mg/g (tree 4) in Kazakhstan. The presence of carotenoids was detected: from 0.32 ± 0.008 mg/g to 0.37 ± 0.012 mg/g and from 0.24 ± 0.021 mg/g to 0.38 ± 0.032 mg/g in the Russian and Kazakh locations, respectively.

Keywords: oriental biota, introduction, needles, plastid pigments, chlorophyll-a, chlorophyll-b and carotenoids, geographical variability.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема загрязнения воздушного бассейна населенных мест, на текущий момент стоит достаточно остро [10; 11; 15; 18]. При этом эшелонированные системы их озеленения неизменно признаются эффективными средствами ослабления экологической напряженности [11; 15; 18]. Их основным элементом рассматриваются насаждения из деревьев и кустарников различного функционала и конструкций. Именно они, по общему мнению, обладают санитарно-гигиеническими, декоративно-эстетическими и рекреационно-бальнеологическими функциями [11; 15; 17; 18; 20; 22]. Для этих целей нередко привлекают наиболее устойчивых и эффективных представителей инорайонной флоры, среди которых весьма перспективен плоскосточник или биота восточная (*Platycladus orientalis* (L.) Franco). Имея жизненную форму дерева или крупного кустарника, она естественно распространена в Китае и Южной Корее [41; 47; 48]. В систематическом отношении представляет собой монотипный род вечнозелёных однодомных хвойных деревьев семейства Кипарисовые (*Cupressaceae* Gray) с раздельнополыми генеративными образованиями [30; 34; 43; 46]. В пределах своего ареала тяготеет к горным местностям, где активно и многопланово используется в хозяйстве, прежде всего, в озеленении и паркостроении, вызывает интерес как плантационная культура [26–28; 35; 36; 41; 43; 45; 47].

Зачастую сдерживающим фактором в активном привлечении перспективных экзотов для решения указанных задач является отсутствие достаточного объема знаний об особенностях их биологии. С учетом этих обстоятельств кафедра лесных культур Нижегородского ГАТУ последовательно изучает их признаки, имеющие хозяйственное, адаптационное и идентификационное значение [4; 8; 12–14; 22]. Детальной проработкой охвачены важнейшие аспекты биологии и физиологии [6; 17], вопросы формирования фотосинтезирующего аппарата [22], его пигментный состав [5; 8], проблемы семенного [7; 19; 29] и вегетативного [9; 12–14; 16; 21] размножения. Вместе с тем обширный перечень вопросов, связанных с их практическим использованием, в регионе пока еще не нашел своего достаточного освещения.

Цель исследований – определить пигментный состав однолетней хвои биоты восточной при интродукции в условия Нижегородской области (Россия) и Алматинской области (Казахстан).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступала 1-летняя хвоя биоты, заготовленная на коллекционных участках Нижегородского государственного агротехнического университета (Среднее Поволжье, г. Нижний Новгород) и Казахского национального аграрного исследовательского университета (Заилийский Алатау, г. Алматы). Географические координаты мест дислокации $56^{\circ}14'30''$ N, $43^{\circ}57'16''$ E и $43^{\circ}14'31''$ N, $76^{\circ}57'7''$ E, абсолютная высота – 141 м и 872 м соответственно. На фоне перепада высот в 731 м вектор территориального перемещения составил $12^{\circ}59'59''$ N, $33^{\circ}0'51''$ E. Исходной теоретической посылкой при выдвижении гипотезы о возможности интродукции биоты восточной (*Platycladus orientalis* (L.) Franco) в Нижегородское Поволжье и успешности её интеграции здесь в хозяйственное использование выступали сведения о местном климате и почвах [1; 2; 3; 23], информация о положительных результатах переноса в регион близкородственных видов и родов семейства кипарисовые (*Cupressaceae* Gray), таких как туя западная (*Thuja occidentalis* L.) [4; 5; 8], тую поникающую (*Thujopsis dolabrata* (Thunb. ex L. f.)) [14] и представителей рода можжевельник (*Juniperus* L.) [21], продемонстрировавших достаточный адаптационный эффект и хорошие результаты семенного и вегетативного размножения [12; 13].

Методологическая база предусматривала соблюдение принципа единственного логического различия и требований к типичности, пригодности, надежности, оптимальности и целесообразности опыта. Согласно принятому подходу на каждом из полигонов установлены общие схемы размещения посадочных мест, одинаковая агротехника создания и выращивания, однотипный вид исходного материала (двухлетние сеянцы). Расположение растений на местности рендомизированное, что позволило реализовать принципы случайности, равномерности и повторности учетных деревьев исследуемого вида. Элиминация дифференцирующего влияния экологических условий (географическая изменчивость в данном контексте не рассматривалась) достигалась сравнением объектов и образцов их тканей только в пределах одного опытного участка. Все вышеперечисленное исключало преднамеренное предоставление какому-либо из объектов преимуществ в условиях произрастания и формирования своих морфометрических и физиологических показателей. Побеги для исследований заготавливали одновременно на двух пространств

венно разделенных участках (Республика Казахстан и Российская Федерация), обеспечивая их одинаковое физиологическое состояние (переход к фазе зимнего покоя). Биологические пробы выделяли в периферии среднего яруса хорошо освещенного участка кроны. При этом не использовали приросты с видимыми аномалиями развития и признаками поражения биотическими или абиотическими факторами. В конечном итоге это обеспечивало исключение дифференцирующего влияния хронографического фактора и других нерегулируемых в опыте случайных эффектов.

