

## ДИНАМІКА ПІГМЕНТІВ ФОТОСИНТЕЗУ В РОСЛИНАХ НА ТЕРИТОРІЇ НАФТОВИДОБУВНИХ РАЙОНІВ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Поліщук О.І., Лесів М.С., Антоняк Г.Л.

Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Сакаганського, 1, 79005, м. Львів, Україна

[alex1994pol@gmail.com](mailto:alex1994pol@gmail.com), [mlesivmarta@gmail.com](mailto:mlesivmarta@gmail.com), [halyna.antonyak@gmail.com](mailto:halyna.antonyak@gmail.com)

Нафтовидобувна діяльність створює ризик забруднення компонентів довкілля нафтою, вуглеводнями та іншими небезпечними речовинами, які шкідливо впливають здоров'я людей і біоту у природних екосистемах. З метою вивчення впливу нафтовидобувної діяльності на фотосинтетичний апарат рослин і з'ясування їхнього адаптаційного й біоіндикаційного потенціалу проведено дослідження вмісту хлорофілу в дикорослих рослинах *Taraxacum officinale*, *Urtica dioica*, *Plantago major*, *Scirpus sylvaticus*, *Equisetum arvense* і *Pylaisia polyantha*, зібраних у районах Східницького і Старосамбірського нафтових родовищ на території Львівської області. Відбір наземних рослин здійснювали на ділянках, розташованих на віддалі 10 і 100 м від нафтових видобувних свердловин; рослини *S. sylvaticus* збирали у прибережних ділянках водойм, розміщених на території досліджень. Як контроль використовували рослини, зібрані в парковій зоні м. Львова, яка не зазнає техногенного впливу. У процесі досліджень встановлено відмінності в концентрації хлорофілу *a* і *b* та їхнього загального вмісту в рослинах, які ростуть на територіях видобування нафти, порівняно з рослинами, зібраними на контрольній ділянці. Здебільшого у проаналізованих видах рослин, зібраних на території нафтовидобування, виявлено зменшення концентрації хлорофілу в клітинах, що вказує на пригнічення функцій фотосинтетичного апарату. Зазначено пряму залежність між концентрацією пігментів фотосинтезу в листках *T. officinale* і віддаллю ділянок збору рослин від нафтових видобувних свердловин. У листках *P. major* і бічних гілочках *E. arvense* не виявлено зменшення вмісту хлорофілу за умов росту рослин поблизу видобувних свердловин, що вказує на здатність цих рослин адаптуватися до змін у стані компонентів довкілля, зумовлених видобуванням нафти. Водночас отримані результати свідчать про біоіндикаційний потенціал рослин *T. officinale*, *S. sylvaticus* і *P. polyantha* й придатність цих видів рослин до використання під час досліджень екологічного стану довкілля в районах, які зазнають техногенного навантаження внаслідок нафтовидобувної діяльності. *Ключові слова*: рослини, мохоподібні, гідрофіти, хлорофіл, фотосинтез, біоіндикація, екосистеми, видобування нафти, Львівська область.

**Dynamics of photosynthetic pigments in plants growing in oil-producing areas of Lviv region. Polishchuk A., Lesiv M., Antonyak H.**

Petroleum production is a source of environmental pollution with crude oil, hydrocarbons and other hazardous substances that adversely affect human health and biota in natural ecosystems. In order to study the effect of oil production on the photosynthesis system in plant cells and to clarify the adaptive and bioindication potentials of terrestrial and aquatic plants, the chlorophyll content in wild plants growing in oil-producing areas of Lviv region has been analyzed. Six plant species have been collected in the territory of the oil fields located in the vicinity of Skhidnytsia and Staryi Sambir in Lviv region, including *Taraxacum officinale*, *Urtica dioica*, *Plantago major*, *Scirpus sylvaticus*, *Equisetum arvense*, and the moss *Pylaisia polyantha*. Terrestrial plants were collected at sites located at a distance of 10 and 100 meters from the oil drilling rigs; *S. sylvaticus* plants were collected in water bodies located in the study area. For comparison, the plants of the mentioned species were collected in the park zone of the city of Lviv. The concentrations of photosynthetic pigments in plant material from this site were taken as control. The results obtained indicate differences in the concentration of chlorophylls *a* and *b* and their total content in plants that grow in oil production areas compared with the plants collected from the control plot. In plant species collected from oil-producing areas, a decrease in chlorophyll content was mainly observed, which indicated the suppression of the function of the photosynthetic apparatus. A direct relationship was observed between the concentration of photosynthetic pigments in the leaves of *T. officinale* plants and the distance of collecting sites from oil drilling rigs. No decrease in chlorophyll concentration was observed in the leaves of *P. major* and lateral branches of *E. arvense* plants growing in the immediate vicinity of drilling rigs, which may indicate the high ability of these plant species to tolerate oil-related environmental pollution. At the same time, the results of this study demonstrate the bioindication potential of *T. officinale*, *S. sylvaticus* and *P. polyantha* plants and their suitability for use in biomonitoring the state of the environment in areas exposed to anthropogenic pressure related to oil production. *Key words*: plants, bryophytes, hydrophytes, chlorophyll, photosynthesis, bioindication, ecosystems, oil production, Lviv region.

