

ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І БІОХІМІЯ ВОДНИХ РОСЛИН

УДК 574.64:628.193.665.61:581.526.3

Л.О. ГОРБАТЮК, к. т. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна,
e-mail: ludmila.horbatiuk@gmail.com

О.О. ПАСІЧНА, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна,
e-mail: ecorasichna@gmail.com

М.О. ПЛАТОНОВ, к. б. н., наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна,
e-mail: n.platonov73@gmail.com

С.П. БУРМІСТРЕНКО, пров. інженер,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна,
e-mail: ecotoxhydrobiol@gmail.com

І.М. НЕЗБРИЦЬКА, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: inna_imn@ukr.net

Т.В. ВІТОВЕЦЬКА, к. х. н., доцент,
Київський національний університет будівництва і архітектури,
просп. Повітрофлотський, 31, Київ, 03680, Україна
e-mail: vitovetskaya@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ НАФТОПРОДУКТІВ НА ВМІСТ ТА СПІВВІДНОШЕННЯ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ *CERATOPHYLLUM DEMERSUM* L.

На підставі проведених досліджень встановлено, що у водному середовищі дія нафтопродуктів (бензин і дизельне паливо) у концентрації 5,0 і 10,0 мг/дм³ на представника занурених вищих водних рослин *Ceratophyllum demersum* L. призводила до значного зниження вмісту фотосинтетичних пігментів (хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів), а також зменшення величин співвідношення (хлорофіл *a*/хлорофіл *b*) та (хлорофіл *a* + хлорофіл *b*)/каротиноїди, що є ознакою пригнічення життєдіяльності макрофіта. Показано, що пігментна система *C. demersum* виявилась досить стійкою за концентрації бензину і дизельного пального 0,5 і 1,0 мг/дм³, що свідчить про

Ц и т у в а н н я: Горбатюк Л.О., Пасічна О.О., Платонов М.О., Бурмістренко С.П., Незбрицька І.М., Вітовецька Т.В. Особливості впливу нафтопродуктів на вміст та співвідношення фотосинтетичних пігментів *Ceratophyllum demersum* L. Гідробіол. журн. 2022. Т. 58. № 5. С. 91—104.

перспективність використання даного виду рослин для фітореMediaції помірно забрудненого нафтопродуктами водного середовища.

Ключові слова: нафтопродукти, бензин, дизельне паливо, водні рослини, *Ceratophyllum demersum* L., хлорофіли, каротиноїди, фітореMediaція.

Серед основних забруднювальних речовин, що надходять до водних об'єктів в Україні та світі, значну частку займають продукти переробки нафти. Основними джерелами їхнього потрапляння у внутрішні водойми України є недостатньо або взагалі неочищені промислові і комунальні стоки та поверхневий стік, насамперед під час паводків. Найбільш інтенсивним є надходження нафтопродуктів до басейну таких річок, як Дніпро та його притоки (Прип'ять, Десна, Інгулець та ін.), Сіверський Донець, Дністер та Південний Буг [8]. З кожним роком збільшується надходження нафтопродуктів і до водойм м. Києва внаслідок посилення антропогенної діяльності, інтенсивної розбудови мегаполісу та збільшення кількості його мешканців [1]. Зараз в Україні проблема нафтового забруднення водойм і ґрунтів різко загострилася та набула ознак екоциду через збитки, завдані доквілю в результаті російської військової агресії [11].

Токсичний вплив нафтопродуктів у водних екосистемах спрямований на всі ланки трофічного ланцюга, але насамперед небезпечний для фотосинтезуючих організмів, що становлять продукційну та енергетичну основу гідробіоценозів.

Деструктивні зміни у вмісті та складі фотосинтетичних пігментів є фізіологічною реакцією рослин на дію стресових чинників. Тому такі показники, як вміст хлорофілів і каротиноїдів, а також зміни їхнього вмісту і співвідношення, дозволяють оцінити ступінь токсичного впливу нафтопродуктів на фізіологічний стан макрофітів [12]. При цьому ступінь стійкості пігментного комплексу зумовлюється як фізіолого-біохімічними особливостями певного виду рослин [14], так і природою токсиканту, його концентрацією та тривалістю дії [30].

Результати досліджень фізіологічних реакцій та активності ферментних комплексів гідрофітів на нафтове забруднення води свідчать про істотне пригнічення їхньої фотосинтетичної активності та залежне від зростання концентрації сирої нафти або продуктів її переробки зменшення вмісту хлорофілів і каротиноїдів [4, 13, 15, 18, 19, 26]. Суттєві зміни відзначають також у кількісному співвідношенні окремих форм хлорофілів і каротиноїдів у тканинах гідрофітів за дії сирої нафти [16].

Відомо, що внаслідок своїх морфо-функціональних особливостей, деякі види водних рослин виявляють достатню толерантність та високий адаптивний потенціал до присутності нафтових вуглеводнів у середовищі [22, 24, 27], здатні до активної стимуляції нафтодеградуючої мікрофлори [25, 31], що відкриває можливості їхнього практичного застосування для детоксикації забруднених нафтопродуктами водних екосистем [17, 28].

