

## ЗМІНА ЗАБАРВЛЕННЯ І ВМІСТУ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У РІЗНОВІКОВІЙ ХВОЇ *PICEA PUNGENS* ENGELM. В УМОВАХ МІСЬКИХ НАСАДЖЕНЬ

**Мета** — проаналізувати вміст хлорофілів і каротиноїдів у хвої 1—4-го року життя дерев *Picea pungens* Engelm. із блакитним кольором хвої у вуличних насадженнях м. Кривий Ріг, котрі зазнають впливу викидів великого металургійного комбінату, і тих, які зростають в незабруднених житлових кварталах міста.

**Матеріал та методи.** Виділено три групи дерев віком понад 30 років залежно від інтенсивності блакитного забарвлення хвої: I — сизо-блакитне, II — блакитно-зелене, III — слабо виражене блакитне забарвлення. Пігменти з хвої рослин екстрагували димексидом. Кількість хлорофілу і каротиноїдів у розчині визначали за допомогою спектрофотометра СФ-2000.

**Результати.** В усіх групах дерев найбільший вміст хлорофілів *a* і *b* та їх суми виявлено у хвої першого року життя, максимальний — у дерев першої групи, а мінімальний — у 4-річній хвої. В усіх рослин блакитне забарвлення хвої зменшується з її віком, особливо у 3—4-річній хвої дерев другої і третьої груп. Вміст каротиноїдів збільшується з віком хвої, досягаючи максимуму у 4-річній. Викиди металургійного комбінату впливають на блакитне забарвлення 2—4-річної хвої, знижуючи його інтенсивність, однак ця ознака насамперед залежить від генотипових особливостей рослин.

**Висновки.** *P. pungens* з блакитним забарвленням хвої стійка і високодекоративна в умовах великого промислового міста степової зони і є перспективною для широкого використання в озелененні населених пунктів цієї зони.

**Ключові слова:** *Picea pungens*, хвоя, блакитне забарвлення, вміст хлорофілів і каротиноїдів, декоративність, Криворіжжя.

Ялина колюча (*Picea pungens* Engelm.), природний ареал якої розташований у Скалистих горах у Північній Америці, поширена в насадженнях на території України. Це пов'язано з її невибагливістю до родючості ґрунтів і ступеня їх зволоженості та високою декоративністю, особливо форм з блакитною хвоєю. В степовій зоні України вона успішно зростає на сухих ґрунтах, відзначається вітростійкістю, а в промислових регіонах — димо- та газостійкістю [2]. На Криворіжжя перші саджанці *P. pungens* були завезені на початку 1970-х років. Нині форма з блакитним забарвленням хвої є однією із найпоширеніших серед хвойних у міських насадженнях. Характерною особливістю форми 'Glausa' є наявність блакитно-зеленої хвої, яка у рослин зберігається впро-

довж року. Однак інтенсивність забарвлення хвої у дерев візуально помітно варіює, навіть у межах одного великого насадження.

У забарвленні листя рослин провідну роль відіграють зелені та жовті пігменти, які використовують для оцінки життєвого стану рослин та пластичності їх фотосинтетичного апарату [1, 3]. На прикладі видів і сортів *Weigela Thunb.* показано, що природний колір листків та його зміни залежать від синтезу хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів упродовж вегетаційного періоду [4]. Дослідження стану пігментного комплексу листків рослин має важливе значення для розуміння механізмів поглинання сонячної енергії, фотосинтезу та адаптаційних процесів в умовах інтродукційного ареалу. Блакитний колір хвої *P. pungens* є результатом підвищеного відбиття синього світла, яке виникає через наявність епікутикулярних відкладень воску [8]. Структура, щільність та місце

розташування воску на хвої визначають її блиск [9]. Структурні воски утворюються в епістональних камерах блакитних голок, у бруньках, які розширюються [14]. Зі збільшенням віку хвої, а також під впливом аерополітантів змінюється структура поверхневих восків хвої, інтенсивність і спектральні характеристики світла, яке відбивається [16].

Мета роботи — проаналізувати вміст хлорофілу і каротиноїдів у хвої 1—4-го року життя дерев *P. pungens* з блакитним її забарвленням у вуличних насадженнях м. Кривий Ріг, котрі зазнають вплив викидів великого металургійного комбінату, і тих, які зростають у незабудурених житлових кварталах міста.