**Постановка проблеми.** Видобування й переробка нафти належать до найважливіших галузей промислового виробництва. Однак ці види виробничої діяльності зумовлюють екологічний ризик через забруднення навколишнього середовища внаслідок утворення відходів і викидів шкідливих речовин [1–3]. Функціонування видобувних сверд-

ловин і нафтопереробних заводів супроводжується утворенням стічних вод, нафтошламів і газоподібних забруднювачів; окрім того, на кожному етапі виробничого процесу і транспортування розливи та витіки нафти можуть забруднювати довкілля, що впливає на стан абіотичних і біотичних компонентів екосистем [3; 4].

**Актуальність дослідження.** У багатьох дослідженнях встановлено, що забруднення компонентів навколишнього середовища нафтою, нафтопродуктами або вуглеводневими інгредієнтами палива шкідливо впливає на наземну й водну біоту та погіршує загальний екологічний стан територій і акваторій [5–7]. Розливи нафти на суші завдають шкоди наземним екосистемам, спричиняють зменшення родючості ґрунту, пригнічують проростання насіння, ріст і продуктивність рослин [7; 8]. Водночас вивільнення летких вуглеводнів та інших шкідливих сполук під час добування і переробки нафти спричиняє забруднення атмосфери, несприятливо впливає на природні екосистеми і створює загрозу здоров'ю людей. Тому актуальні дослідження екологічного стану навколишнього середовища та пошук видів рослин-біоіндикаторів якості компонентів довкілля на територіях, де здійснюють нафтовидобувну діяльність.

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Виконане наукове дослідження є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри екології Львівського національного університету імені Івана Франка «Екологічний моніторинг абіотичних і біотичних компонентів середовища в умовах антропогенно-техногенного впливу на довкілля» (№ державної реєстрації 0119U002396).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основними компонентами нафти і нафтопродуктів є різні групи вуглеводнів, які характеризуються різною стійкістю в компонентах навколишнього середовища і неоднаковим впливом на біоту [1]. Ароматичні вуглеводні належать до найстабільніших, токсичних і канцерогенних сполук [9]. За умов потрапляння нафти або нафтопродуктів у навколишнє середовище леткі вуглеводні випаровуються в атмосферне повітря, інші – розкладаються під впливом мікроорганізмів, проте частина складників нафти впродовж тривалого часу залишається в компонентах довкілля [10]. Це призводить до змін структури і фізико-хімічних властивостей ґрунту, пригнічення росту рослинного покриву і погіршення якості води в поверхневих водоймах. В експериментах встановлено, що забруднення ґрунту компонентами нафти спричиняє морфологічні й анатомічні зміни в рослинах, руйнування мембранних структур і розладів внутрішньоклітинного метаболізму [11–13].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Сьогодні більшість досліджень впливу нафти і нафтопродуктів на метаболізм у рослинах здійснено з використанням модельних експериментів. Однак показники метаболізму, зокрема вміст пігментів фотосинтезу в рослинах, які ростуть у складі природних екосистем на території нафтовидобувних районів, вивчено недостатньою мірою. Водночас не досить з'ясовано біоіндикаційний потенціал рослин, які населяють ґрунт і водойми в районах видобування нафти. Зокрема, це стосується території

Львівської області, яка є одним із важливих нафтовидобувних регіонів України.

**Мета дослідження.** Метою роботи було з'ясувати динаміку вмісту хлорофілу та його фракцій (хлорофіл *a* і *b*) як основних компонентів фотосинтетичного апарату в клітинах судинних рослин і мохоподібних, зібраних на території Східницького і Старосамбірського нафтових родовищ Львівської області, й проаналізувати зв'язок між концентрацією пігментів фотосинтезу в рослинах різних видів і рівнем техногенного впливу на довкілля, зумовленого нафтовидобувною діяльністю.

**Новизна.** У дослідженнях з'ясовано зміни вмісту хлорофілу в рослинах, що населяють природні екосистеми в районах видобування нафти на території Львівської області. Встановлено видові особливості динаміки концентрації фотосинтетичних пігментів у рослинах і біоіндикаційний потенціал рослин *Taraxacum officinale* L., *Scirpus sylvaticus* L. і *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Schimp., які ростуть на територіях, де здійснюють нафтовидобувну діяльність; з'ясовано стійкість рослин *Plantago major* L. і *Equisetum arvense* L. до техногенного впливу, зумовленого нафтовидобувною діяльністю.

**Методологічне та загальнонаукове значення.** Отримані результати щодо динаміки пігментів фотосинтезу в рослинах важливі для екологічної оцінки стану компонентів довкілля в районах видобування нафти, а також для наукового аналізу метаболізму й адаптаційних можливостей рослин за умов росту в екосистемах, які зазнають антропогенного навантаження.