До водних рослин, які є стійкими до хімічного забруднення, належить *Ceratophyllum demersum* L. Це занурена рослина, яка швидко наро-

ще біомасу і є типовим представником природних водойм України, що робить її перспективним об'єктом для застосування у фіторе mediaції природних водойм.

Метою нашої роботи було з'ясування особливостей впливу різних концентрацій бензину і дизельного пального на стан пігментної системи представника занурених макрофітів *Ceratophyllum demersum* L., а також оцінка перспектив його використання у фітотехнологіях відновлення водойм, забруднених нафтопродуктами.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктом досліджень був *Ceratophyllum demersum* L., який відноситься до занурених вищих водних рослин і дуже поширений в озерах і ставках України, зокрема у водоймах м. Києва [21].

Рослини *C. demersum* були відібрані із природних водойм м. Києва і поміщені в акваріум об'ємом 30 дм³ з відстояною водопровідною водою для акліматизації протягом двох тижнів. Один раз у 2—3 дні в акваріумі проводили заміну половини об'єму води.

Для проведення експерименту по п'ять молодих пагонів *C. demersum* довжиною 8—10 см поміщали у скляні ємності об'ємом 3 дм³, заповнені відстояною водопровідною водою.

У дослідні акваріуми вносили нафтопродукти (бензин А-95 і дизельне пальне) з таким розрахунком, щоб їхня концентрація у воді становила 0,5, 1,0, 5,0 і 10,0 мг/дм³. Зазначені концентрації нафтопродуктів (0,5 і 1,0 мг/дм³) характерні для внутрішніх водойм м. Києва, що зазнали часткової або повної антропогенної трансформації [2, 5]. Також брались до уваги і більш високі концентрації (5,0 і 10,0 мг/дм³), які реєструвались внаслідок аварійних виливів. Нафтопродукти вносили в акваріуми у вигляді водної емульсії, яку готували згідно методики [9] та додавали одразу після приготування.

В акваріумах рослини утримували впродовж 14 діб в умовах штучного освітлення люмінесцентними лампами денного світла інтенсивністю 3000 лк. Тривалість світлового періоду становила 16 год, температура води — 25±3 °С, рН — 7,6±0,5. Рівень води у дослідних ємностях підтримували шляхом регулярного додавання свіжої води до об'єму 3 дм³.

Контролем слугували рослини, які експонували в аналогічних умовах, але без додавання нафтопродуктів.

Оцінку впливу нафтопродуктів на пігментну систему *C. demersum* здійснювали за змінами вмісту хлорофілу *a*, хлорофілу *b* і каротиноїдів — основних фотосинтетичних пігментів вищих водних рослин. Вміст пігментів визначали спектрофотометричним методом після їхньої екстракції зі свіжої рослинної тканини 80%-вим ацетоном згідно методики [6]. Розрахунок концентрації пігментів здійснювали згідно формул [23] та виражали у міліграмах на 1 г сухої маси. Вміст сухої маси у сирому рослинному матеріалі визначали після його висушування при температурі 105 °С до сталої маси.

Визначення вмісту пігментів проводили у трьох повтореннях на 3-тю, 7-му, 10- і 14-ту добу експозиції.

Статистичну обробку отриманих результатів, зокрема розрахунок середнього значення та стандартного відхилення ($M \pm m$), проведено із використанням програми MS Excel 2016. Результати статистичної обробки відображено на рисунках.

Результати досліджень та їх обговорення

Аналіз впливу різних концентрацій бензину та дизельного пального у водному середовищі на пігментні характеристики *S. demersum* впродовж 14 діб експозиції показав, що на третю добу експерименту за дії бензину у мінімальній дослідженій концентрації (0,5 мг/дм³) спостерігалось зростання вмісту хлорофілу *a* у тканинах макрофітів на 11,5 %, а за дії дизельного пального — на 10 % порівняно з контролем (рис. 1, 2). На сьому добу вміст хлорофілу *a* у дослідних зразках також перевищував контрольні значення на 10,6—10,8 %, що може свідчити про стимулюючий вплив відносно низької концентрації нафтопродуктів на пігментну систему *S. demersum*. Варто зазначити, що аналогічний ефект малих доз нафти і нафтопродуктів реєстрували й інші дослідники [3, 29, 30]. Цей так званий «ефект гормезису» [29] пов'язують з мобілізацією адаптивно-захисних механізмів, зокрема в ультраструктурі хлоропластів, для протидії токсичному стресу [3].

За дії бензину в концентрації 1,0 мг/дм³ впродовж 10 діб не виявлено вірогідних відмінностей у вмісті хлорофілу *a* між контролем і дослідним варіантом. Однак вже на 14-ту добу вміст хлорофілу *a* в рослині знизився на 16 %. У той же час, дизельне пальне за концентрації 1,0 мг/дм³ у більшій мірі пригнічувало пігментну систему *S. demersum* (на 10-ту добу досліді вміст хлорофілу *a* в рослинах зменшився на 12,4 %, а на 14-ту добу — на 25,2 %).

Зі збільшенням концентрації бензину до 5,0 і 10,0 мг/дм³ спостерігалась значна деградація хлорофілу *a* у тканинах *S. demersum* після трьох діб експозиції, внаслідок чого до кінця експерименту його вміст зменшився відповідно на 41,7 і 54 % порівняно з контролем.

