

**ЕКОЛОГІЧНА ДЕТЕРМІНОВАНІСТЬ УМІСТУ ХЛОРОФІЛУ
В ЛИСТКАХ ДЕРЕВ ПРИРОДНО ЗРОСТАЮЧИХ
НА ДЕВАСТОВАНИХ ЗЕМЛЯХ ЗАЛІЗОРУДНОГО ВІДВАЛУ**

- ¹**БЄЛИК Ю. В.**, аспірант кафедри фізіології та інтродукції рослин
ORCID: 0000-0002-2029-6051,
E-mail: belik.uliya@gmail.com
- ²**САВОСЬКО В. М.**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки та екології
ORCID: 0000-0002-6943-1111,
E-mail: savosko1970@gmail.com
- ¹**ЛИХОЛАТ Ю. В.**, доктор біологічних наук, професор,
завідувач кафедри фізіології та інтродукції рослин
ORCID: 0000-0003-3354-8251,
E-mail: lykholat2006@ukr.net
- ³**ХАЛЬМАЄРГ.**, доктор філософії, професор, Інститут наук про життя,
ORCID: 0000-0001-5935-0396,
E-mail: hermann.heilmeyer@ioez.tu-freiberg.de
- ⁴**ГРИГОРЮК І. П.**, доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, професор кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики
ORCID: 0000-0002-1706-9077,
E-mail: grigoryik@ukr.net
- ¹**Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара**
²**Криворізький державний педагогічний університет**
³**Технічний університет «Фрайберзька гірнича академія»**
⁴**Національний університет біоресурсів і природокористування України**

Анотація. Актуальність досліджень зумовлено необхідністю вивчення закономірностей самозаростання девастрованих земель залізрудного відвалу Криворіжжя як важливої передумови фітооптимізації навоколишнього природного середовища в індустріально розвинених регіонах України. Мета дослідження – з позицій екосистемного аналізу з'ясувати екологічну детермінованість вмісту хлорофілу в листках деревних видів рослин, що природно зростають на девастрованих землях відвалу. Матеріалами для виконання роботи слугували результати власних польових та лабораторних досліджень, які виконували впродовж

2018 – 2021 рр. на території Петровського залізорудного відвалу (Криворізький гірничо-металургійний регіон, Дніпропетровська обл.). Доведено, що екологічні умови дегазованих земель залізорудного відвалу обумовлюють зменшення концентрації хлорофілу (на 25-65 %) у листках дерев, що природно зростають на його теренах. Кількісні показники вмісту цього пігменту в листках дали змогу нам впорядкувати деревні види у такий ряд зменшення їхньої стійкості до екологічних умов відвалу: Береза повисла > Робінія звичайна > Клен ясенелистий. Результати кореляційних розрахунків підтвердили, що між вмістом хлорофілу в листках деревних видів рослин та екологічними характеристиками дегазованих земель Петровського залізорудного відвалу існує статистично достовірний зв'язок. Водночас тривалість формування рослинного покриву найбільш істотно впливає на кількість хлорофілу в листках дерев. За кількісними показниками зменшення сили кореляційного зв'язку види дерев упорядковані у такий спосіб: Робінія звичайна > Береза повисла > Клен ясенелистий. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування заходів озеленення та фітооптимізації дегазованих земель Криворіжжя та інших промислових регіонів України.

Ключові слова: дегазовані землі, хлорофіл, Клен ясенелистий, Береза повисла, Робінія звичайна, залізорудний відвал, Криворіжжя.

Вступ. У житті рослин фотосинтез відіграє надважливу роль, забезпечуючи рослинний організм енергетично важливими сполуками (Bhatla, S.C., Lal, M.A. 2018; Dogutan, D.K., Nocera, D.G. 2019; Stasik, O.O., Kiriziy, D.A., Priadkina, G.O. 2021; Zhuravleva, V.V., Kazazayev, V.V. 2017). Проте сам фотосинтетичний апарат є дуже вразливим до дії окремих чинників, що набувають значної інтенсивності в умовах сучасного техногенного впливу на довкілля (Clemens, S. (ed.). 2019; Masikevich, A.Yu. 2019; Pessarakli, M. (Ed.). 2016; Willey, N. 2016). Доведено, що стан навколишнього середовища промислових регіонів викликає суттєві фізіологічні порушення в рослин, спричиняючи зменшення вмісту фотосинтезувальних пігментів (Dogutan, D.K., Nocera, D.G. 2019; Pessarakli, M. (Ed.). 2016; Stasik, O.O., Kiriziy, D.A., Priadkina, G.O. 2021). Тому, показники кількості

хлорофілу в листках деревних видів є інформативними маркерами біологічної продуктивності цих рослин, а також їхньої стійкості та пристосованості до наслідків техногенезу.