### Матеріал та методи

У двох вуличних насадженнях *P. pungens* у м. Кривий Ріг були відібрані три групи дерев віком понад 30 років, які мали типове сизо-блакитне (група I), блакитно-зелене (група II) і слабо виражене блакитне забарвлення (група III) хвої. Перше вуличне насадження розташоване неподалік від великого металургійного комбінату «АрселорМіталл Кривий Ріг» (на вул. Металургів) і зазнавало впливу його викидів, друге насадження — у житловому кварталі, віддаленому від цього комбінату більше ніж на 50 км (на вул. Черкасова).

З виділених візуально за забарвленням хвої дерев на початку жовтня відбирали хвою окремо першого, другого, третього і четвертого року життя. Вибірki дерев нараховували не менше ніж 5 екз.

Для визначення вмісту пігментів використовували стандартну методику: до 0,1 г подрібненого рослинного матеріалу додавали 2 мл димексиду (ДМСО), упродовж 3 годин витримували на водяній бані за температури 67 °С. В отриманому екстракті проводили вимірювання за допомогою спектрофотометра СФ-2000 за довжини хвилі 665 і 649 мкм — для хлорофілів *a* і *b* та 480 мкм — для каротиноїдів. Вміст пігментів (*C*) розраховували за формулами [18]

$$C_a = (12,19 \cdot A_{665}) - (3,45 \cdot A_{649}),$$

$$C_b = (21,99 \cdot A_{649}) - (5,32 \cdot A_{665}),$$

$$C_{\text{кар}} = ((1000 \cdot A_{480}) - (2,14 \cdot C_a) - (70,16 \cdot C_b)) : 220.$$

### Результати та обговорення

У *P. pungens* у насадженнях м. Кривий Ріг зберігається хвоя 1—4-го року життя, однак її блакитне забарвлення, за візуальними спостереженнями, найбільш виражене в 1-річній (табл. 1). У рослин із сизо-блакитним забарвленням хвої колір зберігається на 90—98 % і у 2-річній хвої, за винятком дерев, які зростають поблизу металургійного комбінату (77 %). У 3-річній хвої блакитне забарвлення становить 47—74 % від забарвлення 1-річної, а у 4-річній — 23—46 %. Варіабельність сизо-блакитного забарвлення хвої збільшується з її віком. Такі зміни кольору хвої залежно від її віку відзначено і в інших групах дерев. Лише у дерев з блакитно-зеленим забарвленням зменшення блакитного кольору більш ніж на 50 % зафіксовано у 3-річній хвої та 2-річній у групі III. Хвоя 3—4-го року розташована на відповідних пагонах, котрі частково затіняються іншими пагонами. Можна припустити, що блакитне забарвлення хвої зменшується не лише з віком, а і зі зменшенням освітленості пагонів.

Найвищий вміст хлорофілів *a* і *b* та суми хлорофілів відзначено у хвої першого року життя в усіх досліджуваних рослин з максимальним показником у групі I (табл. 2). Відмінності за вмістом пігментів особливо помітні щодо хлорофілу *a*, якого в цьогорічній хвої у групах II—III було менше на 8,7—22,9 і 25—35 % відповідно порівняно з групою I. Сума хлорофілів *a* і *b* також була найвищою у дерев групи I, яких у різновіковій хвої було більше, зокрема в 1-річній, відповідно на 7,8—22,8 %, ніж у групі II, та на 27,6—43,0 % порівняно з групою III.

Відмінності за вмістом хлорофілу *b* у хвої дерев з різним її забарвленням були дещо меншими. Хоча вміст хлорофілу в хвої дерев у зоні поширення викидів металургійного комбінату був меншим порівняно з деревами в житловому масиві, однак очевидних пошкоджень хвої не відзначено. Взагалі *P. pungens* є високостійким до екологічних умов великого промислового міста видом. Вміст хлорофілу *a* поступово зменшувався у хвої 2—4-го року життя в усіх дерев. Найменше (на 25—32,9 %) його

було у 4-річній хвої порівняно з 1-річною. Таку саму тенденцію спостерігали щодо хлорофілу *b* і суми зелених пігментів. Установлено, що з віком хвої зростає кількість каротиноїдів. У всіх групах рослин найбільший вміст їх відзначено у хвої 4-го року життя (на 14,8—33,3 % більший, ніж в 1-річній).