**Виклад основного матеріалу.** У дослідженнях використовували дикорослі судинні рослини: кульбабу лікарську (*Taraxacum officinale* (L.) Weber ex F.H. Wigg), кропиву дводомну (*Urtica dioica* L.), подорожник великий (*Plantago major* L.), комиш лісовий (*Scirpus sylvaticus* L.), хвощ польовий (*Equisetum arvense* L.) і представника мохоподібних – пілезію багатоквіткову (*Pylaisia polyantha* (Hedw.) Schimp.). Дослідження проведені впродовж 2020 р. на території, прилеглої до м. Старий Самбір (Старосамбірське нафтове родовище) і смт Східниця (Східницьке нафтове родовище) Львівської області, у яких вибрано ділянки відбору рослинного матеріалу поруч із активними нафтовими видобувними свердловинами (координати розташування свердловин, відповідно, 49°26'19.4"N 23°01'39.5"E і 49°13'43.8"N 23°20'01.9"E). Для збору наземних судинних рослин (*T. officinale*, *U. dioica*, *P. major*, *E. arvense*) було вибрано чотири ділянки: № 1 і № 2 – на території Східницького родовища, відповідно, на віддалі 10 м і 100 м від нафтової свердловини; № 3 і № 4 – на території Старосамбірського родовища на віддалі 10 м і 100 м від свердловин відповідно. Мох *P. polyantha* збирали на ділянках № 2 і № 4 (на віддалі 100 м від свердловин Східницького і Старосамбірського родовищ відповідно). Для порівняння досліджу-

вали рослини вказаних видів, зібрані в парковій зоні м. Львова, які позначали як контроль. Рослини *S. sylvaticus* збирали у прибережних ділянках водойм на території Східницького родовища (ділянка № 5) і Старосамбірського родовища (ділянка № 6). Як контроль використовували рослини, зібрані у прибережних ділянках водойм на території м. Львова, віддалених від джерел техногенного впливу.

Підготовку рослинного матеріалу до аналізу здійснювали за допомогою стандартних методів. З метою ідентифікації моху *P. polyantha*, який збирали зі стовбурів листяних дерев, зразки аналізували за допомогою стереоскопічного мікроскопа XS 6220. Вміст пігментів фотосинтезу визначали в листових пластинках рослин *U. dioica*, *T. officinale*, *P. major* і *S. sylvaticus*, у бокових гілочках вегетативних пагонів *E. arvense* і в гаметофітах *P. polyantha*. Пігменти фотосинтезу екстрагували з використанням 96 % етанолу; концентрацію фракцій хлорофілу *a* і *b* та їхній загальний вміст (хлорофіл *a+b*) визначали спектрофотометрично й обчислювали, використовуючи молярні коефіцієнти екстинкції [14]. Дослідження здійснювали у 3–5-кратній повторності. Отримані результати опрацьовували методами варіаційної статистики.

#### Результати дослідження та їх обговорення.

Результати досліджень вмісту хлорофілу в рослинному матеріалі, зібраному на територіях Східницького і Старосамбірського нафтових родовищ, свідчать про зміни у стані системи фотосинтезу рослин, які ростуть у зоні впливу нафтовидобувної діяльності. Зокрема, загальний вміст хлорофілу та концентрація хлорофілу *a* і *b* в листках *T. officinale*, зібраних на ділянках № 1 і № 3 (на віддалі 10 м від нафтових свердловин), менша в 2,18–2,74 раза ( $p < 0,01–0,001$ )

від значень цих показників у листках рослин, зібраних на контрольній ділянці (рис. 1). Натомість, у рослин, зібраних на віддалі 100 м від нафтових свердловин, зниження концентрації хлорофілу *a* і *b* та загального вмісту хлорофілу виявляється меншою мірою на ділянці № 2 (різниця порівняно з контролем становить 1,51–1,38 раза,  $p < 0,05$ ) і не виявляється на ділянці № 4. Отримані результати вказують на прямий зв'язок між вмістом пігментів фотосинтезу в листках *T. officinale* і віддаллю ділянок збору рослин від нафтових свердловин, які є потенційним джерелом забруднення компонентів довкілля [3]. Зміни вмісту хлорофілу виявлено і в інших видах рослин на досліджуваних ділянках. Однак зв'язок між розташуванням ділянок збору матеріалу й концентрацією пігментів фотосинтезу в рослинах менш виразний, ніж у *T. officinale*.

Зокрема, у листках рослин *U. dioica* значне зменшення загального вмісту хлорофілу та концентрації хлорофілу *a* і *b* (відповідно, в 2,44, 2,48 і 2,24 раза,  $p < 0,05–0,001$ ) виявляється в листках рослин із ділянки № 2, а в рослинах із ділянки № 3 виявлено менший вміст фракції *a* і загального вмісту хлорофілу, відповідно, в 1,63 і 1,59 раза ( $p < 0,05$ ) (рис. 2). У листках *U. dioica* з інших ділянок концентрація хлорофілу вірогідно не відрізняється від значень, характерних для рослин із контрольної ділянки.

