Bioecological analysis of *Picea pungens* needles in the deterioral conditions of the DTEK Prydniprovsk thermal power plant

T. I. Yusypiva

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 10.10.2018
Received in revised form
19.10.2018
Accepted 25.10.2018

Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-096-836-03-37
E-mail: JusyypivaTatjana@i.ua

Yusypiva, T. I. (2018). Bioecological analysis of *Picea pungens* needles in the deterioral conditions of the DTEK Prydniprovsk thermal power plant. *Ecology and Noospherology*, 29(2), 119–124. doi:10.15421/031819

Crucial for the research on adaptiogenesis of introduced coniferous species is the study the anatomical structure of their vegetative organs, especially the needles, which provides the productivity of individual trees and plantings in general. In conditions of anthropogenic pressure of the environment there are changes in the thickness and structure of the histological elements of vegetative organs of coniferous species, in the first place, protective tissues. Therefore, the study of the anatomical structure of the needles is relevant in the context of studying the ways and mechanisms of adaptation of gymnosperms to industrial emissions and the finding sensitive phytoindicators of environmental pollution and the condition of coniferous plants in man-made zones. However, today the chronic effect of phytotoxicants on the anatomical structure of needles is insufficiently studied. Ecological and anatomical studies of *P. pungens* in the conditions of the steppe zone of Ukraine for the effects of technogenesis are practically absent. Prydniprovsk TPP is the largest source of pollution in the city of Dnipro (Ukraine): its emissions make up 68,9 % of the volume of toxic compounds of all enterprises and transport facilities. The main pollutants of emissions from Prydniprovsk TPP are SO₂, NO₂, solids, CO. In order to reduce the negative impact of the TPP emissions, green plantations mainly from softwood are created around it, which purify the atmosphere and improve the environment throughout the year. In view of this, the purpose of the work is to analyse the state of morphological and anatomical indices of the *Picea pungens* Engelm f. *glauca* Beissn. needles under the influence of emissions from Prydniprovsk TPP. The research is conducted according to generally accepted methods (Zlobin et al., 2009; Albrechtova, 2003; Permjakov, 1988). It has been found that the length and weight of needles in experimental specimens of *P. pungens* decrease with respect to the values of these indices in plants of relatively pure zone; therefore, they are sensitive growth parameters to the action of environmental pollution. Nevertheless, the intensity of the growth of *P. pungens* needles does not change; therefore, it is not an informative feature for assessing the living conditions of the prickly fir in the industrial zone. The analysis of the micromorphological features of *P. pungens* needles showed resistance to anthropogenic pressure of its characteristics, such as width and thickness, although the area of needles decreases, which is associated with a significant decrease in the technogenic conditions of the environment of its length. In plants of *P. pungens*, growing on the territory adjacent to Prydniprovsk TPP, the size of the constituents of needles of *P. pungens* (epidermis and hypoderms), as well as the number, diameter and type of placement of resin passages in the mesophyll of the needles do not differ significantly from such indices in plants of relatively pure zone indicating the stability of these features and the resistance of the needles of the investigated species to the emissions of TPP. The thickness of the assimilation parenchyma from the adaxial side of the needle of *P. pungens* in the conditions of technogenesis increases. Among the histological elements of the needles *P. pungens* the greatest influence of man-made emissions is experienced by the components of the central conductive cylinder: the layer of endoderm thickens by 15,9 %, as compared with the control value, which we consider as an adaptive reaction of plants to man-made stress; the diameter of the central conductive cylinder and the thickness of xylem increases. Probably this is due to the need for better water supply of plants. Thus, in the conditions of technogenesis, stability of the histological characteristics and plasticity of the morphometric characteristics of the needles *P. pungens* were revealed. The formation of adaptive mechanisms of compensatory type in the needles of *P. pungens* under the influence of phytotoxicants was found: there is an increase of the size of the endoderm,

mesophyll, xylem and the central conductive cylinder of the needles. It is shown that the ratio of particles of histological structures of needles (in %) to the action of pollutants of TPP remains practically unchanged. The informative test parameters for monitoring studies of the condition of coniferous plants in man-made zones (mass, length and area of needles) are suggested. Estimation of *P. pungens* resistance to the components of the thermal power plant's emissions as a medium-resistant species. It is recommended to use *P. pungens* in landscaping of contaminated areas.