Величина співвідношення *a/b*, а також хлорофіли/каротиноїди була найбільшою в 1-річній хвої дерев усіх груп і поступово зменшувалася з віком хвої. Найбільші зміни встановлено для співвідношення хлорофіли/каротиноїди, яке було найвищим в 1-річній хвої дерев усіх

груп, а у 4-річній становило 54,5—63,9 % від показника хвої першого року життя.

Таким чином, спостерігається чітка тенденція у рослин *P. pungens* з блакитним забарвленням хвої: поступове зниження вмісту хлорофілів і зростання рівня каротиноїдів зі збільшенням віку хвої, що супроводжується зменшенням блакитного забарвлення хвої. Підвищений вміст каротиноїдів у більш віковій хвої — це звичайна фізіологічна реакція на її старіння і тривалий вплив несприятливих чинників міського середовища. У хвої *P. pungens* підвищений рівень каротиноїдів напри-

Таблиця 1. Збереженість блакитного кольору в хвої різних років життя у трьох групах дерев *Picea pungens* у різних районах м. Кривий Ріг

Table 1. Keeping of blue colouring in needles of vary life year in three groups of *Picea pungens* trees in different districts of Kryvyi Rih city

Місцезростання	Вік хвої, роки								За 4 роки загалом	
	1		2		3		4			
	M ± m	CV,%	M ± m	CV,%	M ± m	CV,%	M ± m	CV,%	M ± m	CV,%
Сизо-блакитне забарвлення										
На вул. Черкасова (Тернівський р-н)	10,0		9,3 ± 0,2	11,6	6,7 ± 0,3	22,2	4,0 ± 0,3	30,2	7,5 ± 0,3	35,1
На вул. Івана Сірка (Тернівський р-н)	10,0		9,0 ± 0,2	9,2	6,0 ± 0,4	28,6	3,7 ± 0,4	42,9	7,1 ± 0,3	39,1
На вул. Ватутіна (Покровський р-н)	10,0		9,7 ± 0,1	5,1	7,4 ± 0,2	10,1	4,6 ± 0,3	24,8	7,9 ± 0,3	28,9
Проспект Металургів (Металургійний р-н)	10,0		9,8 ± 0,1	4,2	6,9 ± 0,2	14,8	3,9 ± 0,2	24,2	7,6 ± 0,3	34,3
ПАО «АрселорМіттал Кривий Ріг» (Металургійний р-н)	9,9 ± 0,1	3,1	7,7 ± 0,2	12,9	4,7 ± 0,3	25,9	2,3 ± 0,1	28,6	6,1 ± 0,3	49,2
Блакитно-зелене забарвлення										
На вул. Мусоргського (Покровський р-н)	9,9 ± 0,05	2,3	7,4 ± 0,2	11,9	4,2 ± 0,3	29,5	2,3 ± 0,2	43,0	5,9 ± 0,3	52,1
Проспект Металургів (Металургійний р-н)	9,8 ± 0,1	4,2	6,9 ± 0,2	10,9	4,6 ± 0,3	25,8	2,4 ± 0,2	34,2	5,9 ± 0,3	48,7
ПАО «АрселорМіттал Кривий Ріг» (Металургійний р-н)	9,4 ± 0,1	5,2	5,5 ± 0,2	16,3	3,5 ± 0,2	28,6	1,8 ± 0,2	42,7	5,0 ± 0,3	58,5
Слабко виражене блакитне забарвлення										
Житловий масив Даманський (Тернівський р-н)	10,0		3,5 ± 0,2	23,9	2,1 ± 0,1	21,3	0,9 ± 0,2	87,6	4,1 ± 0,4	87,3
На вул. Ватутіна (Покровський р-н)	10,0		4,7 ± 0,1	14,0	3,1 ± 0,2	22,5	1,5 ± 0,2	47,3	4,8 ± 0,4	68,2

кінці вегетаційного сезону відзначено у міських насадженнях в інших регіонах [1].