У листках рослин *P. major* вірогідно менший вміст хлорофілу та обох його фракцій, порівняно з контролем ( $p < 0,05–0,01$ ), виявляється тільки на ділянці № 2 (рис. 3). Натомість у рослин з інших ділянок значних змін концентрації хлорофілу порівняно з контролем не встановлено. Такі результати вказують на стійкість метаболізму рослин *P. major* до змін хімічного складу компонентів довкілля,

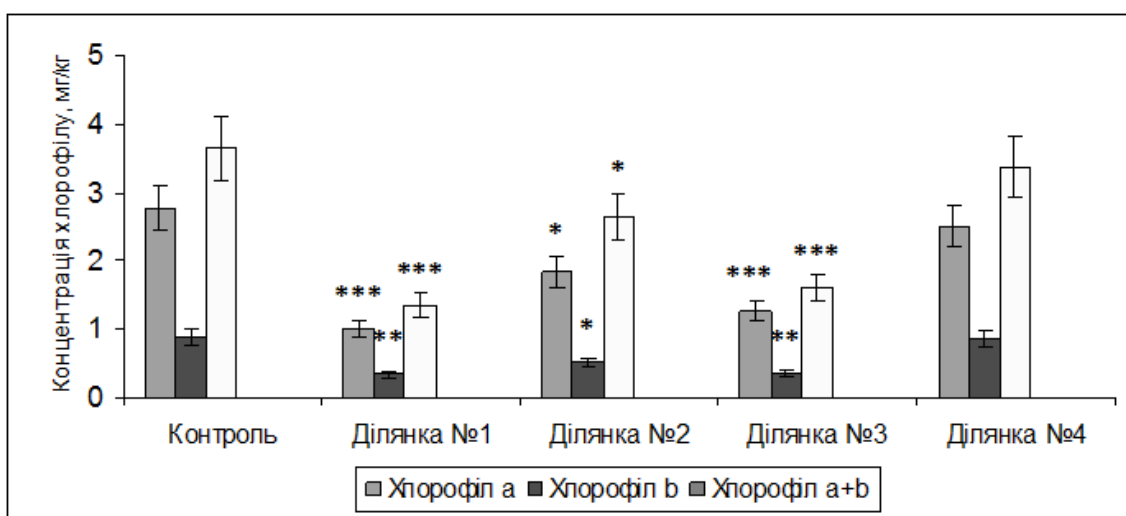


Рис. 1. Концентрація хлорофілу в листках рослин *Taraxacum officinale*, зібраних на контрольній ділянці і в районах видобування нафти

Примітка: на цьому і наступних рисунках \*, \*\*, \*\*\* – вірогідність різниць у показниках порівняно з контролем (\* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ )

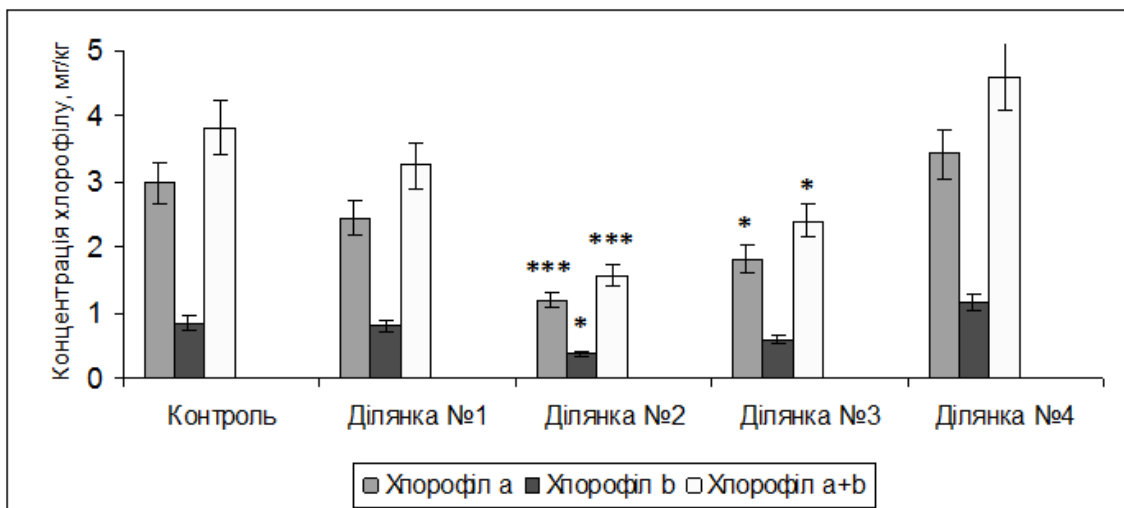


Рис. 2. Концентрація хлорофілу в листках рослин *Urtica dioica*, зібраних на контрольній ділянці і в районах видобування нафти