Теоретическую основу исследований пигментного комплекса хвои составили работы фундаментального характера [31–33; 37–40; 42; 44]. Аппаратную базу представлял спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4. Значения максимумов поглощения хлорофилла-*a*, хлорофилла-*b* и каротиноидов фиксировали при длинах волн 665 нм, 649 нм и 452,5 нм соответственно. В связи с возможностью некоторого смещения максимумов в зависимости от оптических свойств экстрагента [24; 25; 32; 33; 37; 44] готовили его эталон. Вычисление концентрации указанных веществ в мг/г сырой массы хвои вели по уравнениям Ветштейна и Хольма для 96 % этанола [24; 25; 32; 33; 44]. Массу экстракционной навески определяли на прецизионных аналитических весах Acculab Vicon VIC-300d3 с точностью до 0,001 г. Содержание пигментов на единицу массы сухого вещества вычисляли с определением его доли в каждой навеске после высушивания хвои до абсолютно сухого состояния в шкафах HS 61 А. Наряду с параметрами непосредственного учета, такими как собственно показатели содержания пластидных пигментов, использовали такой производный от них признак, как суммарное содержание хлорофилла-*a* и хло-

рофилла-*b*. Принятый методический подход традиционен в лесоводственных и биологических исследованиях пигментного состава фотосинтезирующего аппарата [5; 8; 32; 33; 39].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Расположенные на опытных участках особи биоты восточной (биологический возраст 7 лет) демонстрировали заметную фенотипическую неоднородность в содержании и соотношении светочувствительных пигментов, что зафиксировано по всем анализируемым признакам как между сравниваемыми между собой опытными участками, так и на уровне индивидуальной изменчивости в границах каждого из них (табл. 1–4).

В частности, по одному из значимых показателей пигментного состава хвои учетных деревьев – содержанию хлорофилла-*a* (см. табл. 1) средние значения составили от $0,70 \pm 0,024$ мг/г до $0,92 \pm 0,028$ мг/г (российская локация) и от $0,86 \pm 0,017$ мг/г до $0,95 \pm 0,042$ мг/г (казахстанская локация). Такое соотношение средних величин сформировало незначительное превышение в 1,31 раза или на 0,22 мг/г (Россия) и в 1,11 раза или на 0,10 мг/г (Казахстан) по участкам соответственно. Обобщенное для всего массива данных среднее (вариант Total₀) установилось на уровне $0,85 \pm 0,012$ мг/г. При этом общий диапазон лимитов ($\Delta \text{lim} = \text{max} - \text{min}$) был равен 0,48 мг/г ($\text{max} = 1,12$ мг/г; $\text{min} = 0,64$ мг/г), а их отношение – 1,75.

Содержание хлорофилла-*b* также вполне обоснованно признают одним из важнейших физиологических показателей фотосинтетической способности растений, определяющим, в конечном итоге, их биологическую продуктивность, репродуктивную активность, резистентность, формирование надземной части и стволовой части древесины (см. табл. 2).

Таблица 1
Содержание хлорофилла-*a* в хвое биоты восточной (мг/г сухой массы)¹

Пробы	N	M	СКО	max	min	Δlim	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
Опытный участок на территории Нижегородского ГАТУ (Россия)										
Дерево 1	5	0,70	0,05	0,76	0,64	0,12	0,024	7,78	28,73	3,48
Дерево 2	5	0,87	0,07	0,98	0,80	0,18	0,032	8,16	27,40	3,65
Дерево 3	5	0,82	0,03	0,85	0,79	0,06	0,013	3,61	61,92	1,61
Дерево 4	5	0,79	0,08	0,86	0,70	0,16	0,036	10,06	22,22	4,50
Дерево 5	5	0,92	0,06	1,02	0,85	0,17	0,028	6,86	32,60	3,07
Total ₁	25	0,82	0,09	1,02	0,64	0,38	0,019	11,44	43,69	2,29
Опытный участок на территории КазНАИУ (Казахстан)										
Дерево 1	5	0,86	0,04	0,90	0,81	0,10	0,017	4,43	50,46	1,98
Дерево 2	5	0,86	0,04	0,90	0,79	0,10	0,018	4,72	47,33	2,11
Дерево 3	5	0,95	0,09	1,12	0,88	0,24	0,042	9,97	22,43	4,46
Дерево 4	5	0,86	0,04	0,92	0,81	0,11	0,020	5,19	43,05	2,32
Дерево 5	5	0,88	0,03	0,91	0,84	0,07	0,013	3,20	69,78	1,43
Total ₂	25	0,88	0,06	1,12	0,79	0,33	0,012	7,07	70,68	1,41
Обобщенное значение										
Total ₀	50	0,85	0,08	1,12	0,64	0,48	0,012	9,99	70,75	1,41

¹Статистики: N – число учетов значений признака; M – среднее арифметическое; СКО – среднеквадратическое отклонение; max – абсолютный максимум значений; min – абсолютный минимум значений; Δlim – диапазон абсолютных значений; $\pm m$ – ошибка репрезентативности выборочного среднего; Cv – коэффициент вариации, %; t – опытное значение критерия Стьюдента ($t_{05} = 2,064$; $t_{01} = 2,797$); P – относительная ошибка или точность опыта, %.

Таблица 2**Содержание хлорофилла-*b* в хвое биоты восточной (мг/г сухой массы)¹**

Пробы	N	M	СКО	max	min	Δlim	±m	Cv, %	t	P, %
Опытный участок на территории Нижегородского ГАТУ (Россия)										
Дерево 1	5	0,35	0,04	0,41	0,31	0,10	0,018	11,31	19,76	5,06
Дерево 2	5	0,71	0,18	1,00	0,53	0,47	0,081	25,67	8,71	11,48
Дерево 3	5	0,47	0,04	0,53	0,43	0,10	0,016	7,59	29,46	3,39
Дерево 4	5	0,44	0,08	0,52	0,33	0,18	0,038	19,29	11,59	8,63
Дерево 5	5	0,67	0,09	0,77	0,51	0,26	0,042	14,05	15,91	6,28
Total ₁	25	0,53	0,17	1,00	0,31	0,69	0,034	31,77	15,74	6,35
Опытный участок на территории КазНАИУ (Казахстан)										
Дерево 1	5	1,45	0,11	1,56	1,32	0,24	0,048	7,34	30,45	3,28
Дерево 2	5	1,48	0,21	1,78	1,25	0,53	0,094	14,11	15,84	6,31
Дерево 3	5	1,13	0,18	1,33	0,96	0,37	0,082	16,31	13,71	7,30
Дерево 4	5	1,53	0,19	1,76	1,28	0,48	0,085	12,38	18,06	5,54
Дерево 5	5	1,44	0,20	1,70	1,18	0,53	0,091	14,14	15,82	6,32
Total ₂	25	1,41	0,22	1,78	0,96	0,82	0,044	15,73	31,78	3,15
Обобщенное значение										
Total ₀	50	0,97	0,48	1,78	0,31	1,47	0,068	50,06	14,13	7,08