Каротиноїди в клітинах рослин виконують антиоксидантні функції, є радіопротекторами, антимуагенами та імуномодуляторами [12]. Високий рівень каротиноїдів у хвої рослин в осінньо-зимовий період, а також при дії стресових чинників розглядають як адаптивну ре-

акцію, спрямовану на підвищення стійкості фотосинтетичного апарату та запобігання деструкції зелених пігментів [6, 12]. При порівнянні вмісту фотосинтетичних пігментів, лігніну і фенолів у хвої *P. pungens* з Колорадо і *P. abies* (L.) H. Karst. з Норвегії, які зростали в Чехії, не встановлено суттєвих відмінностей, так само, як і за показником стійкості у відповідь

Таблиця 2. Вміст фотосинтетичних пігментів у різновіковій хвої *Picea pungens* у насадженнях у м. Кривий Ріг, мг/г сирої речовини (M0 ± m)

Table 2. The content of photosynthetic pigments in vary-aged needles of *Picea pungens* in plantations of Kryvyi Rih city, mg/g of row matter (M0 ± m)

Вік хвої, роки	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	<i>a</i> + <i>b</i> , мг/г сирої речовини	<i>a/b</i>	Каротиноїди	Хлорофіли/ каротиноїди
Сизо-блакитне забарвлення хвої (на вул. Черкасова)						
1	0,830 ± 0,007	0,320 ± 0,013	1,130 ± 0,015	2,6	0,340 ± 0,007	3,3
2	0,740 ± 0,004	0,300 ± 0,005	1,050 ± 0,006	2,5	0,380 ± 0,009	2,8
3	0,670 ± 0,006	0,280 ± 0,014	0,950 ± 0,009	2,5	0,400 ± 0,006	2,4
4	0,580 ± 0,023	0,270 ± 0,017	0,860 ± 0,010	2,3	0,440 ± 0,010	2,0
Сизо-блакитне забарвлення хвої (на вул. Металургів)						
1	0,800 ± 0,011	0,320 ± 0,013	1,110 ± 0,013	2,5	0,320 ± 0,006	3,5
2	0,720 ± 0,012	0,300 ± 0,005	1,030 ± 0,015	2,4	0,360 ± 0,008	2,9
3	0,610 ± 0,027	0,280 ± 0,014	0,900 ± 0,017	2,3	0,370 ± 0,011	2,5
4	0,540 ± 0,023	0,250 ± 0,017	0,790 ± 0,010	2,2	0,380 ± 0,013	2,1
Блакитно-зелене забарвлення хвої (на вул. Черкасова)						
1	0,730 ± 0,011	0,310 ± 0,006	1,030 ± 0,015	2,4	0,300 ± 0,009	3,4
2	0,670 ± 0,027	0,290 ± 0,016	0,980 ± 0,016	2,3	0,320 ± 0,007	3,0
3	0,560 ± 0,022	0,260 ± 0,009	0,830 ± 0,013	2,2	0,340 ± 0,011	2,5
4	0,490 ± 0,017	0,240 ± 0,011	0,730 ± 0,010	2,1	0,350 ± 0,014	2,1
Блакитно-зелене забарвлення хвої (на вул. Металургів)						
1	0,640 ± 0,006	0,300 ± 0,006	0,920 ± 0,015	2,3	0,270 ± 0,008	3,6
2	0,590 ± 0,025	0,290 ± 0,016	0,880 ± 0,016	2,2	0,300 ± 0,010	3,0
3	0,540 ± 0,022	0,250 ± 0,009	0,790 ± 0,013	2,2	0,310 ± 0,012	2,6
4	0,450 ± 0,013	0,230 ± 0,011	0,680 ± 0,010	2,1	0,310 ± 0,014	2,3
Слабко виражене блакитне забарвлення хвої (на вул. Черкасова)						
1	0,600 ± 0,006	0,270 ± 0,006	0,870 ± 0,011	2,3	0,240 ± 0,008	3,7
2	0,540 ± 0,005	0,250 ± 0,005	0,790 ± 0,006	2,2	0,260 ± 0,005	3,1
3	0,480 ± 0,020	0,250 ± 0,013	0,730 ± 0,009	2,1	0,260 ± 0,011	2,7
4	0,450 ± 0,013	0,230 ± 0,009	0,690 ± 0,007	2	0,320 ± 0,009	2,2
Слабко виражене блакитне забарвлення хвої (на вул. Металургів)						
1	0,540 ± 0,005	0,250 ± 0,009	0,790 ± 0,016	2,2	0,210 ± 0,007	3,8
2	0,480 ± 0,020	0,250 ± 0,015	0,730 ± 0,012	2,1	0,230 ± 0,006	3,2
3	0,440 ± 0,012	0,230 ± 0,013	0,670 ± 0,017	2	0,250 ± 0,009	2,8
4	0,370 ± 0,013	0,180 ± 0,009	0,580 ± 0,022	2	0,250 ± 0,014	2,3