Keywords: *Picea pungens* Engelm.; morphometric indices; micromorphological characteristics; anatomical parameters; needles; technogenic contamination

Біоекологічний аналіз стану хвої *Picea pungens* в умовах викидів ДТЕК «Придніпровська ТЕС»

Т. І. Юсипіва

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Проаналізовано вплив забруднення середовища викидами ДТЕК «Придніпровська ТЕС» (м. Дніпро) на морфо-анатомічні показники листка *Picea pungens* Engelm. f. *glauca* Beissn. Виявлено стабільність гістологічних і пластичність морфометричних ознак хвої *P. pungens* в умовах техногенезу. Встановлено формування адаптивних механізмів компенсаторного типу в хвойнках *P. pungens* під впливом фітотоксикантів: збільшення розмірів ендодерми, мезофілу, ксилеми та центрального провідного циліндра хвойнки. Запропоновано інформативні тест-параметри для моніторингових досліджень стану хвойних рослин у техногенних зонах (маса, довжина, площа хвойнки). Рекомендовано використовувати *P. pungens* в озелененні територій, забруднених SO_2 , NO_2 , твердими домішками та CO .

Ключові слова: *Picea pungens* Engelm.; морфометричні показники; мікоморфологічні характеристики; анатомічні параметри; хвоя; техногенне забруднення

Вступ

Дніпро – потужний промисловий центр України (The City of Dnipropetrovsk, 2015), в якому працюють понад 200 підприємств. Щорічно вони забруднюють атмосферне повітря, водні басейни та ґрунт мільонами тон токсичних речовин, що порушує нормальне функціонування як природних, так і штучних лісових екосистем. ДТЕК «Придніпровська ТЕС» – найбільше джерело забруднення: її емісії становлять 68,9 % від обсягу забруднювальних сполук усіх підприємств і транспортних об'єктів м. Дніпра (Ecological passport of the Dnipro Sity, 2016). Для зменшення негативного впливу викидів ТЕС навколо неї створені зелені насадження переважно із хвойних порід, які очищують атмосферне повітря й оздоровлюють навколишнє середовище протягом усього року.

Техногенне забруднення довкілля змінює функціонування рослинних організмів на всіх рівнях їх організації, у тому числі клітинному, тканинному, органному (Bessonova, 2006; Griztay & Shupranova, 2015; Iusypiva & Miasoid, 2017). За дії стресових умов зростання серед реакцій-відповідей рослин на вплив токсичних речовин наявні зміни в розмірах річних приростів пагонів та асиміляційних органів, процесах формування листового апарату, у закладанні й розвитку репродуктивних структур, у процесах проростання насіння та формування сходів, самосіву та підросту головних і супутніх лісоутворювальних деревних порід (Bessonova & Usypiva, 2001; Stasova et al., 2009; Grytsay & Miasoid, 2016).

Важливу роль у вивченні адаптогенезу хвойних інтродуцентів мають дослідження анатомічної структури їх вегетативних органів, особливо хвої, яка забезпечує продуктивність окремих дерев і насадження в цілому (Bessonova & Iusypiva, 2018). В умовах антропогенного тиску довкілля спостерігаються зміни у товщині й будові гістологічних елементів вегетативних органів хвойних порід (Antonova & Stasova, 2002; Dmuchowski et al., 1998), і в першу чергу покривних і захисних тканин (Fedorkov, 2011; Legoshchina et al., 2013). Тому дослідження анатомічної структури хвої актуальні у контексті вивчення шляхів і механізмів адаптації голонасінних до

промислових емісій і виявлення чутливих показників для фітоіндикації забруднення довкілля та стану хвойних рослин у техногенних зонах.

Однак на сьогодні хронічний вплив емісій ТЕС на гістологічну будову хвої вивчений недостатньо. Еколого-анатомічні дослідження *P. pungens* в умовах степової зони України за дії техногенезу відсутні. Зважаючи на це, мета роботи – проаналізувати стан морфологічних і анатомічних показників хвої *Picea pungens* Engelm за дії викидів ДТЕК «Придніпровська ТЕС».