¹Статистики: N – число учетов значений признака; M – среднее арифметическое; СКО – среднеквадратическое отклонение; max – абсолютный максимум значений; min – абсолютный минимум значений; Δlim – диапазон абсолютных значений; ±m – ошибка репрезентативности выборочного среднего; Cv – коэффициент вариации, %; t – опытное значение критерия Стьюдента (t₀₅ = 2,064; t₀₁ = 2,797); P – относительная ошибка или точность опыта, %.

Таблица 3**Суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* в хвое (мг/г сухой массы)¹**

Пробы	N	M	СКО	max	min	Δlim	±m	Cv, %	t	P, %
Опытный участок на территории Нижегородского ГАТУ (Россия)										
Дерево 1	5	1,05	0,09	1,17	0,95	0,21	0,041	8,80	25,41	3,93
Дерево 2	5	1,57	0,25	1,98	1,33	0,65	0,111	15,81	14,14	7,07
Дерево 3	5	1,29	0,05	1,38	1,26	0,12	0,022	3,76	59,52	1,68
Дерево 4	5	1,23	0,16	1,36	1,03	0,33	0,073	13,30	16,81	5,95
Дерево 5	5	1,59	0,13	1,70	1,37	0,34	0,058	8,20	27,27	3,67
Total ₁	25	1,35	0,25	1,98	0,95	1,02	0,050	18,72	26,70	3,74
Опытный участок на территории КазНАИУ (Казахстан)										
Дерево 1	5	2,30	0,12	2,46	2,18	0,28	0,053	5,16	43,30	2,31
Дерево 2	5	2,35	0,19	2,58	2,13	0,45	0,084	8,03	27,84	3,59
Дерево 3	5	2,08	0,24	2,44	1,89	0,55	0,108	11,59	19,30	5,18
Дерево 4	5	2,39	0,20	2,67	2,16	0,52	0,088	8,24	27,15	3,68
Дерево 5	5	2,32	0,21	2,57	2,02	0,55	0,096	9,25	24,18	4,14
Total ₂	25	2,29	0,21	2,67	1,89	0,78	0,042	9,18	54,46	1,84
Обобщенное значение										
Total ₀	50	1,82	0,53	2,67	0,95	1,72	0,075	29,05	24,34	4,11

¹Статистики: N – число учетов значений признака; M – среднее арифметическое; СКО – среднеквадратическое отклонение; max – абсолютный максимум значений; min – абсолютный минимум значений; Δlim – диапазон абсолютных значений; ±m – ошибка репрезентативности выборочного среднего; Cv – коэффициент вариации, %; t – опытное значение критерия Стьюдента (t₀₅ = 2,064; t₀₁ = 2,797); P – относительная ошибка или точность опыта, %.

Таблица 4**Содержание каротиноидов в хвое биоты восточной (мг/г сухой массы)¹**

Пробы	N	M	СКО	max	min	Δlim	±m	Cv, %	t	P, %
Опытный участок на территории Нижегородского ГАТУ (Россия)										
Дерево 1	5	0,32	0,02	0,34	0,29	0,05	0,008	5,92	37,79	2,65
Дерево 2	5	0,36	0,02	0,39	0,34	0,04	0,009	5,92	37,76	2,65
Дерево 3	5	0,35	0,01	0,36	0,33	0,03	0,006	3,59	62,23	1,61
Дерево 4	5	0,33	0,04	0,36	0,28	0,08	0,016	11,02	20,29	4,93
Дерево 5	5	0,37	0,03	0,40	0,34	0,07	0,012	7,47	29,93	3,34
Total ₁	25	0,34	0,03	0,40	0,28	0,12	0,006	8,47	59,06	1,69

Окончание таблицы

Пробы	N	M	СКО	max	min	Δlim	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
Опытный участок на территории КазНАИУ (Казахстан)										
Дерево 1	5	0,31	0,06	0,37	0,23	0,14	0,026	18,63	12,00	8,33
Дерево 2	5	0,24	0,05	0,33	0,21	0,11	0,021	19,47	11,48	8,71
Дерево 3	5	0,38	0,07	0,47	0,27	0,20	0,032	19,10	11,71	8,54
Дерево 4	5	0,28	0,09	0,36	0,17	0,19	0,040	32,40	6,90	14,49
Дерево 5	5	0,31	0,09	0,41	0,21	0,19	0,039	28,03	7,98	12,54
Total ₂	25	0,30	0,08	0,47	0,17	0,30	0,016	26,59	18,81	5,32
Обобщенное значение										
Total ₀	50	0,32	0,06	0,47	0,17	0,30	0,009	19,53	36,21	2,76

¹Статистики: N – число учетов значений признака; M – среднее арифметическое; СКО – среднеквадратическое отклонение; max – абсолютный максимум значений; min – абсолютный минимум значений; Δlim – диапазон абсолютных значений; $\pm m$ – ошибка репрезентативности выборочного среднего; Cv – коэффициент вариации, %; t – опытное значение критерия Стьюдента ($t_{05} = 2,064$; $t_{01} = 2,797$); P – относительная ошибка или точность опыта, %.