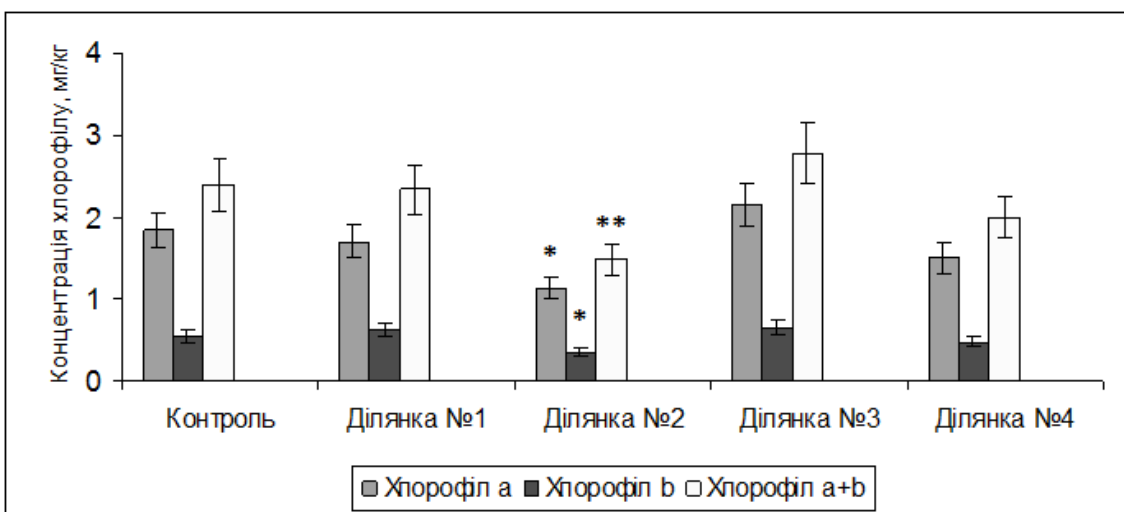


Рис. 3. Концентрація хлорофілу в листках рослин *Plantago major*, зібраних на контрольній ділянці і в районах видобування нафти

зумовлених нафтовидобувною діяльністю. З наукових джерел відомо, що деякі види рослин мають високу здатність адаптуватись до наявності вуглеводнів у середовищі росту [15; 16]. Значною мірою це зумовлюється формуванням у ризосфері рослин специфічного складу мікроорганізмів, здатних розкладати компоненти нафти [16]. Вірогідно, що такі чинники можуть зумовлювати толерантність рослин *P. major* до техногенного впливу на ділянках, прилеглих до нафтових свердловин.

Своєрідний характер змін у системі фотосинтетичного апарату виявлено під час аналізу рослин *E. arvense*, зібраних на досліджуваних ділянках (рис. 4). Зокрема, загальний вміст хлорофілу та концентрація хлорофілу *a* і *b* в бічних гілочках вегетативних пагонів *E. arvense* з ділянок № 2 і № 4 значно менші порівняно з контролем (у 2,3–2,9 раза,

$p < 0,01-0,001$ ). Натомість немає вірогідних відмінностей вмісту пігментів у рослинах із ділянки № 1 та концентрації хлорофілу *a* й загального вмісту хлорофілу в рослинах із ділянки № 3. Такі дані свідчать про здатність системи фотосинтезу рослин *E. arvense*, як і рослин *P. major*, адаптуватися до умов середовища на близькій віддалі від нафтових свердловин. На адаптаційну здатність рослин *E. arvense* може вказувати й підвищення концентрації хлорофілу *b* у рослинах, зібраних на ділянці № 3 (в 1,80 раза,  $p < 0,05$ ), оскільки збільшення вмісту цього типу хлорофілу вважають одним із фізіологічних пристосувань фотосинтетичного апарату рослин до несприятливих умов довкілля [17; 18].

Під час досліджень моху *Pylaisia polyantha*, який збирали на віддалі 100 м від нафтових свердловин, встановлено, що на ділянці № 4 (Старосамбірське