на дію техногенно забрудненого повітря. Різницю в накопиченні лігніну і фенолів у цих видів виявлено лише в найбільш віковій хвої [16]. З віком хвої змінюється структура восків на ній, а отже, спектри оптичного відображення та «координати забарвлення», що призводить до появи різних відтінків. Саме їх пропонують використовувати для експертної оцінки фізіологічного стану хвої [13]. Відзначено, що ефективність блакитного світла при фотосинтезі менша, а листки з меншим забарвленням мали більший відсоток світловідбиття при довжині хвиль від 350 до 800 нм [15].

Зелене забарвлення хвої насамперед зумовлене хлорофілом, а в поліхроїзмі квіток покритонасінних рослин провідну роль відіграють каротиноїди та фенольні сполуки, зокрема, антоціани і флавоноїди [7]. Зменшення вмісту хлорофілу в 2—4-річній хвої порівняно з 1-річною може бути спричинене активізацією процесів деструкції та зниженням його синтезу в старшій хвої. Очевидно, що з віком хвої знижується загальна інтенсивність синтетичних процесів у її клітинах. Під час старіння хвої її пігментний комплекс і насамперед хлорофіл зазнають деградаційних змін, які призводять до зміни вмісту та співвідношення фотосинтетичних пігментів і зниження фотосинтетичної активності. Хлорофіл тілактоїдних мембранних хлоропластів зв'язаний з білками. Стресовий вплив на асиміляційні органи активізує хлоропластні протеїни, що призводить до відділення хлорофілу і продуктів його деградації (хлорофіліду і феофітину) від білкової мембрани. Цей процес спричиняє видалення центрального атома магнію із молекули хлорофілу. Механізми катаболізму хлорофілу складні та остаточно не з'ясовані [5, 10, 11].

Нестійкість блакитного забарвлення 2—4-річної хвої у *P. pungens* пов'язана насамперед з генотиповими особливостями рослин, а не з негативним впливом техногенно забрудненого міського середовища. Про це свідчать дослідження молекулярної біології синтезу і функціонування кутикули [17]. Підтвердженням цього є дані візуальної оцінки забарвлен-

ня хвої (див. табл. 1) і порівняльного аналізу вмісту пігментів у дерев з різних насаджень. У цілому *P. pungens* з блакитним забарвленням належить до найстійкіших і найдекоративніших порід у насадженнях м. Кривий Ріг, у якої навіть у найбільш несприятливих умовах не розвивається активно хлороз хвої.

### Висновки

У штучних насадженнях *P. pungens* у м. Кривий Ріг виділено три групи дерев з різним ступенем блакитного забарвлення хвої: сизо-блакитне, блакитно-зелене та слабо виражене блакитне забарвлення. Найбільш інтенсивно блакитне забарвлення в усіх групах дерев виявляється в хвої першого року життя і знижується в 2—4-річній, особливо у дерев, які належать до груп II—III. Найвищий вміст хлорофілу в дерев кожної групи виявлено у хвої першого року життя, при цьому в 1—4-річній хвої дерев із сизо-блакитним забарвленням його було завжди більше порівняно з деревами інших груп. З віком хвої вміст хлорофілу зменшувався, а каротиноїдів — збільшувався в усіх рослин, які досліджували. Це пов'язано з процесами старіння хвої.

*P. pungens* — стійкий вид в умовах Криворіжжя. Її найбільш декоративну форму із сизо-блакитним кольором хвої слід ширше використовувати в озелененні населених пунктів степової зони України.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бухарина І.Л. Особенности фотосинтетического аппарата ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) и ели европейской (*Picea abies* L.) в условиях городской среды / И.Л. Бухарина, А.С. Пашкова // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 3. — С. 582—587.
2. Деревья и кустарники, культивируемые в Украинской ССР: Голосеменные: справ. пособие / [С.И. Кузнецов, П.Я. Чуприна, Ю.К. Подгорный и др.] отв. ред. Е.Н. Кондратюк. — К.: Наук. думка, 1985. — 199 с.
3. Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды / И.И. Коршиков. — К.: Наук. думка, 1996. — 240 с.
4. Савенко А.В. Особенности адаптации сортов вейгелы (*Weigela Thunb.*, *Caprifoliaceae*) в условиях