Матеріали та методи досліджень

Матеріал збирали у травні 2018 р. на двох пробних ділянках. Техногенна зона – територія, яка прилягає до ДТЕК «Придніпровська ТЕС». Частка оксиду сульфуру (IV) в її викидах становить 97,5 % від вмісту цієї сполуки в емісіях усіх підприємств міста, оксиду нітрогену (IV) – 84,7 %, твердих домішок – 64,8 %, оксиду карбону (II) – 8,6 % (Ecological passport., 2015). Контрольна (умовно чиста) зона – Ботанічний сад ДНУ, де концентрації забруднювачів не перевищують ГДК (Pasicznyy & Serdyuk, 2002; Ecological passport., 2016).

Об'єкт дослідження – ялина колюча *Picea pungens* Engelm. f. *glauca* Beissn. (рід Ялина (*Picea* A. Dietr.)). Проби хвойнок відбирали з минулорічних пагонів подовження скелетних гілок з південно-східного боку 5 модельних дерев на висоті 1,7 м від рівня ґрунту. Виміри морфометричних показників хвойнок та їх маси здійснювали у 100-кратній повторності за загальноприйнятими методиками (Zlobin et al., 2009). Коефіцієнт інтенсивності росту хвої розраховували за формулою (Suhareva, 2009): $K = M/L$, де K – коефіцієнт інтенсивності росту хвої, мг/мм; M – маса хвойнки, мг; L – довжина хвойнки, мм. Ширину й товщину (висоту) хвойнки визначали на зрізах у центральній її частині під мікроскопом Levenhuk 2L/3L/D2L за збільшення 7×10 . Зрізи робили з використанням ручного мікротома (Permjakov, 1988). Вимірювання розмірів гістологічних елементів хвої здійснювали у 30-кратній повторності за допомогою окуляр-мікрометра за збільшення в 70 разів

після забарвлювання зрізів флороглюцином (Albrechtova, 2003). Площу хвоїнки розраховували за формулою (Sungurova, Khudyakov, 2015): $S = 5,14 L \cdot (a + b/2)/2$, де S – площа хвоїнки, мм²; L – довжина хвоїнки, мм; a – товщина хвоїнки, мм; b – ширина хвоїнки, мм. Периметр хвоїнки визначали за формулою Тирена (Blaschinskaja, 2014): $\Pi = \pi/2 \cdot (1,137b + a)$, де Π – периметр хвоїнки, мм; a – товщина хвоїнки, мм; b – ширина хвоїнки, мм. Результати дослідження обробляли за допомогою Microsoft Office Excel 2007. Розраховували середню арифметичну похибку. Порівнювали морфо-анатомічні показники контрольних і дослідних варіантів за Student's t-test ($p < 0,05$).

Результати та їх обговорення

Життєвий стан фітоценозу взагалі та конкретного дерева зокрема можна оцінити за характером розвитку асиміляційного апарату та його морфо-анатомічними показниками (Bessonova & Ponomaryova, 2017; Suhareva, 2004). Нами виявлено, що довжина та маса хвоїнки є чутливими до дії комплексу забруднювальних речовин SO_2 , NO_x , тверді домішки, CO ростовими параметрами, оскільки у дослідних екземплярів *P. pungens* вони становлять лише 85,7 та 78,9 % відповідно від значень цих показників у рослин умовно чистої зони (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив викидів Придніпровської ТЕС на біометричні показники хвоїнки *Picea pungens* ($n=100$), $M \pm m$

Вид	Контроль	Придніпровська ТЕС	<i>t</i>
Морфометричні показники			
Довжина хвоїнки, мм	28,00 ± 0,92	24,00 ± 0,54***	3,75
Маса хвоїнки, мг	17,28 ± 1,38	13,63 ± 0,23*	2,61
Коефіцієнт інтенсивності росту хвої, мг / мм	0,62 ± 0,06	0,57 ± 0,05	0,64
Мікроморфологічні показники			
Ширина хвоїнки, мм	1,29 ± 0,21	1,37 ± 0,18	0,78
Товщина (висота) хвоїнки, мм	1,07 ± 0,19	1,17 ± 0,16	0,40
Периметр хвоїнки, мм	3,98 ± 0,11	4,28 ± 0,09*	2,11
Площа хвоїнки, мм ²	123,41 ± 1,64	114,42 ± 1,33***	4,26

* Дані достовірні при $p < 0,05$; ** – при $p < 0,01$.