Вміст хлорофілу в листках дерев за умов техногенного впливу достатньо добро висвітлений у численних наукових публікаціях (Abakumov, A.I., Pak, S.Ya. 2018; Bukhanov, E.R., Korshunov, M.A. and other 2018; Chypylyak, T.F. 2017; Croft, H., Chen, J.M., Wang, R. and other 2020; Masikevich, A.Yu. 2019). Однак у більшості випадків досліджувалися рослини, що зростають у зелених насадженнях міст, приміських зелених зонах та санітарно-захисних насадженнях промислових підприємств (Bussotti, F., Pollastrini, M. 2017; Dwivedi, P.R., Singh, A.O., Singh, V.C. 2020; Ivanishchev, V.V. 2021; Sepúlveda, P., Johnstone, D.M. 2019).

У той час як, фотосинтезувальний комплекс деревних видів, що природно зростають на дедастованих землях (відвалах, кар'єрах, промислових майданчиках, шламосховищах та ін.), фактично залишилися поза увагою дослідників. Водночас варто зазначити, що площі таких земель постійно збільшуються та сягають значень, які вражають: у Світі приблизно 1,5 млн га, в Україні – 500 тис. га, у Дніпропетровській області – 60 тис. га, в утому числі в Криворізькому гірничо-металургійному регіоні – 30 тис. га. Також доведено, що дедастовані землі є джерелом надпотужного негативного впливу на стан довкілля промислових регіонів та умови життя людини (Kudela, A.D. 1984; Savosko, V.M., Lykholat, Y.V. and other 2019; Savosko, V.M., Lykholat, Y.V., Bielyk Y.V. 2021; Savosko, V.M., Bielyk, Y.V. and other 2021).

Ось чому так актуальні екологічно обґрунтовані та економічно ефективні заходи з упорядкування та відновлення дедастованих земель.

Перспективним напрямом оптимізації дедастованих земель є створення деревних насаджень переважно з використанням видів, що природно поширені на їхніх теренах (Ivanishchev, V.V. 2018; Ke, J. 2021; Luo, X., Croft, H. and other 2019; Mazura, M.Yu. 2020; Tulkova, E.G. 2019).

Однак, у рослин закономірно спостерігаються певні негативні явища: формується водний дефіцит, пригнічується дихання та ріст клітин та загалом гальмуються провідні фізіологічні процеси (Bessonova, V.P., Chongova, A.S., Sklyarenko, A.V. 2020; Korshykov, I. 2019; Korshykov, I., Sushynska, N.

2019; Savosko, V.M. and other 2019).

Тому добір видів дерев, пристосованих до умов дедастованих земель, залишається над актуальною науковою проблемою сьогодення (Savosko, V.M., Alekseeva, K.M. 2007; Savosko, V.M., Lykholat, Y.V. and other 2019; Savosko, V.M., Lykholat Y.V., Bielyk Y.V. 2021; Shupranova, L.V., Lykholat, Y.V. and other 2017).

Першим кроком у її розв'язанні є обґрунтування маркерів, що маніфестують екологічну пристосованість та стійкість деревних видів рослин (Savosko, V.M., Lykholat Y.V., Bielyk Y.V. 2021; Shupranova, L.V., Lykholat, Y.V., Khromikh, N.O., Grytzaj, Z.V., Alexeyeva, A.A., Bilchuk, V.S. 2017; Sokolova, G.G. 2020; Sokolova, G.G. 2020).

На нашу думку, актуальним є вивчення вмісту хлорофілу в листках деревних видів рослин, що природно зростають на дедастованих землях Петровського залізрудного відвалу. Цей відвал розташований у центральній частині Криворіжжя та є типовим за віком, способом утворення і складом порід.

На відвалі не буди виконані роботи з рекультивації, тому на його територіях спостерігаються природні процеси відновлення рослинного покриву. Саме тому територію Петровського залізрудного відвалу нами було обрано в якості модельного для різноманітних еколого-ботанічних досліджень (Bielyk, Yu.V. and other 2019; Bielyk, Y., Savosko, V. and other 2020; Savosko, V.M., Bielyk, Y.V., and other 2021).

Мета роботи – з позицій екосистемного аналізу з'ясувати екологічну детермінованість вмісту

дені роботи з посадки дерев і чагарників та/або посіву багаторічних трав. З часом на девастрованих землях цього відвалу розпочалися

природні процеси самовідновлення рослинного покриву та ініціального ґрунтоутворення.