Дизельне пальне в концентрації 5,0 і 10,0 мг/дм³ виявляло більш руйнівну дію на хлорофіл *a*, у результаті чого до кінця експозиції його вміст у дослідних зразках був меншим відповідно на 43,8 і 64,7 %, ніж у контролі, що може свідчити про більшу токсичність дизельного пального для *S. demersum* порівняно з бензином.

Відомо, що занурені водні рослини відрізняються від інших макрофітів більш високим вмістом хлорофілу *b* у структурі пігментного комплексу, що забезпечує їм ефективну світлозбиральну функцію в умовах низької освітленості товщі води [7].

Дослідження змін вмісту хлорофілу *b* у тканинах *S. demersum* зі збільшенням концентрації нафтопродуктів показало, що за дії бензину у мінімальній концентрації (0,5 мг/дм³) протягом 3—7 діб відбувалось підвищення вмісту хлорофілу *b* у рослинах на 12—15 %, а за дії дизельного па-

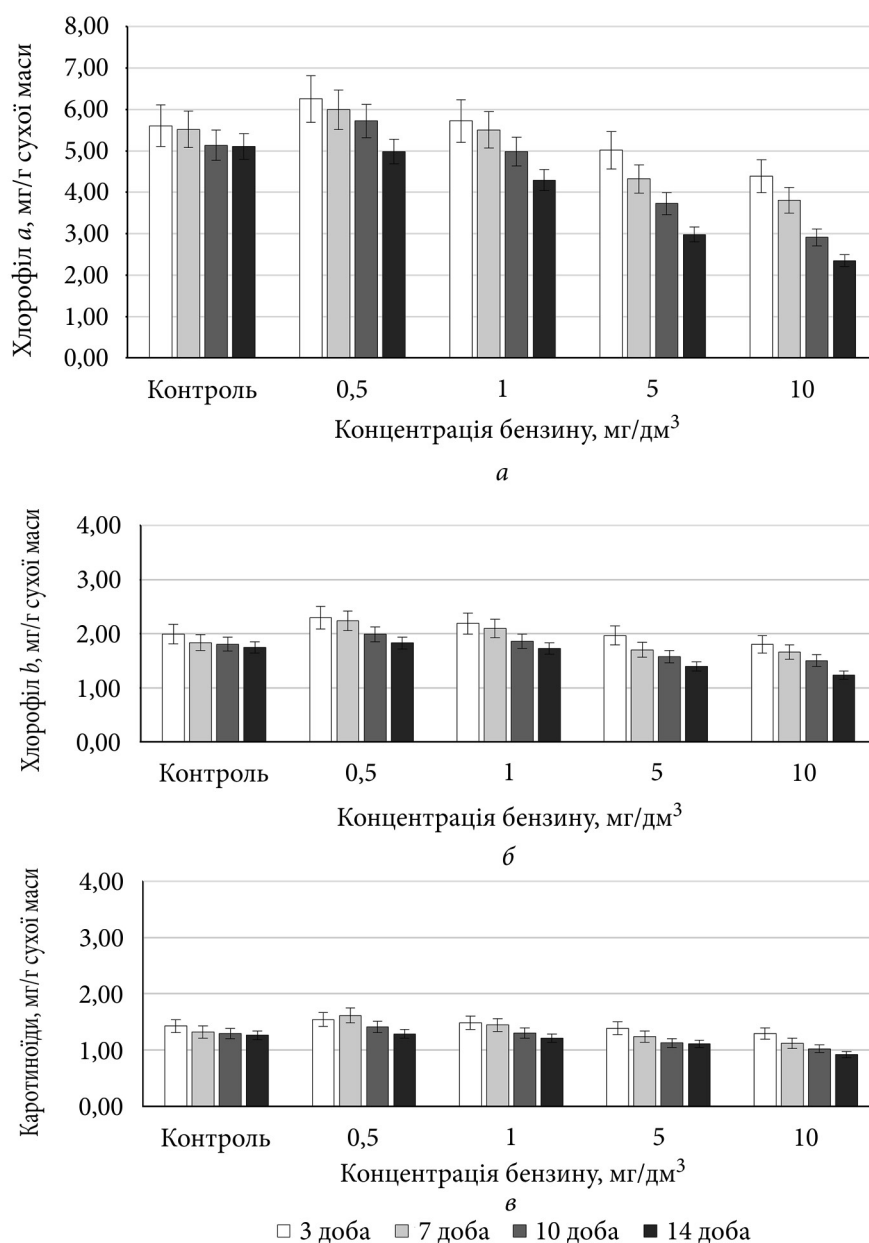


Рис. 1. Вміст хлорофілу *a* (*a*), хлорофілу *b* (*b*) і каротиноїдів (*v*) у *Ceratophyllum demersum* за різних концентрацій бензину у водному середовищі ($M \pm m$; $n = 3-4$)

льного — на 15—20 % (див. рис. 1, 2). Аналогічне збільшення вмісту хлорофілу *b* у тканинах *C. demersum* відмічено і за концентрації нафтопродуктів 1,0 мг/дм³, але у дещо меншій мірі: на 9,8 % — за дії бензину і 17 % — за дії дизельного пального.