- города Краснодара / А.В. Савенко, С.С. Чукуриди, А.Я. Барчукова // Науч. журн. КубГАУ. — 2015. — № 105 (01). — С. 1—13.
5. Сиваш А.А. Катаболизм хлорофилла в растениях / А.А. Сиваш, Е.К. Золотарева // Вісн. ХНАУ. — 2013. — Вип. 3 (30). — С. 6—17.
  6. Титова М.С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* / М.С. Титова // Вестн. ОГУ. — 2010. — № 13 (118). — С. 9—12.
  7. Феденко В.С. Взаимосвязь каротиноидных и фенольных пигментов в формировании полихроизма цветков покрытосеменных растений / В.С. Феденко // Физиология и биохимия культурных растений. — 2002. — Т. 34, № 3. — С. 199—212.
  8. Clark J.B. Photosynthetic action spectra of trees. I. The relationship of cuticle structure to the visible and ultraviolet spectral properties of needles from four coniferous species / J.B. Clark, G.R. Lister // Plant Physiol. — 1975. — Vol. 55. — P. 407—413.
  9. Hanover J.W. Surface wax deposits on foliage of *Picea pungens* and other conifers / J.W. Hanover, D.A. Reicosky // Am. J. Bot. — 1971. — Vol. 58. — P. 681—687.
  10. Hörtensteiner S. Chlorophyll degradation during se 2006. — Vol. 57. — P. 55—77.
  11. Hörtensteiner S. Chlorophyll breakdown in higher plants / S. Hörtensteiner, B. Kräutler // Biochim Biophys Acta. — 2011. — N 1807 (8). — P. 977—988.
  12. Johnson E.J. The role of carotenoids in human health / E.J. Johnson // Nutr Clin Care. — 2002/ — N 5 (2). — P. 56—65.
  13. Ptushenko V.V. Chlorophyll fluorescence induction, chlorophyll content, and chromaticity characteristics of leaves as indicators of photosynthetic apparatus senescence in arboreous plants / V.V. Ptushenko, O.S. Ptushenko, A.N. Tikhonov // Biochemistry (Moscow). — 2014. — Vol. 79, N 3. — P. 260—272.
  14. Reicosky D.A. Seasonal changes in leaf surface waxes of *Picea pungens* / D.A. Reicosky, J.W. Hanover // Am. J. Bot. — 1976. — Vol. 63. — P. 449—456.
  15. Reicosky D.A. Physiological effects of surface waxes. I. light reflectance for glaucous and nonglaucous *Picea pungens* / D.A. Reicosky, J.W. Hanover // Plant Physiol. — 1978. — Vol. 62. — P. 101—104.
  16. Soukupová J. Comparative study of two spruce species in a polluted mountainous region / J. Soukupová, B.N. Rock, J. Albrechtová // New Phytologist. — 2001. — Vol. 150. — P. 133—145.
  17. Trevor H.Y. The formation and function of plant cuticles / H.Y. Trevor, K.C. Rose Jocelyn // Plant Physiology. — 2013. — Vol. 163, N 1. — P. 5—20.
  18. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophyll *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution / A.R. Wellburn // J. Plant Physiol. — 1994. — Vol. 144. — P. 307—313.
- Рекомендувала О.П. Похильченко  
Надійшла 06.08.2018