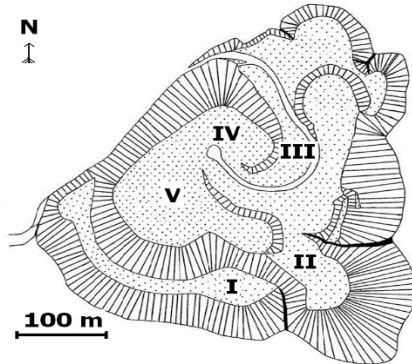


Рис. 1. План-схема Петровського залізрудного відвалу (I, II, III, IV, V – моніторингові ділянки)

Ми встановили (Bielyk, Yu.V., Savosko, V.M., Lykholat, Y.V. 2019), що на території Петровського залізрудного відвалу природно зростають 32 види деревних рослин і чагарників, які належать до 25 родів та 15 родин. За кількістю родів і видів провідними родинами визначено: розові (*Rosaceae* Juss.) – 9 родів і 9 видів, вербові (*Salicaceae* Mirb.) – 2 роди і 5 видів, кленові (*Aceraceae* Juss.) – 1 рід і 3 види, а також в'язові (*Ulmaceae* Mirb.) – 1 рід і 3 види. Серед дерев і чагарників цього відвалу за кількісними показниками перевагу мають алохтонні види (59,38 %) порівняно з автохтонними (40,62 %). Серед апофітних видів переважають геміапофіти, а серед з антропофітних за часом занесення – неофіти, способом інвазії – ергазіофіти, ступенем адаптації – ергазіофіти та аргіофіти.

Екологічні умови росту та розвитку деревних видів рослин на Петровському відвалі є дуже складними. Так, нами попередньо встановлено (Bielyk, Y., Savosko, V.,

Lykholat, Y. and other 2020; Savosko, V.M., Bielyk, Y.V., Lykholat, Y.V. and other 2021), що на девастрованих землях та в листках дерев спостерігається нестача біофільних елементів, насамперед Фосфору та Калію, а також надмірний вміст токсичних важких металів (Заліза, Марганцю, Цинку, Плюмбуму та Кадмію).

Уміст хлорофілу в листках дерев із контрольної території. Вміст хлорофілу в листках деревних видів рослин, що зростають у сприятливих екологічних умовах природного середовища, достатньо вивчений. Так, за даними наукових публікацій, концентрація хлорофілу в листках Клену ясенелистого коливається від 0,29 до 30,00 мг/г (Likhachev, S.V., Pimenova, E.V., Zhakova, S.N. 2019; Pessarakli, M. (Ed.). 2016; Tulkova, E.G. 2019). Нами встановлено, що вміст пігменту в листках цього виду на контрольних територіях перебуває в зазначеному діапазоні – $3,87 \pm 0,07$ мг/г.

Дослідники з'ясували, що в природних умовах вміст хлорофілу в листках Берези повислої становить 1,10-7,22 мг/г (Balandaykin, M.E. 2014; Sokolova, G.G. 2020; Tulkova, E.G. 2019; Yashin, D.F., Zaitsev, G.A. 2015). Результати власних досліджень довели, що на контрольних ділянках концентрація хлорофілу в листках цього виду має значення $3,18 \pm 0,12$ мг/г.

Природний діапазон концентрації хлорофілу в листках Робінії звичайної становить 1,73-4,50 мг/г (Balandaykin, M.E. 2014; Kalacheva, N.V., Kashulin, P.A., Zhurina, E.I. 2018; Tulkova, E.G. 2019). В умовах нашого контролю вміст пігменту в листках цього виду тотожний – $4,14 \pm 0,12$ мг/г.

Вміст хлорофілу в листках дерев із дегазованих земель. Цілком логічно, що екологічні умови дегазованих земель Петровського залізничного відвалу певним чином істотно впливають на концентрацію хлорофілу в листках деревних видів, що природно зростають на їхніх територіях (табл. 1). Аналіз отриманих результатів довів, що проти контрольних значень

статистично достовірно лише зменшення концентрацій цього пігменту. Також варто зазначити, що досліджені нами види дерев характеризуються певними особливостями адаптованості до умов дегазованих земель.

Клен ясенелистий (*Acer negundo* L.) – дерево заввишки до 25 м, часто з кривим стовбуром і розлогою широкою кроною, природно зростає в Північній Америці. Упродовж кількох останніх століть європейці досить активно використовували клен ясенелистий для озеленення. Як наслідок, станом на початок ХХІ ст. цей вид розповсюджений як натуралізована рослина майже на всій території Європи та в деяких частинах Африки й Азії. В Україні поширений у культурі з початку ХІХ століття (Likhachev, S.V., Pimenova, E.V., Zhakova, S.N. 2019; Sokolova, G.G. 2020). Клен ясенелистий характеризується середньою вибагливістю до родючості ґрунтів (мезотроф), невибагливістю до рівня зволоження ґрунтів (ксеромезофіт) та стійкістю до освітлення (геліофіт).