В той же час, вплив нафтопродуктів у більш високих концентраціях (5,0 і 10,0 мг/дм³) на *C. demersum* протягом 14 діб експерименту призво-

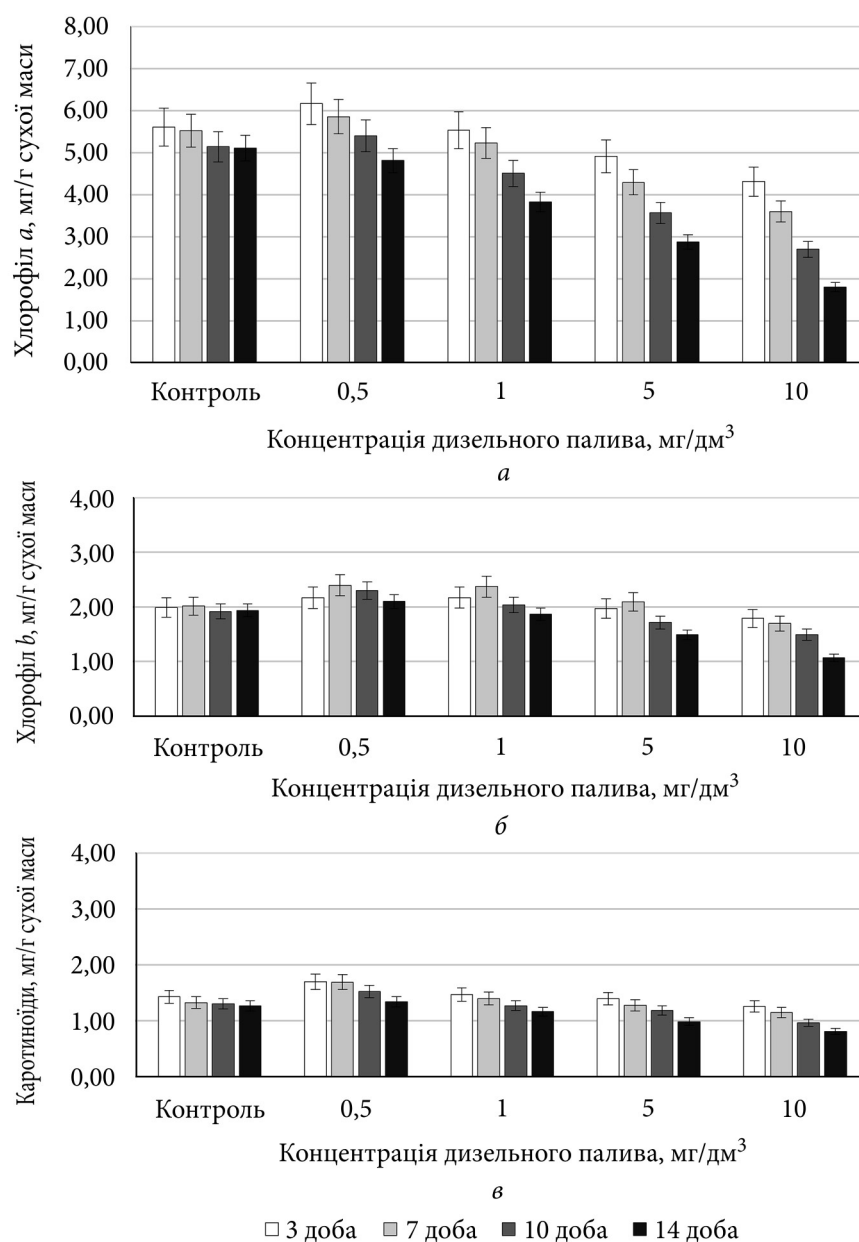


Рис. 2. Вміст хлорофілу *a* (а), хлорофілу *b* (б) і каротиноїдів (в) у *Ceratophyllum demersum* за різних концентрацій дизельного пального у водному середовищі ($M \pm m$; $n = 3-4$)

див до значних втрат хлорофілу *b*, які становили: 25 % — за дії бензину і 41,7 % — за дії дизельного пального. Проте, порівняно зі змінами вмісту хлорофілу *a*, зменшення вмісту хлорофілу *b* за весь час експозиції було дещо нижчим, що може бути ознакою його більшої стійкості до токсичної дії нафтопродуктів.