При цьому периметр хвоїнки дещо зростає (на 7,5 % порівняно з контролем), однак її площа зменшується (на 6,3 %), що пов'язано з істотним зниженням у техногенних умовах середовища довжини хвоїнки. Зменшення площі окремої хвоїнки може призвести до скорочення розмірів загальної асиміляційної поверхні пагонів, що, у свою чергу, може негативно позначитися на продуктивності дерев *P. pungens* та їх життєздатності в екстремальних умовах середовища.

На поперечному розрізі хвоїнка *P. pungens* має ромбоєдричну форму і складається з покривних тканин, мезофілу і центрального провідного циліндра. Зовнішнім шаром голки є комплекс покривних тканин: епідерма та гіподерма. Клітини епідерми мають товсті здерев'янілі стінки й вкриті кутикулою з воску. У *P. pungens* продиhi розміщені 3–4 паралельними поздовжніми рядами на гранях адаксіального та абаксіального боків хвоїнки. Продиhi заглиблені в епідерму, що зменшує інтенсивність транспірації. Гіподерма розміщена вглиб від епідерми, складається з одного чи кількох шарів клітин з потовщеними стінками. Покривні тканини – основний бар'єр між зовнішнім середовищем і внутрішніми тканинами хвоїнки, а їх розміри – важлива діагностична ознака стану рослин у забруднених зонах.

Як видно з табл. 2, товщина обох складових покривів хвоїнки *P. pungens* – епідерми та гіподерми – за дії викидів Придніпровської ТЕС практично не змінюється (відмінності між контрольними та дослідними значеннями недостовірні при $p < 0,05$). Аналіз літературних джерел

Аналогічні результати для цього виду отримані за дії інших стрес-факторів середовища. Так, показано (Bessonova & Ponomaryova, 2017) зменшення довжини, площі та маси хвоїнки у рослин *P. pungens*, які зростають вздовж автошляху та на віддаленні 10 м від нього, що автори пояснюють високою інтенсивністю руху автотранспорту й іншими екологічними чинниками, водночас на 120-метровій відстані значення цих характеристик практично не відрізнялись від контрольних.

Сухарева Т. А. (Suhareva, 2004) виявила зміни коефіцієнта інтенсивності росту хвої *Picea obovata* Ledeb. в умовах промислового забруднення і пропонує використовувати його як інформативну ознаку для оцінювання життєвого стану хвойних порід у техногенних зонах. Натомість наші дослідження показали (табл. 1), що за дії емісії Придніпровської ТЕС цей показник у *P. pungens* практично не змінюється (відмінності між контрольним і дослідним значеннями недостовірні при $p < 0,05$), тому не може бути надійним тест-параметром для фітоіндикації стану популяції ялини колючої в техногенних зонах.

Аналіз мікроморфологічних ознак хвої *P. pungens* (табл. 1) виявив стійкість до антропогенного тиску таких її характеристик, як ширина та товщина хвоїнки (відмінності між контрольними та дослідними значеннями недостовірні).

свідчить про те, що під впливом антропогенних факторів довкілля розміри комплексу покривних тканин або окремих його елементів (епідерми, гіподерми чи кутикули) у чутливих видів хвойних зазвичай зменшуються, а у стійких – зростають. Так, в умовах міського середовища виявлено зменшення товщини кутикули й епідерми хвої рослин *Abies sibirica* Ledeb. (Sobchak et al., 2004). Коефіцієнт мінливості для товщини покривних тканин хвої *P. sylvestris* за умов техногенного стресу становив 10,9 % (Fedorkov, 2011). На думку автора, природний добір сприяє виживанню дерев з більш розвиненими покривними тканинами. Виявлено (Legoshchina et al., 2013) зниження в хвої *P. obovata* розмірів кутикули та гіподерми й одночасне зростання товщини епідерми еквівалентно рівню антропогенного навантаження.