1. Уміст хлорофілу в листках дерев, що природно зростають на дегазованих землях Петровського залізничного відвалу, (мг/г)

Ділянка	Статистичні параметри					
	M	m	CV%	P%	tst	% до контролю
Клен ясенелистий (<i>Acer negundo</i> L.)						
Контроль	3,87	0,07	3,18	1,84	–	–
I	2,55**	0,09	6,07	3,51	11,62	65,73
II	1,45**	0,08	9,24	5,34	22,98	37,53
III	1,37**	0,02	3,10	1,79	33,19	35,46

IV	2,02**	0,09	7,69	4,44	16,22	52,08
V	1,78**	0,01	0,42	4,44	29,27	45,86
Береза повисла (<i>Betula pendula</i> Roth.)						
Контроль	3,18	0,12	6,48	3,74		
I	3,42	0,05	2,41	1,39	1,87	107,55
II	3,24	0,01	0,42	0,24	0,52	101,96
III	3,27	0,12	6,15	3,55	0,54	102,81
IV	3,33	0,04	2,08	1,20	1,16	104,57
V	2,48**	0,05	3,76	2,17	5,35	78,02
Робінія звичайна (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)						
Контроль	4,14	0,12	4,91	2,84	–	–
I	–	–	–	–	–	–
II	4,14	0,07	3,12	1,80	0,04	99,85
III	3,12**	0,12	6,46	3,73	6,20	75,27
IV	–	–	–	–	–	–
V	2,02**	0,05	4,63	2,67	16,44	48,70

Примітки: М – середнє арифметичне, m – абсолютна похибка, CV% – коефіцієнт варіації, Р% – статистична значущість, t_{st} – критерій Стюдента, ** – різниця з контролем достовірна

За результатами наших досліджень, вміст хлорофілу в листках Клену ясенелистого на всіх ділянках Петровського залізорудного відвалу статистично достовірно менше контрольних показників (табл. 1). Мінімальні значення вмісту хлорофілу були виявлені на ділянках II та III, відповідно $1,45 \pm 0,08$ та $1,37 \pm 0,02$ мг/г. Такі результати статистично достовірно на 65-68 % менші за контрольні показники ($P < 0,05$). Максимальні значення вмісту хлорофілу були встановлені на ділянках IV та I, відповідно, $2,02 \pm 0,09$ та $2,55 \pm 0,09$ мг/г, що на 34-48 % менше за контроль ($P < 0,05$).

Береза повисла (*Betula pendula* Roth.) дерево заввишки до 25 м з ажурною кроною, повислими гілками. Природно поширена майже у всій Європі та на території західного Сибіру й Алтаю. Цей вид невибагливий до родючості ґрунтів (оліготроф), середньо вибагливий до вологості ґрунту (мезофіт) та надає перевагу освітленим ділянкам (геліофіт) (Balandaykin, M.E. 2014; Sokolova, G.G. 2020; Willey, N. 2016). В умовах Криворіжжя Береза повисла виявилася стійкою до низьких температур, порівняно стійкою до посухи та стійкою до пилогозових забруднювачів повітря.

Аналіз отриманих результатів показав, що вміст хлорофілу в листках цього виду на дослідних ділянках I, II, III та IV перебуває на рівні контрольних значень. Лише на ділянці V вміст хлорофілу статистично достовірно на 22 % менше за контрольні показники ($P < 0,05$).

Робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.) – дерево заввишки до 30 м із прямим стовбуром, крона розлога, ажурна, часто неправильної форми. Цей вид природно поширений у Північній Америці та широко культивується в Європі, Азії, Африці й в Україні. Робінія звичайна мало вибаглива до родючості ґрунтів (оліготроф), є типовим ксеромезофітом та перевагу надає освітленим ділянкам (геліофіт) (Baladaykin, 2014; Kalacheva, N.V. et al. 2018; Tulkova, E.G. 2019). В умовах Криворіжжя цей вид виявився стійким до низьких температур, посухи та пило-газових забруднювачів повітря. Встановлено, що на моніторингових ділянках III та V були виявлені найменші концентрації хлорофілу в листках Робінії звичайної, відповідно $3,12 \pm 0,12$ та $2,02 \pm 0,05$ мг/г. Такі значення є статистично достовірно на 24-51 % меншими за контроль ($P < 0,05$).

Загалом, екологічні умови дегазованості земель Петровського залізничного відвалу зумовлюють зменшення вмісту хлорофілу в листках деревних рослин. Види дерев за кількісними показниками зменшення концентрації хлорофілу можуть бути упорядковані наступним чином: Береза повисла > Робінія звичайна > Клен ясенелистий. Моніторингові ділянки відвалу за кількісними показниками зменшення концентрацій хлоро-

філу також можуть бути упорядковані у такий спосіб $V < III < II < IV < I$.

Екологічна детермінованість вмісту хлорофілу в листках дерев. Різноманітність та контрастність екологічних умов моніторингових ділянок Петровського залізничного відвалу дало можливість нам їх упорядкувати в певні екосерії за вектором впливу певного екологічного чинника.