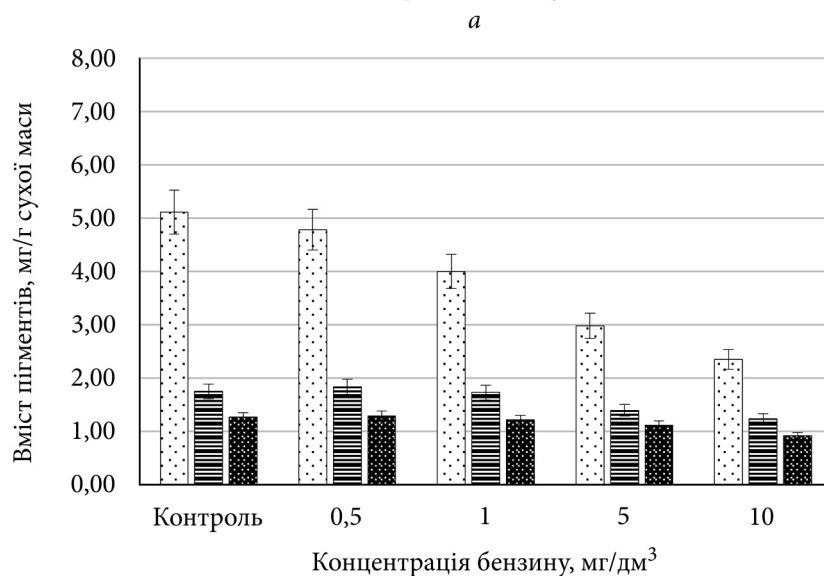
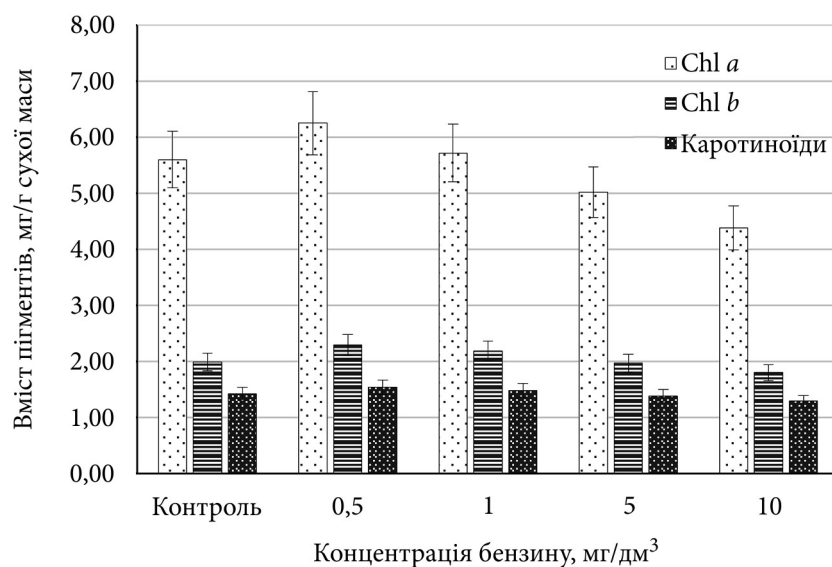
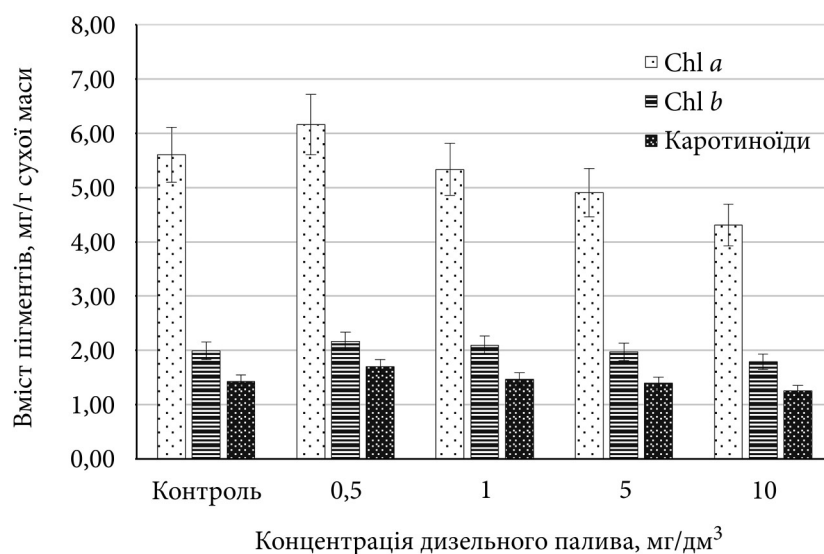


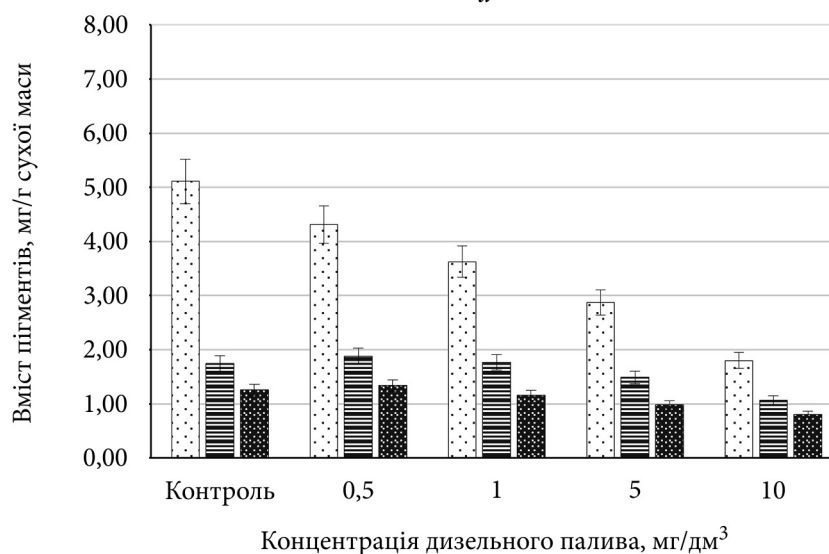
Рис. 3. Зміни у пігментному складі *Ceratophyllum demersum*. на 3-тю (а) і 14-ту (б) добу експозиції за дії різних концентрацій бензину у водному середовищі ($M \pm m$; $n = 3-4$)