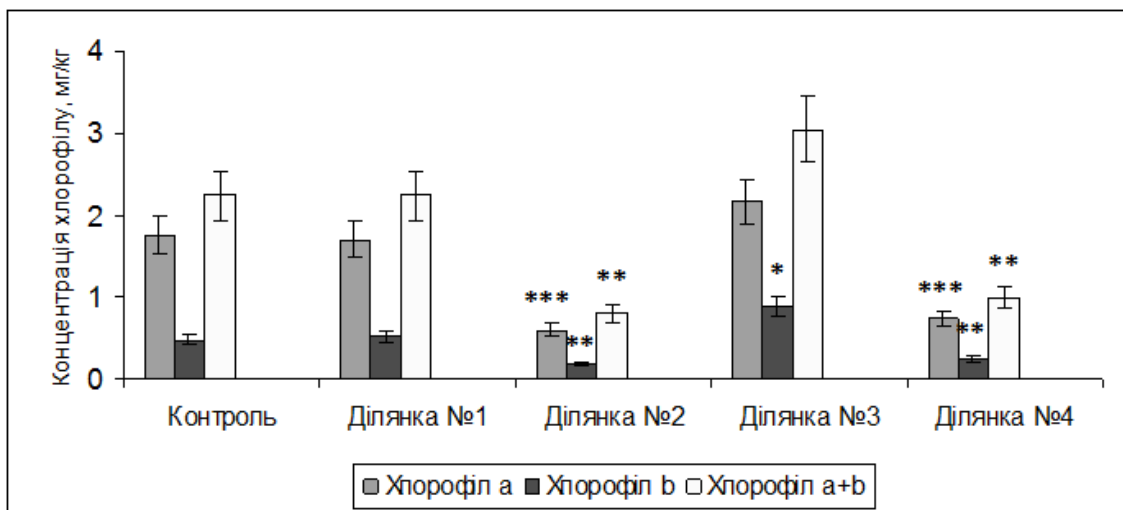


Рис. 4. Концентрація хлорофілу в бічних гілочках вегетативних пагонів *Equisetum arvense*, зібраних на контрольній ділянці і в районах добування нафти

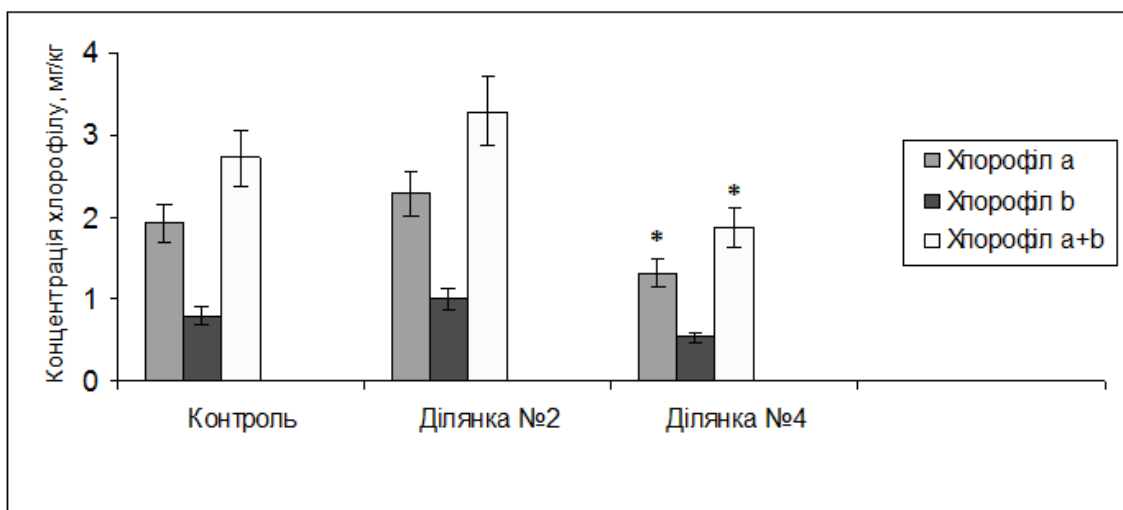


Рис. 5. Концентрація хлорофілу в гаметофіті моху *Pylaisia polyantha*, зібраного на контрольній ділянці і в районах видобування нафти

родовище) вміст хлорофілу *a* і загальна концентрація хлорофілу в гаметофіті досягають менших значень порівняно з контролем ( $p < 0,05$ ), але в рослинах, зібраних на ділянці № 2 (Східницьке родовище), ці показники не відрізняються від контролю (рис. 5). Варто зауважити, що, на відміну від інших аналізованих у роботі рослин, *P. polyantha* – це переважно епіфітний вид, метаболізм якого реагує на зміни складу атмосферного повітря [19–21]. У попередніх працях встановлено придатність цього виду мохоподібних до використання в біоіндикаційних дослідженнях стану атмосфери в районах, які зазнають техногенного навантаження [22; 23]. Отримані результати щодо зменшення вмісту хлорофілу в гаметофіті *P. polyantha* можуть вказувати на погіршення стану атмосферного повітря внаслідок нафтовидобувної діяльності на території Старосамбірського родо-

вища. Такий висновок узгоджується з результатами інших досліджень стану навколишнього середовища на цій території [7].

Поряд із аналізом впливу техногенного навантаження на компоненти фотосинтетичного апарату у клітинах наземних рослин важливим є вивчення впливу нафтовидобувної діяльності на пігменти фотосинтезу в рослинах-гідрофітах, які населяють водні та прибережні екосистеми. З метою з'ясування цього питання проведено дослідження з використанням гідрофіта *Scirpus sylvaticus*, який дуже поширений у прибережних ділянках водойм на території України. Отримані результати свідчать про зменшення загального вмісту хлорофілу в листках рослин *S. sylvaticus*, зібраного у водоймах на ділянках № 5 і № 6, в 1,35 раза ( $p < 0,05$ ) і 1,87 раза ( $p < 0,01$ ) відповідно, порівняно з контролем (рис. 6).