Під покривними тканинами розміщена асиміляційна тканина – складчастий мезофіл. Його оболонки утворюють складки всередину клітини, збільшуючи площу поверхні клітинних стінок і поверхневого шару цитоплазми, в якому містяться хлоропласти. Така будова дозволяє в малому об'ємі клітини збільшити інтенсивність фотосинтезу. Мезофіл містить 2 (рідше 1) смоляні ходи, вистелені зсередини живими епітеліальними секреторними клітинами з тонкими оболонками, які продукують смоли. Зовні смоляні ходи оточені шаром лігніфікованих склеренхімних клітин. За розміщенням смоляні ходи *P. pungens* периферійні (крайові), оскільки вони прилягають до гіподерми багатьма клітинами.

Таблиця 2

Вплив викидів Придніпровської ТЕС на товщину покривних тканин і мезофілу хвоїнки *Picea pungens*, мкм

Показник	Контроль	Придніпровська ТЕС	t
Товщина епідерми	20,97 ± 1,78	19,34 ± 2,14	0,59
Товщина гіподерми	29,84 ± 1,72	28,83 ± 3,19	0,002
Товщина мезофілу адаксіального боку, мкм	391,16±9,24	419,38±10,56*	2,01
Товщина мезофілу абаксіального боку, мкм	457,29±12,73	454,87±15,56	0,12
Кількість смоляних ходів, шт.	1,50±0,07	1,70±0,15	0,88
Діаметр смоляного ходу, мкм	83,60±6,89	76,23±2,12	1,02

*Дані достовірні при $p < 0,05$.

Аналіз отриманих даних свідчить про наявність асиметрії в розташуванні мезофілу і ЦПЦ в хвоїнках дослідженого виду як в умовах чистої зони, так і на забрудненій території (табл. 2). Мезофіл *P. pungens* в обох моніторингових точках товщій з абаксіального (нижнього) боку хвоїнки, а його розміри за умов техногенезу практично не змінюються (відмінності між контрольними та дослідними значеннями недостовірні при $p < 0,05$). Товщина асиміляційної паренхіми з адаксіального боку листка в умовах техногенезу збільшується і становить 113,3 % від значення цього показника у рослин умовно чистої зони.

У *P. pungens*, що зростає на прилеглий до Придніпровської ТЕС території, кількість і діаметр смоляних ходів, а також тип розміщення їх у мезофілі хвоїнки практично не відрізняються від таких показників у рослин Ботанічного саду ДНУ, що свідчить про стабільність цих ознак та стійкість хвої дослідженого виду до викидів ТЕС.

У літературі наявні роботи щодо дії промислових викидів на будову мезофілу різних видів хвойних (Atkina & Vishnyakova, 2007; Sobchak et al., 2004 та ін.). Показано (Report .., 2005), що за екстремальних техногенних умов зростання дерев *P. sylvestris* протягом періоду вегетації відсоткове співвідношення площі хвоїнки до площі поперечного зрізу смоляних ходів не змінюється. За даними (Legoshchina et al., 2013), відбувається зниження площі мезофілу в хвої *P. obovata* по мірі наближення до промислової зони м. Кемерово. У хвоїнках рослин *Picea abies* (L.) Н. Karst, що зростали вздовж автошляху, виявлено (Atkina, Vishnyakova, 2007) асиметрію в розташуванні провідного пучка, що може бути наслідком нестачі пластичних речовин (рослина багато ресурсів витрачає на подолання стресу).

Центральну частину хвоїнки складає центральний провідний циліндр (ЦПЦ), оточений одним рядом клітин

ендодерми із поясками Каспарі на радіальних стінках. Отже, ендодерма слугує «внутрішньою покривною тканиною» ЦПЦ і виконує бар'єрну функцію. ЦПЦ *P. pungens* містить трансфузійну тканину, в якій розташований один провідний пучок. Він складається із ситоподібних елементів флоєми, що забезпечують відтік фотосинтезатів із хвоїнки до інших органів рослини (низхідна течія), та ксилемних трахеїд, якими із стебла до хвоїнки надходять вода і мінеральні солі (висхідна течія).