Важливу роль в адаптаційних перебудовах рослинного організму до дії несприятливих чинників середовища відіграють каротиноїди, які, будучи переносниками активного кисню, виконують функцію захисту клітинних структур від процесів вільнорадикального окиснення [20].

Як засвідчив аналіз змін вмісту каротиноїдів, у пігментному комплексі *C. demersum* за дії нафтопродуктів у концентраціях 0,5 і 1,0 мг/дм³ простежується збільшення кількості зазначених пігментів у тканинах



a



б

Рис. 4. Зміни у пігментному складі *Ceratophyllum demersum* на 3-тю (а) і 14-ту (б) добу експозиції за дії різних концентрацій дизельного пального у водному середовищі ($M \pm m$; $n = 3-4$)

рослини на 3-тю — 7-му добу експозиції: на 9,4—22,4 % — за дії бензину і на 18,9—27,9 % — за дії дизельного пального (див. рис. 1, 2).

Проте, з підвищенням концентрації нафтопродуктів до 5,0 і 10,0 мг/дм³ спостерігалось зниження вмісту каротиноїдів у дослідних зразках впродовж 14 діб експерименту: на 11,9—27,3 % — за дії бензину і на 22,2—36,4 % — за дії дизельного пального. Отже, нафтопродукти у за-

значених концентраціях виявляли відчутний пригнічувальний ефект на пігментну систему *C. demersum*, що супроводжувався значними втратами кількості як хлорофілів, так і каротиноїдів. В значній мірі цьому сприяє здатність нафтопродуктів утворювати плівку на поверхні водних рослин, що призводить до порушення газообміну та зниження їх фотосинтетичної активності [9].

Зміни вмісту тієї чи іншої форми хлорофілу і каротиноїдів залежать як від фізіолого-біохімічних особливостей самої рослини, так і від хімічної природи токсиканта, його концентрації і тривалості впливу [15], про що свідчить порівняльний аналіз змін у пігментному складі *C. demersum* на 3-тю і 14-ту добу експозиції за впливу різних концентрацій бензину і дизельного пального (рис. 3, 4).

Таблиця 1

Співвідношення вмісту хлорофілу *a* до хлорофілу *b* та хлорофілів до каротиноїдів у *Ceratophyllum demersum* L. за різних концентрацій бензину у водному середовищі

Тривалість експозиції, доба	Концентрація бензину, мг/дм ³	Хлорофіл <i>a</i> / хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл <i>a</i> +хлорофіл <i>b</i> / каротиноїди
3	Контроль	2,81	5,32
	0,5	2,72	5,55
	1	2,61	5,32
	5	2,55	5,03
	10	2,43	4,78
7	Контроль	3,01	5,57
	0,5	2,77	5,22
	1	2,63	5,26
	5	2,54	4,87
	10	2,29	4,87
10	Контроль	2,85	5,36
	0,5	2,88	5,46
	1	2,68	5,24
	5	2,37	4,71
	10	1,94	4,31
14	Контроль	2,93	5,43
	0,5	2,72	5,28
	1	2,49	4,97
	5	2,14	3,93
	10	1,91	3,90

Важливим показником функціонального стану пігментного комплексу рослин та його адаптивної спроможності до дії токсикантів є не лише абсолютний вміст хлорофілів *a* і *b*, але й співвідношення їхніх концентрацій, а також величина співвідношення сумарної кількості хлорофілів (*a* + *b*) до каротиноїдів [16].

Встановлено, що оптимум співвідношення хлорофіл *a*/хлорофіл *b* для тіньовитривалих рослин становить 2,5—2,9, а для світлолюбних — 3,2—4,0 [12]. Цей показник зазвичай зменшується за дії стресових чинників і може слугувати своєрідним індикатором стійкості та адаптаційної здатності рослин.

Слід зауважити, що зі збільшенням концентрації як бензину, так і дизельного пального у воді, а також тривалості експозиції, простежується чітка тенденція до зменшення відношення вмісту хлорофілу *a* до хло-

Таблиця 2

Співвідношення вмісту хлорофілу *a* до хлорофілу *b* та хлорофілів до каротиноїдів у *Ceratophyllum demersum* L. за різних концентрацій дизельного пального у водному середовищі

Тривалість експозиції, доба	Концентрація дизельного, мг/дм ³	Хлорофіл <i>a</i> / хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл <i>a</i> + хлорофіл <i>b</i> / каротиноїди
3	Контроль	2,81	5,32
	0,5	2,85	4,91
	1	2,55	5,26
	5	2,49	4,94
	10	2,41	4,86
7	Контроль	2,74	5,71
	0,5	2,44	4,89
	1	2,21	5,45
	5	2,05	5,02
	10	2,12	4,63
10	Контроль	2,68	5,44
	0,5	2,35	5,07
	1	2,21	5,17
	5	2,08	4,49
	10	1,81	4,36
14	Контроль	2,64	5,58
	0,5	2,29	5,17
	1	2,05	4,91
	5	1,93	4,44
	10	1,69	3,58

рофілу *b*, а також сумарного вмісту хлорофілів *a* і *b* до загального вмісту каротиноїдів у тканинах *C. demersum* (табл. 1, 2).