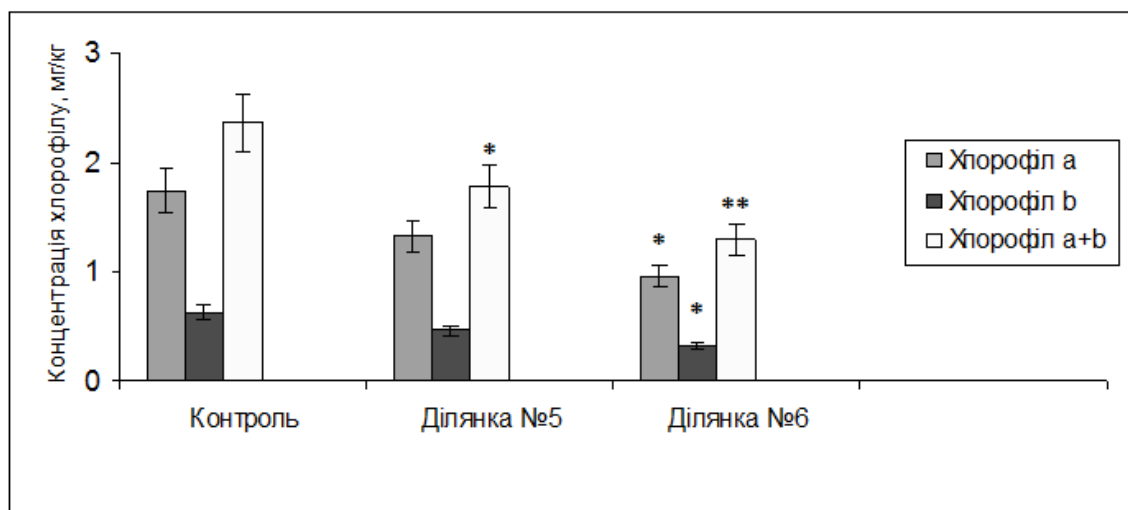


Рис. 6. Концентрація хлорофілу в листках рослин *Scirpus sylvaticus*, зібраних у водоймах на контрольній ділянці і в районах видобування нафти

Важливо зауважити, що в листках рослин із ділянки № 6 (Старосамбірське родовище) виявлено зменшення вмісту обох фракцій хлорофілу (хлорофілу *a* в 1,81 раза і хлорофілу *b* в 1,91 раза,  $p < 0,05$ ). Такі дані свідчать про пригнічувальний вплив нафтовидобувної діяльності в досліджуваних районах на процес фотосинтезу в клітинах *S. sylvaticus*, до того ж виразніше цей ефект виявляється на території Старосамбірського родовища.

**Головні висновки.** Результати досліджень свідчать про відмінності в концентрації фотосинтетичних пігментів у рослинах, які ростуть у природних екосистемах у районах видобування нафти у Львівській області, порівняно з контрольною ділянкою, яка не зазнає техногенного впливу. Загалом, в аналізованих у нашій роботі рослинах ріст на ділянках, прилеглих до нафтових свердловин, супроводжується зменшенням вмісту хлорофілу, що свідчить про погіршення екологічного стану ґрунту, водного середовища й атмосферного повітря під впливом нафтовидобувної діяльності.

Водночас спостерігається пряма залежність між концентрацією пігментів фотосинтезу в листках *T. officinale* і віддаллю ділянок збору рослин від джерел забруднення. Проте в листках рослин *P. major* і бічних гілочках вегетативних пагонів *E. arvense*, зібраних на віддалі 10 м від свердловин на території Східницького і Старосамбірського нафтових родовищ, зменшення концентрації хлорофілу не виявлено. Такий ефект може зумовлюватись особливостями метаболізму й високим адаптаційним потенціалом рослин, а також складом мікробних популяцій, який формується в їхній ризосфері на територіях, де здійснюють видобування нафти.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Отримані результати свідчать про біоіндикаційний потенціал рослин *T. officinale*, гідрофіта *S. sylvaticus* і бріофіта *P. polyantha* й придатність цих видів рослин до використання під час біомоніторингу стану навколишнього середовища на територіях, де здійснюють нафтовидобувну діяльність.