Нами виявлено, що серед гістологічних елементів хвої *P. pungens* найбільшого впливу викидів Придніпровської ТЕС зазнають складові ЦПЦ (табл. 3). Слід відзначити потовщення на 15,9 % порівняно з контрольним значенням шару ендодерми, що ми розглядаємо як адаптивну реакцію рослин на техногенний стрес. У ялин забрудненої зони збільшується і діаметр ЦПЦ, що корелює з потовщенням ксилеми. Імовірно, це необхідно для кращого водозабезпечення рослин, оскільки поблизу великих ТЕС температура повітря на 2–3 °C вища (Rodionov, 2010) і для підтримання на належному рівні процесу фотосинтезу рослини мають збільшувати інтенсивність транспірації. У літературі зустрічається низка робіт, які свідчать що в умовах урбосередовища знижується площа ЦПЦ у голках різних хвойних: *A. sibirica* (Sobchak et al., 2004), *P. obovata* (Legoshchina et al., 2013) та *P. sylvestris* (Soboleva et al., 2009).

Наведені в табл. 2–3 дані виражені в мікрометрах. На рис. 1 представлені значення гістологічних показників у відносних величинах, тобто частка кожної тканини у відсотках по відношенню до загальної ширини хвоїнки. Аналіз цих даних свідчить, що суттєві відмінності у співвідношенні анатомічних характеристик листка *P. pungens* за дії викидів Придніпровської ТЕС відсутні. У рослин забрудненої зони незначно змінюються лише частки мезофілу та гіподерми, але ці зміни знаходяться в межах звичайної мінливості.

Рис. 1. Вплив викидів Придніпровської ТЕС на розміри гістологічних елементів хвоїнки *Picea pungens*, %

Таблиця 3

Вплив викидів Придніпровської ТЕС на розміри гістологічних елементів центрального провідного циліндра хвоїнки *Picea pungens*, мкм

Показник	Контроль	Придніпровська ТЕС	t
Товщина ендодерми	14,62 ± 0,75	16,94 ± 0,81*	2,10
Діаметр центрального провідного циліндра	322,60 ± 4,81	354,86 ± 3,40*	6,13
Товщина флоєми	58,88 ± 3,81	55,45 ± 1,83	0,81
Товщина ксилеми	75,81 ± 2,15	85,49 ± 3,23*	2,50

* Дані достовірні при $p < 0,05$.

Висновки

1. Забруднення навколишнього середовища викидами Придніпровської ТЕС призводить до зміни інтенсивності росту асиміляційних органів *P. pungens*, внаслідок чого знижуються маса, довжина та площа хвоїнок. До адаптивних механізмів компенсаторного типу належать збільшення в хвоїнках *P. pungens* під впливом забрудників товщини ендодерми, мезофілу адаксіального боку, ксилеми та діаметра центрального провідного циліндра.

2. Гістологічні характеристики є стабільними ознаками для виду *P. pungens*, а лінійні розміри хвої – пластичними, які змінюються за дії фітотоксикантів.

3. Виявлені чутливі до діоксидів нітрогену та сульфору, оксиду карбону (II) і твердих домішок морфометричні та мікроморфологічні показники (маса, довжина та площа хвоїнки) *P. pungens*, які ми пропонуємо використовувати в моніторингових дослідженнях.

4. *P. pungens* виявила середню стійкість морфолого-гістологічних показників до викидів Придніпровської ТЕС, тому цю деревну породу можна використовувати в озелененні техногенних територій, забруднених комплексом речовин (SO_2 , NO_2 , тверді домішки, CO).

References

Albrechtova, J. (2003). Plant Anatomy in Environmental Studies, Prague.

Antonova, G. F., Stasova, V. V. (2002). Seasonal distribution of processes responsible for radial diameter and wall thickness of larch (*Larix sibirica* Ldb.) tracheids. Improvement of larch (*Larix* sp.) for better growth, stem form and wood quality. Proceedings of an International Symposium. Gap (Hautes-Alpes). France, INRA – Cemagref, 369–377.

Atkina, L. I., Vishnyakova, S. V. (2007). Vliyanie vybrosov avtotransporta na anatomicheskie osobennosti hvoi eli obyknovnoy v usloviyah Ekaterinburga [Influence Surge Motor Transport on Anatomical Particularities of Pine-needles Ate to Be Common in Condition Ekaterinburg]. Forestry Bulletin, 8, 4–7 (in Russian).