Тривалість розвитку рослинного покриву на дегазованих землях є важливим чинником формування більш сприятливих умов для росту та розвитку деревних видів рослин. На залізничному відвалі час завершення відсіпки гірських порід (початок самовідновлення рослинного та ґрунтового покриву) чітко визначається за місцезнаходженням ділянки. Так, на першій та другій бермі розташовані дослідні ділянки I та II, де були насамперед завершені роботи з відсіпки гірських порід. Ділянки IV та III також перебувають на другій бермі відвалу. Проте вони розташовані ближче до дороги, по якій відбувався рух автотранспорту задля відсіпки відвалу. Розміщення ділянки V на плато відвалу свідчить про те, що ця територія була відсіпана гірськими породами в останню чергу. Отже, за показником тривалості відновлення рослинного покриву моніторингові ділянки впорядковуються в таку екосерію: $I > II > III > IV > V$.

В умовах посушливого степового клімату Криворізького регіону наявність додаткових джерел зволоження є надважливим екологічним чинником успішного росту та розвитку деревних видів рослин. На теренах Петровського залізничного відвалу додаткові джерела

зволоження можливі лише внаслідок перерозподілу атмосферного повітря, що визначається мікрорельєфом.

Ділянки I та II розташовані поруч з потужними (за довжиною) схилами. Регулярний стік дощової води позитивним чином впливає рівні зволоження територій цих ділянок. Розташування ділянки V на плато відвалу унеможливорює наявність додаткових джерел зволоження. Території ділянок IV та III мають невеликий ухил, що зумовлює певні втрати дощової вологи. Отже, за показником наявності додаткового зволоження внаслідок перерозподілу атмосферних опадів моніторингові ділянки упорядковуються у таку екосерію: $I > II > V > IV > III$.

Орографічні особливості території Петровського відвалу зумовлюють певний вплив на інтенсивність сонячної радіації. Так, ділянка V, яка розташована на палато відвалу, закономірно характеризується максимальними рівнями цього екологічного чинника. Дислокація ділянки I на південній частині відвалу поруч зі схилом південної експозиції також зумовлює достатньо інтенсивну сонячну радіацію. Розміщення ділянки II на східній

частині відвалу поруч зі схилом східної експозиції детермінують середні значення сонячної радіації. Розташування ділянок IV та III на північній та північно-східній околиці відвалу також закономірно характеризується мінімальними рівнями цього екологічного чинника. За показником інтенсивності сонячної радіації ділянки упорядковуються у таку екосерію: $V > I > II > III > IV$.

Загалом, використовуючи зазначені вище закономірності розташування моніторингових ділянок у межах деєастованих земель Петровського залізорудного відвалу та значення вмісту хлорофілу в листках деревних видів рослин нами була розроблена кореляційна матриця, яка ґрунтується на числових значеннях коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена.

Результати кореляційних розрахунків підтвердили, що між вмістом хлорофілу в листках деревних видів рослин та екологічними характеристиками деєастованих земель Петровського залізорудного відвалу існує достовірний зв'язок (табл. 2). Водночас статистично значущими виявилися 9 коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена (за можливих 9).

2. Кореляційна матриця залежності вмісту хлорофілу в листках дерев від екологічних характеристик деєастованих земель Петровського залізорудного відвалу

Уміст хлорофілу в листках деревних видів рослин	Екологічні характеристики деєастованих земель Петровського залізорудного відвалу		
	Тривалість формування рослинного покриву	Додаткове зволоження за рахунок перерозподілу атмосферних опадів	Інтенсивність сонячної радіації
Клен ясенелистий	0,867*	0,933**	0,700*

Береза повисла	0,933**	0,867**	0,767*
Робінія звичайна	0,875*	0,842*	0,975**

Примітки: «*» – коефіцієнти рангової кореляції Спірмена достовірні на рівні значущості $P < 0,05$; «**» – $P < 0,01$.

У всіх випадках наявний прямий зв'язок ($r_2 > 0$), тобто в разі зростання показників екологічних характеристик дегазованих земель відбувається збільшення числових значень вмісту хлорофілу в листках деревних видів рослин. Водночас, не був виявлений зворотній кореляційний зв'язок ($r_2 < 0$). На підставі оцінки сили кореляційного зв'язку між вмістом хлорофілу в листках деревних видів рослин та екологічними характеристиками дегазованих земель встановлено такі статистичні закономірності. У шести випадках прослідковувався сильний зв'язок ($0,7 < |r_2| < 0,9$), а в трьох – дуже сильний кореляційний зв'язок ($|r_2| > 0,9$).

Загалом, серед екологічних характеристик дегазованих земель відвалу на вміст хлорофілу в листках деревних видів рослин найбільш істотно впливає тривалість формування рослинного покриву. Для цієї екологічної характеристики виявлена максимальна кількість достовірних коефіцієнтів кореляції з найбільшою силою зв'язку. Серед видів деревних рослин найбільш залежними від екологічних характеристик дегазованих земель виявилася робінія звичайна.

Висновки і перспективи.