Про аналогічні зміни у співвідношенні фотосинтетичних пігментів у біомасі макрофітів із забруднених водойм техногенно трансформованих територій повідомляється, зокрема, у роботі [10]. Ці зміни, як зазначають автори, носять захисний характер, оскільки знижують ризик окиснювальних реакцій у хлоропластах і стабілізують пігментну систему рослин.

Виявлені перебудови у пігментному комплексі *C. demersum* за дії нафтопродуктів у концентраціях 0,5—1,0 мг/дм³ можуть бути пов'язані з адаптаційною активністю і посиленням синтезом каротиноїдів, а у випадку більш високих концентрацій — свідчити про деградацію хлорофілів і каротиноїдів на фоні вичерпання адаптаційних можливостей рослини.

Як засвідчили результати експерименту в цілому, пігментна система зануреного макрофіту *C. demersum* виявилась достатньо толерантною до дії нафтопродуктів у діапазоні концентрацій 0,5—1,0 мг/дм³, що дозволяє рекомендувати використання цього виду для відновлення екологічного стану водних екосистем, помірно забруднених нафтопродуктами.

Висновки

На підставі результатів проведених експериментальних досліджень встановлено, що пігментна система *Ceratophyllum demersum* L. є досить стійкою до впливу бензину і дизельного пального в концентрації 0,5 і 1,0 мг/дм³.

Дія нафтопродуктів у концентрації 5,0 і 10,0 мг/дм³ суттєво пригнічувала стан пігментного комплексу *C. demersum* і впродовж 14 діб призводила до зниження вмісту хлорофілу *a* на 54—64,7 %, хлорофілу *b* — на 25—41,7 % і каротиноїдів — на 27,3—36,4 % порівняно з контролем.

У пігментному комплексі *C. demersum* хлорофіл *a* виявився стійкішим до впливу підвищених концентрацій нафтопродуктів у водному середовищі, ніж хлорофіл *b*.

Дизельне пальне у досліджених концентраціях виявляє більш деструктивну дію на стан пігментної системи *C. demersum*, що може свідчити про його більшу токсичність для цього виду макрофітів порівняно з бензином.

Зі збільшенням концентрації нафтопродуктів у водному середовищі, а також тривалості експозиції, спостерігається зменшення співвідношення хлорофіл *a*/хлорофіл *b*, а також (хлорофіл *a* + хлорофіл *b*)/каротиноїди, що є ознакою суттєвого посилення токсичного впливу нафтопродуктів на пігментну систему *C. demersum*.

Достатня стійкість *C. demersum* до помірних рівнів нафтового забруднення води свідчить про перспективність його використання у технологіях фітореMediaції водного середовища, забрудненого нафтопродуктами.