Bessonova, V. P. (2006). Vliyanie tyazhelykh metallov na rasteniya [The Influence of Heavy Metals on Photosynthesis of Plants]. Dnipropetrovsk State Agrarian University, Dnipropetrovsk (in Russian).

Bessonova, V. P., Ponomaryova, O. A. (2017). Morfometrychni pokaznyky ta vmist plastydnykh pihmentiv khvoi *Picea pungens* zalezno vid vidstani do avtoshliakhu [Morphometric characteristics and the content of plastid pigments of the needles of *Picea pungens* depending on the distance from the highways]. Biosystems Diversity, 25(2), 96–101 (in Ukrainian).

Bessonova, V., Iusypiva, T. (2018). Morfoanatomichni pokaznyky khvoi Pinus pallasiana D. Don. u riznykh lisoroslynnykh umovakh protyeroziinoho nasadzhenia [Morpho-anatomical parameters of the needles of *Pinus pallasiana* D. Don. in the antierosion afforestation]. Ukrainian Journal of Ecology, 8 (1), 851–858 (in Ukrainian).

Bessonova, V. P., Usypiva, T. I. (2001). Semennoie vobnovlenie drevesnykh rasteniy i promyshlennyye pollutanty (SO_2 i NO_2) [Seed renewing of arboreal plants and industrial pollutants (SO_2 and NO_2)]. Zaporizhzhya University Press, Zaporizhzhya (in Russian).

Blaschinskaja, O. N. (2014). Baryernyye svoystva drevesnogo rastitelnogo pokrova (sosna obyknovennaya i bereza povislaya) urbanizovannoy territorii (na primere g. Angarska Irkutskoy oblasti) [Barrier properties of woody vegetation cover (common pine and birch dangling) of the urbanized territory (on the example of the city of Angarsk in the Irkutsk region)]. Doc. Diss. Irkutsk (in Russian).

Dmuchowski, W., Kurczynska, E. U., Wloch, W. (1998). Chemical Composition of Needles and Cambial Activity of Stems of Scots Pine Trees Affected by Air Pollutants in Polish Forests. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-166. Available at [http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr166_003_dmuchowski.pdf](http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr166/psw_gtr166_003_dmuchowski.pdf)

Grytsay, Z., Miasoid, G. (2016). Assessment of Floral Organs State of *Tilia* Genus Representatives under Environment Pollution Conditions caused by Emissions of Prydniprovsk Thermal Power Plant, Dnipropetrovsk city. International Letters of Natural Sciences, 55, 52–56 (in Ukrainian).

Griztay, Z. V., Shupranova, L. V. (2015). Vplyv vykydiv Prydniprovskoi TES m. Dnipropetrovsk na anatomichni pokaznyky stebly dvorichnogo pahona predstavnykiv rodu Tilia [Impact of Emissions of Prydniprovsk TPP in Dnipropetrovsk on the Anatomical Indices of Stem of Two-Year Whip of the *Tilia* Genus Representatives]. Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol, 23(2), 230–235 (in Ukrainian).

Ekolohichniy pasport mista Dnipro (2016 r.) [Ecological passport of the Dnipro Sity (2016 p.)]. Available at <https://dniprorada.gov.ua/upload/editor/Екологічний%20паспорт.PDF>. (in Ukrainian).

Ekolohichniy pasport Dnipropetrovskoi oblasti (2015 r.) [Ecological passport of the Dnipropetrovsk Region] // http://old.menr.gov.ua/docs/protection1/dnipropetrovska/Dnipropetrovska_ekopasport_2015.pdf

Iusypiva, T., Miasoid, G. (2017). The Impact of Industrial Pollution with Toxic Gases on the Stem Anatomical Characteristics of Woody Plant Undergrowth in the City of Dnipro, Ukraine. International Letters of Natural Sciences, 65, 1–9.

Legoshchina, O. M., Neverova, O. A., Bykov, A. A. (2013). Izmenchivost' anatomicheskoy struktury hvoi v usloviyah vliyaniya vybrosov promzony g. Kemerovo [The variability of the Anatomical Structure of Pine Needles of *Picea obovate* Ledeb. under the Effect of Emissions from the Industrial Zone of Kemerovo]. Contemporary Problems of Ecology, 5, 733–739 (in Russian).