Екологічні умови дегазованих земель Петровського залізничного відвалу зумовлюють зменшення концентрації хлорофілу (на 25-65 %) у листках дерев, що природно зростають на його теренах.

Кількісні показники вмісту цього пігменту в листках дали можливість нам впорядкувати деревні види в такий ряд зменшення стійкості до екологічних умов відвалу: Береза повисла > Робінія звичайна > Клен ясенелистий.

Результати кореляційних розрахунків підтвердили, що між вмістом хлорофілу в листках деревних видів рослин та екологічними характеристиками дегазованих земель Петровського залізничного відвалу існує статистично достовірний зв'язок. Водночас тривалість формування рослинного покриву найбільш істотно впливає на кількість хлорофілу в листках деревних видів рослин. Види дерев за кількісними показниками зменшення сили кореляційного зв'язку можуть бути упорядковані в такий спосіб: Робінія звичайна > Береза повисла > Клен ясенелистий.

Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування заходів озеленення та фітооптимізації дегазованих земель Криворіжжя та інших промислових регіонів України. У подальших дослідженнях доцільно продовжити комплексні еколого-ботанічні спостереження за формуванням спонтанних деревно-чагарникових на дегазованих землях.

References

1. Abakumov, A.I., Pak, S.Ya. (2018). Model study of photoadaptation and photoinhibition processes in photosynthesis. *Informatika i sistemy upravleniya*, 1 (55), 29-41. DOI:

- 10.22250/isu.2018.55.28-41. (in Russian).
- 2.Balandaykin, M.E. (2014). Dynamics and distinctions in concentration of the basic photosynthetic pigments of leaves of the birch growing in impure conditions. *Chemistry of plant raw material*, 1 (1), 159-164. DOI: 10.14258/jcprm.1401159. (in Russian).
- 3.Balandaykin, M.E. (2014). Dynamics and distinctions in concentration of the basic photosynthetic pigments of leaves of the birch growing in impure conditions. *Chemistry of plant raw material*, 1 (1), 159-164. DOI 10.14258/jcprm.1401159. (in Russian).
- 4.Bessonova, V.P. (2006). Workshop on plant physiology. Dnipropetrovsk, Dnipro State Agrarian and Economic University. (in Ukrainian).
- 5.Bessonova, V.P., Chongova, A.S., Sklyarenko, A.V. (2020). Influence of multicomponent contamination on the content of photosynthetic pigments in the leaves of woody plants commonly planted for greening of cities. *Biosystems Diversity*, 28 (2), 203-208. DOI: 10.15421/012026.
- 6.Bhatla, S.C., Lal, M.A. (2018). *Plant physiology, development and metabolism*. Singapore, Springer. DOI: 10.1007/978-981-13-2023-1.
- 7.Bielyk, Yu.V., Savosko, V.M., Lykholat, Y.V. (2019). Taxonomic composition and synanthropic characteristic of woody plant community on Petrovsky waste rock dumps (Kryvorizhzhya). *Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District*, 4, 104-113. DOI: doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v4i0.2565. (in Ukraine)
- 8.Bielyk, Y., Savosko, V., Lykholat, Y., Heilmeier, H., Grygoryuk, I. (2020). Macronutrients and heavy metals contents in the leaves of trees from the devastated lands at Kryvyi Rih District (Central Ukraine). *E3S Web of Conferences*, 166, 01011. DOI:doi.org/10.1051/e3sconf/202016601011.
- 9.Bukhanov, E.R., Korshunov, M.A., Shabanov, A.V. (2018). Optical processes in photosynthesis. *Siberian Journal of Forest Science*, 5, 19-32. DOI: 10.15372/SJFS20180502. (in Russian)
- 10.Bussotti, F., Pollastrini, M. (2017). Traditional and novel indicators of climate change impacts on European forest trees. *Forests*, 8, 137. DOI: 10.3390/f8040137.
- 11.Chypylyak, T.F. (2017). Content of pigments in leaves of species of the genus *Hemerocallis* L. for introduction in the steppe zone of Ukraine. *Plant Physiology and Genetics*, 49 (2), 142-151. DOI: https://doi.org/10.15407/frg2017.02.142. (in Ukraine)
- 12.Clemens, S. (ed.). (2019). *Plant physiology and function*. New York, Springer. DOI: doi.org/10.1007/978-1-4614-7611-5.
- 13.Croft, H., Chen, J.M., Wang, R., Mo, G., Luo, S., Luo, X., He, L., Gonsamo, A., Arabian, J., Zhang, Y., Simic-Milas, A., Noland, T.L., He, Y., Homolová, L., Malenovský, Z., Yi, Q., Beringer, J., Amiri, R., Hutley, L., Arellano, P. (2020). The global distribution of leaf chlorophyll content. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111479. DOI: doi.org/10.1016/j.rse.2019.111479.
- 14.Dogutan, D.K., Nocera, D.G. (2019). Artificial photosynthesis at efficiencies greatly exceeding that of natural photosynthesis. *Accounts of Chemical Research*, 52, 11, 3143-3148. DOI: doi.org/10.1021/acs.accounts.9b00380.
- 15.Dwivedi, P.R., Singh, A.O., Singh, V.C. (2020). Effects of air pollution on chlorophyll content and

ascorbic acid concentration and defence mechanism of different plant samples. *Chemical science review and letters*, 9 (34), 403-409. DOI:10.37273/chesci.CS205101124.