На обследованных участках он принимал значения от $0,35 \pm 0,018$ мг/г (дерево 1) до $0,71 \pm 0,081$ мг/г (дерево 2) в российской локации и от $1,13 \pm 0,082$ мг/г (дерево 3) до $1,53 \pm 0,085$ мг/г (дерево 4) в казахстанской локации. Такое соотношение средних оценок сформировало ощутимое превышение в 2,01 раза или на 0,35 мг/г (Россия) и в 1,36 раза или на 0,41 мг/г (Казахстан) по участкам соответственно. Обобщенное для всего массива данных среднее (вариант Total₀) установилось на рубеже $0,97 \pm 0,068$ мг/г при общем диапазоне лимитов ($\Delta\text{lim} = \text{max} - \text{min}$), равном 1,47 мг/г ($\text{max} = 1,78$ мг/г; $\text{min} = 0,31$ мг/г), а их отношение – 5,70.

Суммарное содержание хлорофилла-а и хлорофилла-в также вполне обоснованно относят к важнейшим физиологическим показателям фотосинтеза растений (см. табл. 3). На обследованных участках он принимал значения от $1,05 \pm 0,041$ мг/г (дерево 1) до $1,59 \pm 0,058$ мг/г (дерево 5) в российской локации и от $2,08 \pm 0,108$ мг/г (дерево 3) до $2,39 \pm 0,088$ мг/г (дерево 4) в казахстанской локации. Такое соотношение средних оценок сформировало превышение в 1,51 раза или на 0,53 мг/г (Россия) и в 1,15 раза или на 0,31 (Казахстан) по участкам соответственно. Обобщенное для всего массива данных среднее (вариант Total₀) достигло $1,82 \pm 0,0752$ мг/г. При этом общий диапазон лимитов ($\Delta\text{lim} = \text{max} - \text{min}$) был равен 1,72 мг/г ($\text{max} = 2,67$ мг/г; $\text{min} = 0,95$ мг/г), а их отношение – 2,80.

Общее содержание каротиноидов в тканях хвои весьма важно в обеспечении наиболее полного и эффективного использования энергии светового потока в формировании энергетических ресурсов и потенциала аккумуляции пластических веществ (см. табл. 4). На обследованных участках оно принимало значения от $0,32 \pm 0,008$ мг/г (дерево 1) до $0,37 \pm 0,012$ мг/г (дерево 5) в российской локации и от $0,24 \pm 0,021$ мг/г (дерево 2) до $0,38 \pm 0,032$ мг/г (дерево 3) в казахстанской локации. В этом случае наибольшие оценки превысили соответствующие минимумы в 1,15 раза или на 0,05 мг/г (Россия) и в 1,56 раза или на 0,14 мг/г (Казахстан) по участкам соответственно. Рассчитанное для всех опытных участков среднее (вариант Total₀) оказалось равными $0,32 \pm 0,009$ мг/г, в то время как диапазон лимитов для них ($\Delta\text{lim} = \text{max} - \text{min}$) был

равен 0,30 мг/г ($\text{max} = 0,47$ мг/г; $\text{min} = 0,17$ мг/г), а их отношение – 2,77.

ВЫВОДЫ

1. Результаты статистического анализа свидетельствуют о заметном влиянии различий в лесорастительных условиях, сформировавшихся в географически удаленных локациях, на характеристики пигментного состава однолетней хвои биоты восточной. Отмеченная реакция сравниваемых растений на комплекс экологических факторов в местах их произрастания, соответствует существующим представлениям о роли среды в формировании адаптаций интродуцентов и о значительной экологической пластичности биоты восточной.

2. Сведенное к минимуму в границах одного участка влияние факторов среды на проявление различий по анализируемым признакам позволяет объяснять их проявление спецификой генотипов изучаемых растений семенного происхождения.

3. Характер развития сеянцев биоты восточной в разных лесорастительных условиях и режимы формирования ими пигментного состава хвои указывают на достаточный уровень адаптированности данного вида к условиям произрастания в местах расселения – в Нижегородском Поволжье и предгорной зоне Заилийского Алатау.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Аверкиев Д. С. История развития растительного покрова Горьковской области и ее ботанико-географическое деление // Ученые записки Горьковского университета. Горький, 1954. Вып. XXXV. С. 119–136.
2. Алехин В. В. Объяснительная записка к геоботаническим картам (современной и восстановленной) бывшей Нижегородской губернии (в масштабе 1:500.000). Ленинград – Горький: Горьковский государственный университет – 1 картографическая фабрика ВКТ (тип. 1 картогр. фабрики ВКТ). 1935. 67 с.
3. Показатели химического и гранулометрического состава дерново-подзолистых почв под сосновыми лесами на территории заповедника «Керженский» Нижегородской области / В. П. Бессчетнов, Н. Н. Бес-

счетнова, О. Ю. Храмова, Л. И. Клишина, Н. Д. Печникова // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2 (26). С. 34–42.

4. Параметры шишек декоративных форм и сортов туи в условиях Нижегородского Поволжья при интродукции / В. П. Бессчетнов, Н. Н. Бессчетнова, А. И. Ханявин, М. А. Акулинина // Аграрная наука – сельскому хозяйству : сборник материалов : в 2 кн., кн. 1. XVII Международная научно-практическая конференция: город Барнаул: 9–10 февраля 2022 года. Барнаул : Алтайский государственный аграрный университет, 2022. С. 323–325.

5. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П., Котынова М. Ю. Сезонный характер содержания пигментов в хвое туи западной в условиях Нижегородской области // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2022. № 3. С. 38–58. DOI 10.21178/2079–6080.2022.3.3.

6. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea A. Dietr.*) в условиях интродукции / Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, А. В. Кулькова, И. В. Мишукова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 4. С. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.

7. Рост сеянцев ели Шренка (*Picea schrenkiana*) в условиях интродукции в Нижегородскую область / Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, Б. А. Кентбаева, Е. Ж. Кентбаев, Е. И. Мамонов, В. Е. Запольнов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 238. С. 67–87. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.67-87.