#### Література

- Spight J.G. The chemistry and technology of petroleum. 4<sup>th</sup> ed. Taylor & Francis Group, 2007. 954 p.
- Rajabi H., Mosleh M.H., Mandal P., Lea-Langton A., Sedighi M. Emissions of volatile organic compounds from crude oil processing – Global emission inventory and environmental release. *Sci. Total Environ.* 2020. 727:138654. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138654.
- Chand J. Environmental pollution monitoring in oil exploration and exploitation. Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management. Rao R.B.K.N., Au J., Griffiths B. (Eds). Springer, Dordrecht. 1990. P. 218–224. doi: 10.1007/978-94-009-0431-6\_34.
- Гринчишин Н.М. Причини та наслідки витоків нафти і нафтопродуктів на трубопроводному транспорті у Львівській області. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.8. С. 178–185.
- McCoy M.A., Salerno J.A. Assessing the effects of the Gulf of Mexico oil spill on human health. National Academies Press, 2010. 206 p.
- Udebuani A.C., Okoli C.I., Nwigwe H., Ozoh P.T. Effects of spent engine oil pollution on arable soil of Nekede Mechanic Village Owerri, Nigeria. *International Journal of Natural and Applied Sciences*. 2011. Vol. 7. N 3. P. 257–260.
- Джура Н.М., Подан І.І. Екологічні наслідки довготривалого нафтовидобутку на Старосамбірському родовищі Львівської області. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2017. Вип. 76. С. 120–127.
- Yahaya I.H., Lami R.S.M., Alkali A.I., Farouq A.A., Abakwak C.S. Biostimulation potentials of *Vigna* species (L.) in hydrocarbon impacted soil. *American Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2019. Vol. 7. P. 22–27. doi: 10.11648/j.bio.20190701.15.
- Purcaro G., Barp L., Moret S. Determination of hydrocarbon contamination in foods. A review. *Analytical Methods*. 2016. Vol. 8. P. 5755–5772. DOI: 10.1039/c6ay00655h.

10. Fowzia A., Fakhruddin A.N.M. A review on environmental contamination of petroleum hydrocarbons and its biodegradation. *International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources*. 2018. Vol. 11. N 3. 555811. doi: 10.19080/IJESNR.2018.11.555811.
11. Shukry W., Al-Hawas G., Al-Moaikal R., El-Bendary M. Effect of petroleum crude oil on mineral nutrient elements, soil properties and bacterial biomass of the rhizosphere of jojoba. *Br. J. Environ. Clim. Change*. 2013. Vol. 3. P. 103–118.
12. Baruah P., Saikia R.R., Baruah P.P., Deka S. Effect of crude oil contamination on the chlorophyll content and morpho-anatomy of *Cyperus brevifolius* (Rottb.) Hassk. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2014. Vol. 21. P. 12530–12538. DOI: 10.1007/s11356-014-3195-y.
13. Подан І.І., Джура Н.М. Вплив нафтового забруднення і гуматів на ріст рослин міскантусу. *Екологічні науки*. 2019. № 2 (25). С. 182–186. DOI: 10.32846/2306-9716-2019-2-25-30.
14. Knudson L.L., Tibbitts T.W., Edwards G.E. Measurements of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. *Plant Physiol.* 1977. Vol. 60. P. 606–608.
15. Fattah Q.A., Wort D.J. Effect of light and temperature on stimulation of vegetative and reproductive growth of bean plants by naphthenates. *Agronomy Journal*. 1970. Vol. 62. N 5. P. 576–577. doi: 10.2134/agronj1970.00021962006200050007x.
16. Odokuma L.O., Ubogu M. 2014. Quantitative assessment of hydrocarbon utilizing microflora of the rhizosphere of some plants in the rainforest and mangrove swamp in the Niger Delta. *Australian Journal of Biology and Environment Research*. 2014. Vol. 1. N 2. P. 31–42.
17. Cantabella D., Piqueras A., Acosta-Motos J.R., Bernal-Vicente A., Hernández J.A., Díaz-Vivancos P. Salt-tolerance mechanisms induced in *Stevia rebaudiana* Bertoni: Effects on mineral nutrition, antioxidative metabolism and steviol glycoside content. *Plant Physiol. Biochem.* 2017. Vol. 115. P. 484–496. doi: 10.1016/j.plaphy.2017.04.023.
18. Hoivanovych N., Antonyak H., Petriv M. Analysis of biochemical parameters of *Persicaria bistorta* in different ecosystems. *Sustainable Development and Human Health*. Krynski A., Tebug G.K., Voloshanska S. (Eds.). Czestochowa : Educator, 2020. P. 123–132.
19. Stringer P., Stringer M. Air pollution and the distribution of epiphytic lichens and bryophytes in Winnipeg, Manitoba. *Bryologist*. 1974. Vol. 77. P. 405–427.
20. Маєвський К.В Розподіл бриофлори м. Київ в умовах урбанізації. *Агробіологія*. 2012. № 8. С. 105–109.
21. Поліщук О.І., Панченко В.О., Гілецька І.Б., Антоняк Г.Л. Еколого-біохімічні особливості моху *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Schimp. Матеріали XIV Конференції молодих вчених «Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів», м. Київ, 23–24 жовтня 2019 р. Київ, 2019. С. 51–52.
22. Антоняк Г.Л., Мамчур З.І., Поліщук О.І. Біоіндикація стану атмосферного повітря у місті Львові з використанням моху *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Schimp. 5-й Міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», м. Львів, 26–29 вересня 2018 р. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. С. 65.
23. Поліщук О.І., Антоняк Г.Л., Першин О.І. Акумуляція металів у гаметофітах деяких видів мохів на території міста Львова (Україна). *Вісник проблем біології і медицини*. 2019. Вип. 3 (152). С. 58–62.