16.Ivanishchev, V.V. (2018). Problematic questions in biochemistry of photosynthesis. *The Bulletin of Kharkiv national agrarian university. Series Biology*, 1 (43), 76-92. DOI: doi.org/10.35550/vbio2018.01.076. (in Russian)

17.Ivanishchev, V.V. (2021). Problematic questions in biochemistry of photosynthesis. *The Bulletin of Kharkiv national agrarian university. Series Biology*, (43), 76-92. DOI: doi.org/10.35550/vbio2018.01.076. (in Ukraine).

18.Kalacheva, N.V., Kashulin, P.A., Zhurina, E.I. (2018). Photosynthetic synchronicity and resistance of the boreal plants. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 1 (10), 107-117. DOI: 10.25702/KSC.2307-5228-2018-10-1-107-117. (in Russian).

19.Ke, J. (2021). Artificial photosynthesis and solar fuels. *Solar-to-Chemical Conversion*, 7-39. DOI: doi.org/10.1002/9783527825073.ch 2.

20.Korshykov, I. (2019). Viability of common yew (*Taxus baccata* L.) plants in conditions of Kryvyi Rih. *Plant Introduction*, 81, 58-67. DOI: doi.org/10.5281/zenodo.2650461. (in Ukraine).

21.Korshykov, I., Sushynska, N. (2019). Seasonal dynamics of content of photosynthetic pigments in variegated-leaf forms of *Berberis thunberg* DC. *Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series Biology*, 3 (77), 59-64. DOI: 10.25128/2078-2357.19.3.8. (in Ukraine).

22.Kudela, A.D. (1984). Complex

use of mineral resources of iron-ore mining combines of the USSR. Kyiv, Naukova Dumka. (in Russian).

23.Likhachev, S.V., Pimenova, E.V., Zhakova, S.N. (2019). Fluoride contamination indication in environmental monitoring of the territory of Perm City using *Acer negundo* L. *University proceedings. Volga region. Natural sciences*, 3 (27), 110-118. DOI: 10.21685/2307-9150-2019-3-11. (in Russian).

24.Luo, X., Croft, H., Chen, J.M., He, L., Keenan, T.F. (2019). Improved estimates of global terrestrial photosynthesis using information on leaf chlorophyll content. *Global change biology*, 25 (7), 2499-2514. DOI: doi.org/10.1111/gcb.14624.

25.McDonald, J.H. (2014). *Handbook of biological statistics*, 3rd ed. Baltimore, Sparky house publishing.

26.Masikevich, A.Yu. (2019). Photosynthetic indicators of the atmospheric air pollution status of the Pokutsko-Bukovinian Carpathians. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29 (9), 87-91. DOI: doi.org/10.36930/40290915. (in Ukraine).

27.Mazura, M.Yu. (2020). Content of chlorophylls in the leaves of plants of the genus of *Canna* in conditions of Kryvyi Rih. *Biological systems: theory and innovation*, 11 (3), 34-42. DOI: doi.org/10.31548/biologiya2020.03.004. (in Ukraine).

28.Pessarakli, M. (Ed.). (2016). *Handbook of photosynthesis* (3rd ed.). Boca Raton, CRC Press. DOI: doi.org/10.1201/9781315372136.

29.Prysedsky, Yu. (Ed.). (2016). *Photosynthesis. Methodical manual for laboratory execution work and independent work*. Vinnytsia, Donetsk National University. (in Ukraine).

30.Savosko, V.M., Alekseeva, K.M. (2007). The systematical analyses of the natural dendroflora in

Govtneviy region at Kryvyi Rih. *Problems of Bioindication and Ecology*, 12 (2), 16-23. (in Russian).

31.Savosko, V.M., Lykholat, Y.V., Bielyk, Yu.V., Lykholat, T.Y. (2019). Ecological and geological determination of the initial pedogenesis on devastated lands in the Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28 (4), 738-746. DOI: doi.org/10.15421/111969.

32.Savosko, V.M., Lykholat, Y.V., Bielyk, Yu.V., Grygoryuk, I.P. (2019). Apophyte and adventives woody species in granite quarry devastated land at Kryvyi Rih District. *Biological Resources and Nature Management*, 11 (1-2), 14-25. DOI: doi.org/10.31548/bio2019.01.002. (in Ukrainian).