8. Пигментный состав хвои туи западной (*Thuja occidentalis L.*) в озеленительных посадках г. Нижнего Новгорода / Н. Н. Бессчетнова, М. Ю. Котынова, Е. Ж. Кентбаев, Б. А. Кентбаева // Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии : материалы международной научно-практической конференции: город Нижний Новгород, 26 сентября 2019 года / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2019. С. 132–138.

9. Водоспещивность регенеративной способности черенков тиса при интродукции в Нижегородскую область / А. В. Вышегородцев, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов, А. И. Широков // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 2. С. 118–132. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-2-118-132.

10. 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. Замолотчиков, А. А. Пряжников. Москва : Центр экологической политики России, 1995. 156 с.

11. Коммонер Б. Замыкающийся круг: Природа, человек, технология. Ленинград : Гидрометеиздат, 1974. 279 с.

12. Котынова М. Ю., Бессчетнов В. П., Регенерационная способность представителей рода туя при укоренении черенков в теплицах // Современное лесное хозяйство – проблемы и перспективы : матер. Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию

«ВНИИЛГИСбиотех», г. Воронеж, 3–4 декабря 2020 г. Воронеж : Истоки, 2020. С. 40–43.

13. Котынова М. Ю., Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Укоренение черенков декоративных форм туи западной (*Thuja occidentalis L.*) в теплицах // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : матер. XVIII Междунар. науч.-тех. конф. Вологда, 1 декабря 2020 г. / отв. ред. С. М. Хамитова. Вологда : ВоГУ, 2020. С. 147–149.

14. Корреляция показателей ризогенеза и пострегенеративного развития черенков туевого поникающего Алмата / В. С. Кудряшов, Е. С. Петрова, Н. Н. Бессчетнова, В. П. Бессчетнов // Лесное хозяйство: актуальные проблемы и пути их решения : сб. науч. ст. по матер. Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. : г. Нижний Новгород, 25 ноября 2022 г. / под общ. ред. Н. Н. Бессчетновой. Нижний Новгород : Нижегородская ГСХА, 2022. С. 302–314.

15. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. Москва : Наука, 1974. 125 с.

16. Кулькова А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Применение стимулирующей обработки в укоренении черенков ели Коники // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 232. С. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232.79-91.

17. Локтева А. В., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Биологические особенности представителей рода ель (*Picea A. Dietr.*) в структуре // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики – 2023 : материалы XII Международной научно-практической конференции, Саратов – Нижний Новгород, 06–07 апреля 2023 года. Саратов – Нижний Новгород : Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова, Нижегородский ГАТУ, 2023. С. 7–21.

18. Ляховенко О. И., Чулков Д. И. Основные экологические проблемы российских городов и стратегия их разрешения // Русская политология – Russian political science. 2017. № 3 (4). С. 21–26.

19. Матыбаев А. У., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Параметры сеянцев ели Шренка (*Picea schrenkiana*) при интродукции в Нижегородскую область // Аграрная наука – сельскому хозяйству : сборник материалов: в 2 кн., кн. 2. XVIII Международная научно-практическая конференция, г. Барнаул, 9–10 февраля 2023 г. Барнаул : Алтайский государственный аграрный университет, 2023. С. 38–39.

20. Ньюмен А. Легкие нашей планеты. Москва : Мир, 1989. 335 с.

21. Оганян Т. А., Бессчетнов В. П. Эффективность черенкования видов из рода можжевельник в защищенном грунте // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. научных трудов по итогам международной научно-практической конференции / под общ. ред. Е. А. Памфилова. Брянск, 1–30 ноября 2020 г. Вып. 58. Брянск : БГИТУ, 2020. С. 120–124.

22. Паникаров И. И., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Взаимозависимость параметров хвои ели колючей в определении её пылезадерживающей способности // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 6. С. 495–503. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-6-495-503.