## REFERENCES

1. Buharina, I.L. and Pashkova, A.S. (2015), Osobnosti fotosinteticheskogo apparata eli koljuchej (*Picea pungens* Engelm.) i eli evropejskoj (*Picea abies* L.) v uslovijah gorodskoj sredy [The peculiarities of the photosynthetic apparatus of Norway spruce (*Picea pungens* Engelm.) and Colorado spruce (*Picea abies* L.) in urban environments]. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [Modern problems of science and education], N 3, pp. 582—587.
2. Kuznecov, S.I., Chuprina, P.Ja. and Podgornij, Ju.K. (1985), Derevja i kustarniki, kultiviruemye v Ukrainskoj SSR: Golosemnyye: sprav. posobie [Trees and shrubs cultivated in the Ukrainian SSR: Gymnosperms: reference book]. Kyiv: Nauk. dumka, 199 p.
3. Korshykov, I.I. (1996), Adaptacija rastenij k uslovijam tehnogenno zagrijaznennoj sredj [The adaptation of plants to the conditions of technogenically polluted environment]. Kyiv: Nauk. dumka, 240 p.
4. Savenko, A.V., Chukuridi, S.S. and Barchukova, A.Ja. (2015), Osobnosti adaptacii sortov vejgely (*Weigela Thunb.*, *Caprifoliaceae*) v uslovijah goroda Krasnodara [The adapting peculiarities of varieties of weigelas (*Weigela Thunb.*, *Caprifoliaceae*) in the conditions of Krasnodar city]. Nauchnyj zhurnal KubGAU [Scientific journal KubSAU], N 105 (01), pp. 1—13.
5. Sivash, A.A. and Zolotareva, E.K. (2013), Katabolizm hlorofilla v rastenijah [Catabolism of chlorophyll in plants]. Visnik HNAU [News of the KhNAU], vol. 3 (30), pp. 6—17.
6. Titova, M.S. (2010), Soderzhanie fotosinteticheskikh pigmentov v hvoe *Picea abies* i *Picea koraiensis* [The content of photosynthetic pigments in needles of *Picea abies* and *Picea koraiensis*]. Vestnik OGU [Bulletin of the OSU], N 13 (118), pp. 9—12.
7. Fedenko, V.S. (2002), Vzamosvjaz karotinoidnyh i fenolnyh pigmentov v formirovanii polihroizma cvetkov pokrytosemennyh rastenij [Interconnection of carotenoid and phenolic pigments in the formation of polychroism of flowers of angiosperms]. Fiziologija i biohimija kulturnyh rastenij [Physiology and biochemistry of cultivated plants], vol. 34, N 3, pp. 199—212.
8. Clark, J.B. and Lister, G.R. (1975), Photosynthetic action spectra of trees. I. The relationship of cuticle structure to the visible and ultraviolet spectral properties of needles from four coniferous species. Plant Physiol, vol. 55, pp. 407—413.

9. Hanover, J.W. and Reicosky, D.A. (1971), Surface wax deposits on foliage of *Picea pungens* and other conifers. *Am. J. Bot.*, vol. 58, pp. 681—687.
10. Hörtensteiner, S. and Kräutler, B. (2011), Chlorophyll breakdown in higher plants. *Biochim Biophys Acta.*, 1807(8), pp. 977—988.
11. Hörtensteiner, S. (2006), Chlorophyll degradation during senescence. *Annu Rev Plant Biol.*, vol. 57, pp. 55—77.
12. Johnson, E.J. (2002), The role of carotenoids in human health. *Nutr Clin Care*, N 5 (2), pp. 56—65.
13. Ptushenko, V.V., Ptushenko, O.S., and Tikhonov, A.N. (2014), Chlorophyll fluorescence induction, chlorophyll content, and chromaticity characteristics of leaves as indicators of photosynthetic apparatus senescence in arboreal plants. *Biochemistry (Moscow)*, vol. 79, N 3, pp. 260—272.
14. Reicosky, D.A. and Hanover, J.W. (1976), Seasonal changes in leaf surface waxes of *Picea pungens*. *Am. J. Bot.*, vol. 63, pp. 449—456.
15. Reicosky, D.A. and Hanover, J.W. (1978), Physiological effects of surface waxes. I. light reflectance for glaucous and nonglucous *Picea pungens*. *Plant Physiol*, vol. 62, pp. 101—104.
16. Soukupová, J., Rock, B.N. and Albrechtová, J. (2001), Comparative study of two spruce species in a polluted mountainous region. *New Phytologist*, vol. 150, pp. 133—145.
17. Trevor, H.Y. and Jocelyn, K.C. Rose (2013), The formation and function of plant cuticles. *Plant Physiology*, vol. 163, N 1, pp. 5—20.
18. Wellburn, A.R. (1994), The spectral determination of chlorophyll *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J. Plant Physiol*, vol. 144, pp. 307—313.