33.Savosko, V.M., Lykholat Y.V., Bielyk Y.V. (2021). Foresting of technogenic devastated lands as an effective factor for environmental safety at he mining & metallurgical district. In *Effects of pollution and climate change on the ecosystem components* (Ed. Y.V. Lykholat, pp. 6-39). Praha, Oktan Print. DOI: 10.46489/EOPACC-1204211.

34.Savosko, V.M., Bielyk, Y.V., Lykholat, Y.V., Heilmeier, H., Grygoryuk, I.P., Khromykh, N.O., Lykholat, T.Yu. (2021). The total content of macronutrients and heavy metals in the soil on devastated lands at Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 3 (31), 153-164. DOI: doi.org/10.15421/112114.

35.Sepúlveda, P., Johnstone, D.M. (2019). A novel way of assessing plant vitality in urban trees. *Forests*, 10 (2). DOI: 10.3390/f10010002.

36.Shupranova, L.V., Lykholat, Y.V., Khromikh, N.O., Grytzaj, Z.V.,

Alexeyeva, A.A., Bilchuk, V.S. (2017). Reaction of photosynthetic apparatus of a representative of extrazonal steppe plants *Quercus robur* to air pollution by motor vehicle emissions. *Biosystems Diversity*, 25 (4), 268-273. DOI: 10.15421/011741.

37.Sokolova, G.G. (2020). Impact of technogenic pollution on the pigment composition of birch leaves (*Betula pendula* Roth.) in the urban conditions of Barnaul. *Problems of botany of Sout Siberia and Mongolia*, 19 (1), 223-228. DOI: 10.14258/pbssm.2020044. (in Russian).

38.Sokolova, G.G. (2020). The dynamics of pigments content in the leaves of *Acer negundo* L. in urban conditions of Barnaul. *Problems of botany of Sout Siberia and Mongolia*, 19 (1), 229-235. DOI: 10.14258/pbssm.2020045. (in Russian).

39.Stasik, O.O., Kiriziy, D.A., Priadkina, G.O. (2021). Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovative developments. *Plant physiology and genetics*, 53 (2), 160-184. DOI: doi.org/10.15407/frg2021.02.160. (in Ukraine).

40.Sushznaska, N.I., Korshzkov, I.I. (2019). The content of photosynthetic pigments in leaves of *Berberis thunbergii* forms in the Kherson region. *Chornomorski botanical journal*, 5 (4), 362-370. DOI: 10.32999/ksu1990-553X/2019-15-4-5. (in Ukraine).

41.Tulkova, E.G. (2019). Volatile organic compounds inhibiting effect on the photosynthetic pigments content in woody plants seedlings leaves. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*, 4, 36-44. DOI: doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-3-342-351 (in Russian).

42. Willey, N. (2016). *Environmental plant physiology*. New York, Garland Science. DOI: doi.org/10.1201/9781317206231.

43. Yashin, D.F., Zaitsev, G.A. (2015). The maintenance of photosynthesis pigments in leaves of european white birch (*Betula pendula* Roth.) and english oak (*Quercus robur* L.) in the conditional of Ufa industrial center. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy*

of Sciences, 17 (6), 274-277. (in Russian).

44. Zhuravleva, V.V., Kazazayev, V.V. (2017). On the modeling of plant photosynthesis in the context of global climate Change. *Izvestiya of Altai State University*, 4 (96), 104-106. DOI: [https://doi.org/10.14258/lizvasu\(2017\)4-18](https://doi.org/10.14258/lizvasu(2017)4-18). (in Russian)

Yu.V. Bielyk, V.M. Savosko, Yu.V. Lykholat, H. Heilmeier, I.P. Grygoryuk (2021) ECOLOGICAL DETERMINATION OF CHLOROPHYLL CONTENT IN THE LEAVES OF TREES NATURALLY GROWING ON DEVASTATED LANDS AT IRON ORE WASTE ROCK DUMPS. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 12(4):5-18.
<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/15988>.
<https://doi.org/10.31548/biologiya2021.04.001>

Abstract. The content of chlorophyll in leaves of tree species naturally growing on devastated lands was studied- Ash-leaved maple (*Acer negundo* L.), Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) were investigated. The analysis of the obtained results showed that in trees naturally growing on devastated lands at Petrovsky iron ore waste rock dumps the content of chlorophyll in leaves was less than in the control plot: by 35-65% in Ash-leaved maple, by 25-52% in Black locust- This results indicates difficult ecological conditions of these devastated lands. The content of chlorophyll in the leaves of Silver Birch, only on the plot V is statistically significantly lower than the control values. It is shown that concentration of chlorophyll decreases non-linearly with the increase in the level of pollution in comparison with control values. The results obtained can be used in future to develop a method for reclamation and restoration of devastated lands, using the example of Petrovsky waste rock dump.

Key words: chlorophyll, devastated lands, Ash-leaved maple, Silver Birch, Black locust, Kryvyi Rih District, waste rock dump.