23. Полуяхтов К. К. Лесорастительное районирование Горьковской // Биологические основы повышения продуктивности и охраны лесных, луговых и водных фитоценозов Горьковского Поволжья. Горький : ГГУ, 1974. С. 4–20.
24. Шлык А. А. О спектрофотометрическом определении хлорофиллов *a* и *b* // Биохимия. 1968. Т. 33, вып. 2. С. 275–285.
25. Шлык А. А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений / под ред. О. А. Павлиновой. Москва : Наука, 1971. С. 154–170.
26. Altaf R. Altaf S., Hussain M., Shah R. U., Ullah R., Ullah M. I., Rauf A., Ansari M. J., Alharbi S. A., Alfarraj S., Datta R. Heavy metal accumulation by roadside vegetation and implications for pollution control // Plos One. 2021. Vol. 16, Is. 5. Pp. e0249147. DOI: 10.1371/journal.pone.0249147.
27. Belkayali N. Gur M. Heavy Metal Accumulation in Shrubs Used in Roadside Planting // Global NEST Journal. 2020. Vol. 22, Is. 3. Pp. 297–305. DOI: 10.30955/gnj.003140.
28. Metabolic profiling reveals key metabolites regulating adventitious root formation in ancient *Platycladus orientalis* cuttings / C. Ermei, G. Wei, D. Yao, J. Zirui, Z. Xiulian, J. Zeping, Z. Li, Z. Jin, L. Jianfeng // Frontiers in Plant Science: Sec. Plant Physiology. 2023. Vol. 14, article numb. 14:1192371. Pp. 01–12. DOI: 10.3389/fpls.2023.1192371.
29. Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment / A. V. Kul'kova, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, Y. Zh. Kentbaev, B. A. Kentbaeva // Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal. 2022. № 4. Pp. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51.
30. Li X.-W., Jia L.-M., Li G.-D., Wang P., Hao X.-F. Influence of tending on biodiversity of shrub and herbage in *Platycladus orientalis* recreational forest in Beijing lower mountainous area // Journal of Beijing Forestry University. 2009. Vol. 31. No. 6. Pp. 193–197. DOI: 10.13332/j.1000-1522.2009.06.036.
31. 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.1365-3113x.1992.t01-4-00999.x.
32. Lichtentaller H. K. Chlorophyll *a* and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in Enzymology. 1987. Vol. 148: Plant Cell Membranes. Pp. 350–382.
33. Lichtentaller 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.
34. Liu L.-N., Xu C.-Y., Duan Y.-H., Zhou R.-Z., Dai X.-Y. Root morphology of three greening conifer species in Beijing // Journal of Beijing Forestry University. 2008. Vol. 30. No. 1. Pp. 34–39. DOI: 10.13332/j.1000-1522.2008.01.018.
35. Ma F.-F., Jia L.-M., Duan J., Zhou X. Compilation of site index table for plantations of *Platycladus orientalis* in Beijing mountainous area // Journal of Beijing Forestry University. 2008. Vol. 30. No. 6. Pp. 78–82. DOI: 10.13332/j.1000-1522.2008.06.006.
36. Geographic variation and provenance selection of *Platycladus orientalis* in a 19-year-old testing plantation / A.-H. Mao, J.-X. Li, C.-Y. Zhang, Q.-J. Li, S. Wang, X.-Y. Chen, Y. Li // Journal of Beijing Forestry University. 2010. Vol. 32. No. 1. Pp. 63–68. DOI: 10.13332/j.1000-1522.2010.01.020.
37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. 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.
41. Shi Y., Yu X.-X., Yue Y.-J., Wang X.-P., Qin Y.-S., Chen J.-Q. Intraspecific competitions in *Platycladus orientalis* natural forests in Beijing mountainous // Journal of Beijing Forestry University. 2008. Vol. 30 (suppl. 2). Pp. 36–40. DOI: 13332/j.1000-1522.2008.s2.014.
42. Skuodiene L. Quantitative changes in amino acid proline and chlorophyll in the needles of *Picea abies* Karst. (L.) during stress and adaptation // Biologija / Lithuanian academy of sciences, Vilnius university. 2001. No. 2. Pp. 54–56.
43. Wang Y., Chen L.-H., Yu X.-X., Yang Q.-H., Yang X.-B., Xiao Y., Wang X.-P. Comparison of transpiration characteristics of two typical coniferous species in Beijing mountainous area // Journal of Beijing Forestry University. 2008. Vol. 30 (suppl. 2). Pp. 193–196. DOI: 13332/j.1000-1522.2008.s2.034.
44. 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.
45. Zhao K., Li J., Xu C. Coupling relationship between stand structure and color patch of *Platycladus orientalis* plantations // Journal of Beijing Forestry University. 2019. Vol. 41. No. 1. Pp. 82–91. DOI: 10.13332/j.1000-1522.20180316.
46. Zhao T.-L. Niche characteristics of dominants in *Platycladus orientalis* forests in Yanshan Nature Reserve, Shanxi // Journal of Beijing Forestry University. 2015. Vol. 37. No. 8. Pp. 24–30. DOI: 10.13332/j.1000-1522.20150039.

47. Quantitative relationships of intra- and inter-specific competition of *Platycladus orientalis* plantation in Beijing Xishan National Forest Park / R.-W. Zhou, Y.-T. An, H. Wang, Y.-M. Ren, Q.-F. Wang, B.-H. He, P.-F. Chen, D.-Y. Lin // *Journal of Beijing Forestry University*. 2010. Vol. 32. No. 6. Pp. 27–32. DOI:10.13332/j.1000-1522.2010.06.020.

48. Zhou J.-C., Ma L.-Y. Effects of fertilization on the growth of trees in forestland converted from farmland in Pingshan County, Hebei Province of northern China // *Journal of Beijing Forestry University*. 2008. Vol. 30. No. 6. Pp. 64–70. DOI:10.13332/j.1000-1522.2008.06.025.

REFERENCES

1. Averkiev D. S. Istoriya razvitiya rastitel'nogo pokrova Gor'kovskoy oblasti i ee botanikogeograficheskoe delenie // *Uchenye zapiski Gor'kovskogo universiteta. Gor'kij*, 1954. Vyp. XXXV. S. 119–136.

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 (tip. 1 kartogr. fabriki VKT). 1935. 67 s.

3. Pokazateli himicheskogo i granulometricheskogo sostava dernovo-podzolistyh pochv pod osnovnymi lesami na territorii zapovednika "Kerzhenskij" Nizhegorodskoj oblasti / V. P. Besschetnov, N. N. Besschetnova, O. Yu. Hramova, L. I. Klishina, N. D. Pechnikova // *Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. 2020. № 2 (26). S. 34–42.

4. Parametry shishek dekorativnyh form i sortov tui v usloviyah Nizhegorodskogo Povolzh'ya pri introdukcii / V. P. Besschetnov, N. N. Besschetnova, A. I. Hanyavin, M. A. Akulinina // *Agrarnaya nauka – sel'skomu hozyajstvu : sbornik materialov : v 2 kn., kn. 1. XVII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya: gorod Barnaul: 9–10 fevralya 2022 goda. Barnaul : Altajskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet*, 2022. S. 323–325.

5. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P., Kotynova M. Yu. Sezonnyj harakter soderzhaniya pigmentov v hvoe tui zapadnoj v usloviyah Nizhegorodskoj oblasti // *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozyajstva*. 2022. № 3. S. 38–58. DOI 10.21178/2079–6080.2022.3.3.

6. Soderzhanie krahmala v tkanyah pobegov raznyh vidov eli (*Picea A. Dietr.*) v usloviyah introdukcii / N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, A. V. Kul'kova, I. V. Mishukova // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2017. № 4. S. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57.

7. Rost seyancev eli Shrenka (*Picea schrenkiana*) v usloviyah introdukcii v Nizhegorodskuyu oblast' / N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, B. A. Kentbaeva, E. Zh. Kentbaev, E. I. Mamonov, V. E. Zapol'nov // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2022. Vyp. 238. S. 67–87. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.67-87.