M. Dnipropetrovs'k general'nyy plan rozvytku mista (2015). [The City of Dnipropetrovsk, Amending the general plan of the city development]. Kyiv (in Ukrainian).

Otchet o nauchnoj i nauchno-organizacionnoj deyatel'nosti laboratorii lesovedeniya za 2005 god po teme: «Adaptivnye osobennosti i harakteristika ustojchivosti lesobrazuyushchih vidov Yuzhnogo Urala k ehkstremaal'nym prirodnym i tekhnogennym usloviyam»

- [Report on the scientific and organizational activities of the laboratory of forest studies for 2005 on the topic: «Adaptive features and characteristics of the resistance of forest-forming species of the Southern Urals to extreme natural and man-made conditions»] Available at <https://a/upload/editor/Екологічний%20паспорт.PDF//forestry.chat.ru> otchet-05.htm
- Pasichnyy, H. V., Serdyuk, V. M. (2002). Dynamika vazhkykh metaliv v gruntovomu pokryvi u zv'yazku z tekhnohennym zabrudnennym otchuyuchoho seredovyshcha (na prykladi m. Dnipropetrovs'ka) [Dynamics of Heavy Metals in the Soils is Dealt with the Technogenic Pollution of Environment (for Example of Dnepropetrovsk City)]. Ecology & Natural Resource Management, 4, 111–117 (in Ukrainian).
- Permjakov, A. I. (1988). Mikrotehnika [Microtechnica]. Moscow University Press, Moscow. (in Russian).
- Rodionov, V. G. (2010). Energetika: problemy nastoyashchego i vozmozhnosti budushchego [Energy: problems of the present and the possibilities of the future]. ENAS, Moscow. (in Russian).
- Fedorkov, A. L. (2011). Izmenchivost adaptivnykh priznakov khvoynykh v usloviyakh stressa na severe Evropy. [Variability of adaptive signs of conifers under stress in northern Europe]. Doc. Diss. Moscow (in Russian).
- Sobchak, R. O., Degtyareva, O. N., Astafurova, T. P. (2004). Kompleksnaya ocenka sostoyaniya pihty sibirskoy *Abies sibirica* Ledeb. v usloviyakh gorodskoj sredy. [Comprehensive assessment of the status of Siberian fir *Abies sibirica* Ledeb. in urban environment]. Conifers of the boreal area, XXV(2), 100–109 (in Russian).
- Soboleva, O. M., Kondratenko, E. P., Pinchuk, L. G. (2009). Kompleksnaya ocenka sostoyaniya assimilacionnogo apparata sosny obyknovnoy v g. Novokuzneck [Comprehensive assessment of the state of the assimilation apparatus of Scots pine in Novokuznetsk]. Vestnik AGAU, 33–36 (in Russian).
- Sungurova, N. R., Khudyakov, V. V. (2015). Assimilyatsionnyy apparat v kulturakh sosny [Assimilatory apparatus of pine cultures]. Proceedings of Petrozavodsk State University, 81 (153). 68–74 (in Russian).
- Suhareva, T.A. (2004). Himicheskij sostav i morfometricheskie harakteristiki hvoi eli sibirskoy v usloviyakh vozdushnogo promyshlennogo zagryazneniya [Chemical composition and morphometric characteristics of Siberian spruce needles under conditions of industrial air pollution]. Doc. Diss. Apatity (in Russian).
- Stasove, V. V., Perevoznikova, V. D., Zubareva, O. N., Tatarintsev, A. I. (2009). Vliyanie kompleksa tekhnogennykh i rekreacionnykh nagruzok na razvitie tkanej stvola sosny obyknovnoy v Krasnoyarskoj lesostepi [The Influence of the Complex of Technogenic and Recreational Burden on the Development of the Stem Tissues of Scotch Pine in Krasnoyarsk forest-steppe]. News of RAS. Biological Series, 5, 618–626 (in Russian).
- Zlobin, Yu. A., Sklyar, V. G., Bondareva, L. M., Kyrylchuk, K. S. (2009). Kontseptsiiia morfometrii v suchasni botanitsi [The morphometric concept in modern botany]. Chornomors'k Botanical Journal, 5 (1), 5–22 (in Ukrainian).