Recommended by O.P. Pokhylchenko  
Received 06.08.2018

І.І. Коршиков<sup>1,2</sup>, Н.Ю. Шевчук<sup>1,2</sup>, Э.Р. Гусейнова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Донецкий ботанический сад НАН Украины,  
Украина, г. Кривой Рог

<sup>2</sup> Криворожский ботанический сад НАН Украины,  
Украина, г. Кривой Рог

#### ИЗМЕНЕНИЕ ОКРАСКИ И СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В РАЗНОВОЗРАСТНОЙ ХВОЕ *PICEA PUNGENS* ENGELM. В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЙ

**Цель** — проанализировать содержание хлорофиллов и каротиноидов в хвое 1—4-го года жизни у деревьев *Picea pungens* Engelm. с голубым цветом хвои в уличных насаждениях г. Кривой Рог, подверженных влиянию выбросов крупного металлургического комбината, и

тех, которые растут в незагрязненных жилых кварталах города.

**Материал и методы.** Выделены три группы деревьев в возрасте более 30 лет в зависимости от интенсивности голубой окраски хвои: I — сизо-голубая, II — голубовато-зеленая, III — слабо выраженная голубая окраска. Пигменты из хвои растений экстрагировали димексидом. Количество хлорофилла и каротиноидов в растворе определяли с помощью спектрофотометра СФ-2000.

**Результаты.** Во всех группах деревьев наибольшее содержание хлорофиллов *a* и *b* и их суммы обнаружено в хвое первого года жизни, максимальное — у деревьев первой группы, а минимальное — у 4-летней хвои. У всех растений голубая окраска хвои уменьшается с возрастом, особенно у 3—4-летней хвои деревьев второй и третьей групп. Содержание каротиноидов увеличивается с возрастом хвои, достигая максимума у 4-летней. Выбросы металлургического комбината влияют на голубую окраску 2—4-летней хвои, снижая ее интенсивность, однако этот признак прежде всего зависит от генотипических особенностей растений.

**Выводы.** *P. pungens* с голубой окраской хвои устойчива и высокодекоративна в условиях большого промышленного города степной зоны и является перспективной для широкого использования в озеленении населенных пунктов этой зоны.

**Ключевые слова:** *Picea pungens*, хвоя, голубая окраска, содержание хлорофиллов и каротиноидов, декоративность, Криворожье.

І.І. Korshykov<sup>1,2</sup>, N.Yu. Shevchuk<sup>1,2</sup>, E.R. Guseynova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Donetsk Botanical Garden, National Academy  
of Sciences of Ukraine, Ukraine, Kryvyi Rih

<sup>2</sup> Kryvyi Rih Botanical Garden,  
National Academy of Sciences of Ukraine,  
Ukraine, Kryvyi Rih

#### THE CHANGES OF COLOURING AND CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN UNEVEN-AGED NEEDLES OF *PICEA PUNGENS* ENGELM. IN CONDITIONS OF URBAN PLANTINGS

**Objective** — is to analyze the content of chlorophylls and carotenoids in the 1—4-year-old blue-coloured needles of *Picea pungens* Engelm. trees in street plantings of Kryvyi Rih city exposed to emissions of large metallurgical combine as well growing in non-polluted dwelling blocks of the city.

**Material and methods.** We divided the trees into three groups at the age of less than 30 years, depending on the needle colouring: I — grey-blue, II — blue-green, III — weakly blue. The pigments of the needles were extracted by dimethyl sulfoxide, and the quantity of chlorophyll

and carotenoids was defined using the spectrophotometer SF-2000.

**Results.** In all three groups, the highest content of chlorophylls *a* and *b* as well their sum was revealed in one-year-old needles (the maximum value was in the trees of the first group), the lowest one was in four-year-old needles. Blue colouring of the needles decreases with age, especially in 3–4-year-old needles of the trees from the second and the third groups. The content of carotenoids increases with the age of the needles, the maximum is in four-year-old ones. Emissions of the metallurgical combine influence blue

colouring of 2–4-year-old needles, decreasing its intensity; but this characteristics, firstly, depends on genotype peculiarities of the plants.

**Conclusions.** *P. pungens* with blue-coloured needles is stable and highly decorative in conditions of a large industrial city of the steppe zone, therefore it has good perspectives to be used widely for greening of settlements in this zone.

**Key words:** *Picea pungens*, needles, blue colouring, content of chlorophylls and carotenoids, decorativeness, Kryvyi Rih area.