8. Pigmentnyj sostav hvoi tui zapadnoj (*Thuja occidentalis L.*) v ozelenitel'nyh posadkah g. Nizhnego Novgoroda / N. N. Besschetnova, M. Yu. Kotynova, E. Zh. Kentbaev, B. A. Kentbaeva // *Ekonomicheskie*

aspekty razvitiya APK i lesnogo hozyajstva. Lesnoe hozyajstvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii : materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: gorod Nizhnij Novgorod, 26 sentyabrya 2019 goda / pod obshch. red. N. N. Besschetnovoj. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA, 2019. S. 132–138.

9. Vidospecifichnost' regenerativnoj sposobnosti cherenkov tisa pri introdukcii v Nizhegorodskuyu oblast' / A. V. Vyshegorodcev, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, A. I. Shirokov // *Hvojnye boreal'noj zony*. 2023. T. XLI, № 2. S. 118–132. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-2-118-132.

10. Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekisllogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii / A. S. Isaev, G. N. Korovin, V. I. Suhikh, S. P. Titov, A. I. Utkin, A. A. Golub, D. G. Zamolodchikov, A. A. Pryazhnikov. Moskva : Centr ekologicheskoy politiki Rossii, 1995. 156 s.

11. Kommoner B. Zamykayushchijsya krug: Priroda, chelovek, tekhnologiya. Leningrad : Gidrometeoizdat, 1974. 279 s.

12. Kotynova M. Yu., Besschetnov V. P., Regeneracionnaya sposobnost' predstavitelej roda tuya pri ukorenении cherenkov v teplicah // *Sovremennoe lesnoe hozyajstvo – problemy i perspektivy : mater. Vseross. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoj 50-letiyu "VNIILGISbiotekh", g. Voronezh, 3–4 dekabrya 2020 g. Voronezh : Istoki*, 2020. S. 40–43.

13. Kotynova M. YU., Besschetnov V. P., Besschetnova N. N. Ukorenenie cherenkov dekorativnyh form tui zapadnoj (*Thuja occidentalis L.*) v teplicah // *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa : mater. XVIII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Vologda, 1 dekabrya 2020 g. / otv. red. S. M. Hamitova. Vologda : VoGU*, 2020. S. 147–149.

14. Korrelyaciya pokazatelej rizogeneza i postregenerativnogo razvitiya cherenkov tuevika ponikayushchego Almaty / V. S. Kudryashov, E. S. Petrova, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov // *Lesnoe hozyajstvo: aktual'nye problemy i puti ih resheniya : sb. nauch. st. po mater. Vseros. (nac.) nauch.-prakt. konf. : g. Nizhnij Novgorod, 25 noyabrya 2022 g. / pod obshch. red. N. N. Besschetnovoj. Nizhnij Novgorod : Nizhegorodskaya GSKHA*, 2022. S. 302–314.

15. Kulagin Yu. Z. Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda. Moskva : Nauka, 1974. 125 s.

16. Kul'kova A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Primenenie stimuliruyushchej obrabotki v ukorenении cherenkov eli Konika // *Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*. 2020. Vyp. 232. S. 79–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.232. 79-91.

17. Lokteva A. V., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Biologicheskie osobennosti predstavitelej roda el' (*Picea A. Dietr.*) v strukture // *Landshaftnaya arhitektura i prirodoobustrojstvo: ot proekta do ekonomiki – 2023 : materialy XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Saratov – Nizhnij Novgorod, 06–07 aprelya 2023 goda. Saratov – Nizhnij Novgorod : Saratovskij GAU im. N. I. Vavilova, Nizhegorodskij GATU*, 2023. S. 7–21.

18. Lyahovenko O. I., Chulkov D. I. Osnovnye ekologicheskie problemy rossijskih gorodov i strategiya ih

razresheniya // Russkaya politologiya – Russian political science. 2017. № 3 (4). S. 21–26.

19. Matybaev A. U., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Parametry seyancev eli Shrenka (*Picea schrenkiana*) pri introdukcii v Nizhegorodskuyu oblast' // Agrarnaya nauka – sel'skomu hozyajstvu : sbornik materialov: v 2 kn., kn. 2. XVIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, g. Barnaul, 9–10 fevralya 2023 g. Barnaul : Altajskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2023. S. 38–39.

20. N'yumen A. Legkie nashej planety. Moskva : Mir, 1989. 335 s.

21. Oganyan T. A., Besschetnov V. P. Effektivnost' cherenkovaniya vidov iz roda mozhzhevel'nik v zashchishchennom grunte // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa : sb. nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii / pod obshch. red. E. A. Pamfilova. Bryansk, 1–30 noyabrya 2020 g. Vyp. 58. Bryansk : BGITU, 2020. S. 120–124.

22. Panikarov I. I., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Vzaimozavisimost' parametrov hvoi eli kolyuchej v opredelenii eyo pylezaderzhivayushchej sposobnosti // Hvojnye boreal'noj zony. 2023. T. XLI, № 6. S. 495–503. DOI: 10.53374/1993-0135-2023-6-495-503.

23. Poluyahtov K. K. Lesorastitel'noe rajonirovanie Gor'kovskoj // Biologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti i ohrany lesnyh, lugovyh i vodnyh fitocenozov Gor'kovskogo Povolzh'ya. Gor'kij : GGU, 1974. S. 4–20.

24. Shlyk A. A. O spektrofotometricheskom opredelenii hlorofillov a i b // Biohimiya. 1968. T. 33, vyp. 2. S. 275–285.

25. Shlyk A. A. Opredelenie hlorofilla i karotinoidov v ekstraktah zelenykh list'ev // Biohimicheskie metody v fiziologii rastenij / pod red. O. A. Pavlinovoj. Moskva : Nauka, 1971. S. 154–170.

26. Altaf R. Altaf S., Hussain M., Shah R. U., Ullah R., Ullah M. I., Rauf A., Ansari M. J., Alharbi S. A., Alfarraj S., Datta R. Heavy metal accumulation by roadside vegetation and implications for pollution control // Plos One. 2021. Vol. 16, Is. 5. Pp. e0249147. DOI: 10.1371/journal.pone.0249147.

27. Belkayali N. Gur M. Heavy Metal Accumulation in Shrubs Used in Roadside Planting // Global NEST Journal. 2020. Vol. 22, Is. 3. Pp. 297–305. DOI: 10.30955/gnj.003140.

28. Metabolic profiling reveals key metabolites regulating adventitious root formation in ancient *Platycladus orientalis* cuttings / C. Ermei, G. Wei, D. Yao, J. Zirui, Z. Xiulian, J. Zeping, Z. Li, Z. Jin, L. Jianfeng // Frontiers in Plant Science: Sec. Plant Physiology. 2023. Vol. 14, article numb. 14:1192371. Pp. 01–12. DOI: 10.3389/fpls.2023.1192371.

29. Growth of Schrenk's Spruce (*Picea schrenkiana*) Seedlings Related to the Pre-Sowing Stimulating Seed Treatment / A. V. Kul'kova, N. N. Besschetnova, V. P. Besschetnov, Y. Zh. Kentbaev, B. A. Kentbaeva // Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal. 2022. № 4. Pp. 39–51. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-4-39-51.

30. Li X.-W., Jia L.-M., Li G.-D., Wang P., Hao X.-F. Influence of tending on biodiversity of shrub and herbage in *Platycladus orientalis* recreational forest in Beijing

lower mountainous area // Journal of Beijing Forestry University. 2009. Vol. 31. No. 6. Pp. 193–197. DOI: 10.13332/j.1000-1522.2009.06.036.

31. Lidholm J., Gustafsson P. A functional promoter shift of a chloroplast gene: a transcriptional fusion between a novel psbAgene copy and the trnK(UUU) gene in *Pinus contorta* // The Plant Journal. 1992. Vol. 2, Is. 6. Pr. 875–886. DOI: 10.1046/j.1365-313x.1992.t01-4-00999.x.

32. Lichtentaller H. K. Chlorophyll a and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in Enzymology. 1987. Vol. 148: Plant Cell Membranes. Pp. 350–382.

33. Lichtenthaller 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.

34. Liu L.-N., Xu C.-Y., Duan Y.-H., Zhou R.-Z., Dai X.-Y. Root morphology of three greening conifer species in Beijing // Journal of Beijing Forestry University. 2008. Vol. 30. No. 1. Pp. 34–39. DOI: 10.13332/j.1000-1522.2008.01.018.

35. Ma F.-F., Jia L.-M., Duan J., Zhou X. Compilation of site index table for plantations of *Platycladus orientalis* in Beijing mountainous area // Journal of Beijing Forestry University. 2008. Vol. 30. No. 6. Pp. 78–82. DOI: 10.13332/j.1000-1522.2008.06.006.

36. Geographic variation and provenance selection of *Platycladus orientalis* in a 19-year-old testing plantation / A.-H. Mao, J.-X. Li, C.-Y. Zhang, Q.-J. Li, S. Wang, X.-Y. Chen, Y. Li // Journal of Beijing Forestry University. 2010. Vol. 32. No. 1. Pp. 63–68. DOI: 10.13332/j.1000-1522.2010.01.020.

37. 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.

38. 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.

39. 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.

40. 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.

41. Shi Y., Yu X.-X., Yue Y.-J., Wang X.-P., Qin Y.-S., Chen J.-Q. Intraspecific competitions in *Platycladus orientalis* natural forests in Beijing mountainous // Journal of Beijing Forestry University. 2008. Vol. 30 (suppl. 2). Pp. 36–40. DOI: 13332/j.1000-1522.2008.s2.014.

42. 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. No. 2. Pp. 54–56.

43. Wang Y., Chen L.-H., Yu X.-X., Yang Q.-H., Yang X.-B., Xiao Y., Wang X.-P. Comparison of transpiration characteristics of two typical coniferous species in Beijing mountainous area // *Journal of Beijing Forestry University*. 2008. Vol. 30 (suppl. 2). Pp. 193–196. DOI: 10.13332/j.1000-1522.2008.s2.034.

44. 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.

45. Zhao K., Li J., Xu C. Coupling relationship between stand structure and color patch of *Platycladus orientalis* plantations // *Journal of Beijing Forestry University*. 2019. Vol. 41. No. 1. Pp. 82–91. DOI: 10.13332/j.1000-1522.20180316.

46. Zhao T.-L. Niche characteristics of dominants in *Platycladus orientalis* forests in Yanshan Nature Reserve,

Shanxi // *Journal of Beijing Forestry University*. 2015. Vol. 37. No. 8. Pp. 24–30. DOI: 10.13332/j.1000-1522.20150039.

47. Quantitative relationships of intra- and interspecific competition of *Platycladus orientalis* plantation in Beijing Xishan National Forest Park / R.-W. Zhou, Y.-T. An, H. Wang, Y.-M. Ren, Q.-F. Wang, B.-H. He, P.-F. Chen, D.-Y. Lin // *Journal of Beijing Forestry University*. 2010. Vol. 32. No. 6. Pp. 27–32. DOI:10.13332/j.1000-1522.2010.06.020.

48. Zhou J.-C., Ma L.-Y. Effects of fertilization on the growth of trees in forestland converted from farmland in Pingshan County, Hebei Province of northern China // *Journal of Beijing Forestry University*. 2008. Vol. 30. No. 6. Pp. 64–70. DOI:10.13332/j.1000-1522.2008.06.025.

© Кентбаева Б. А., Кентбаев Е. Ж.,
Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П.,
Мурадов К. П., 2024

Поступила в редакцию 28.08.2023
Принята к печати 03.06.2024