Список використаної літератури

1. Водна стратегія міста Києва 2018—2025 рр. [Електронний ресурс]. <http://ple-so.org/wp-content/uploads/2018/03/DRAFT.pdf>.
2. Гончарова М.Т., Кіпніс Л.С., Коновець І.М. та ін. Екологічна оцінка якості води та донних відкладів озер системи Опечень (Київ). *Гідробіол. журн.* 2020. Т. 56, № 2. С. 72—82.
3. Горда А.И., Грубинко В.В. Влияние дизельного топлива на биосинтез протеинов, углеводов и липидов у *Chlorella vulgaris* Beijer. *Biotechnologia Acta.* 2011. Т. 4, № 6. С. 74—81.
4. Гусейнова В.П., Курейшевич А.В. Вплив бензину та дизельного палива на структурно-функціональні показники фітопланктону. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія.* 2014. Вип. 4 (61). С. 48—54.
5. Екологічні проблеми Київських водойм і прилеглих територій / За ред. чл.-кор. НАН України О.В. Романенка. Київ : Наук. думка, 2015. 192 с.
6. Мусієнко М.М., Паршикова Т.В., Славний П.С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. 200 с.
7. Ронжина Д.А., Некрасова Г.Ф., Пьянков В.И. Сравнительная характеристика пигментного комплекса надводных, плавающих и погруженных листьев гидрофитов. *Физиология растений.* 2004. Т. 51. № 1. С. 27—34.
8. Снітинський В.В., Антоняк Г.Л., Багдай Т.В. та ін. Сучасний стан та екологічні проблеми водних ресурсів України. *Журн. агробіол. та екол.* 2014. Т. 4, № 1. С. 9—16.
9. Степаньян О.В. Влияние нефтяного загрязнения на макрофиты Баренцева, Черного, Азовского и Каспийского морей в условиях современных климатических изменений : дисс. ... докт. биол. наук. Ростов-н/Д., 2020. 265 с.
10. Суходольська І.Л., Грубінко В.В. Уміст фотосинтетичних пігментів у вищих водних рослинах за різного рівня антропогенного навантаження. *Екол. науки. Наук.-практ. журн.* 2018. № 3 (22). С. 119—128.
11. Україна зафіксувала понад 100 випадків екоциду з моменту російського вторгнення [Електронний ресурс] <https://www.unian.ua/war/ponad-100-vipadkiv-ekocidu-v-ukrajini-rozprovili-pro-situaciyu-z-ekologiyeyu-z-pochatku-viyni-z-rf-novini-vtorgnennya-rosiji-v-ukrajinu-11775559.html>.
12. Фізіологія рослин. Вінниця : Нова книга. 2006. 416 с.
13. Atta A.M., Mohamed N.H., Hegazy A.K. et al. Green technology for remediation of water polluted with petroleum crude oil: using of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms combined with magnetic nanoparticles capped with myrrh resources of Saudi Arabia. *Nanomaterials* (Basel). 2020. Vol. 10, N 2. P. 262.
14. Bretherton L., Williams A., Genzer J. et al. Physiological response of 10 phytoplankton species exposed to macondo oil and the dispersant, Corexit. *J. of Phycology.* 2018. Vol. 54. Iss. 3. P. 317—328.
15. Calderyn-Delgado I.C., Mora-Solarte D.A., Velasco-Santamagna Y.M. Physiological and enzymatic responses of *Chlorella vulgaris* exposed to produced water and its potential for bioremediation. *Environ. Monit. Assess.* 2019. Vol. 191, N 6. P. 399.
16. Catriona M.O. Macinnis-Ng, Peter J. Ralph. In situ impact of petrochemicals on the photosynthesis of the seagrass *Zostera capricorni*. *Mar. Pollut. Bull.* 2003. Vol. 46, N 11. P. 1395—1407.
17. Dowty R.A., Shaffer G.P., Hester M.W. et al. Phytoremediation of small-scale oil spills in fresh marsh environments: a mesocosm simulation. *Mar. Environ. Res.* 2001. Vol. 52, N 3. P. 195—211.
18. El-Dib M.A., Abou-Waly H.F., El-Naby A.M.H. Impact of fuel oil on the freshwater alga *Selenastrum capricornutum*. *Bull. Environ. Contam. and Toxicol.* 1997. Vol. 59, N 3. P. 438—444.
19. El-Dib M.A., Abou-Waly H.F., El-Naby A.M.H. Fuel oil effect on the population growth, species diversity and chlorophyll (a) content of freshwater microalgae. *Int. J. Environ. Health. Res.* 2001. Vol. 11, N 2. P. 189—197.

20. Elstner E.F., Osswald W. Mechanisms of oxygen activation during plant stress. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. Section B. Biological Sciences. 1994. Vol. 102. P. 131—154.
21. Ivanova I.Yu., Kharchenko G.V., Klochenko P.D. Higher aquatic vegetation of water bodies of the town of Kiev. *Hydrobiol. J.* 2007. Vol. 43, N 3. P. 36—56.
22. Judy C. R., Graham S. A., Lin Q. et al. Impacts of Macondo oil from Deepwater Horizon spill on the growth response of the common reed *Phragmites australis*: a mesocosm study. *Mar. Pollut. Bull.* 2014. Vol. 79, N 1—2. P. 69—76.
23. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids. Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 1987. Vol. 148. P. 350—382.
24. Lopes A., Piedade M.T. Experimental study on the survival of the water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms — Pontederiaceae) under different oil doses and times of exposure. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2014. Vol. 21, N 23. P. 13503—13511.
25. Ribeiro H., Almeida C.M., Mucha A.P., Bordalo A.A. Influence of different salt marsh plants on hydrocarbon degrading microorganisms abundance throughout a phenological cycle. *Int. J. Phytoremediation*. 2013. Vol. 15, N 8. P. 715—728.
26. Szurkowski J., Tukaj Z. Characterization by photoacoustic spectroscopy of the photosynthetic *Scenedesmus armatus* system affected by fuel oil contamination. *Arch., Environ. Contam. and Toxicol.* 1995. Vol. 29, N 3. P. 406—410.
27. Wernick B.G., de Bruyn A.M., Patterson L., Chapman P.M. Effects of an oil spill on the regrowth of emergent vegetation in a northern Alberta Lake. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2009. Vol. 57, N 4. P. 697—706.
28. Yang X., Chen S., Zhang R. Utilization of two invasive free-floating aquatic plants (*Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes*) as sorbents for oil removal. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2014. Vol. 21, N. 1. P. 781—786.
29. Zhang H., Tang X., Shang J. et al. The effect of naphthenic acids on physiological characteristics of the microalgae *Phaeodactylum tricorutum* and *Platymonas helgolandica* var. *tsingtaoensis*. *Environ Pollut.* 2018. Vol. 240. P. 549—556.
30. Zhang H., Zhou Y., Kong Q. et al. Toxicity of naphthenic acids on the chlorophyll fluorescence parameters and antioxidant enzyme activity of *Heterosigma akashiwo*. *Antioxidants* (Basel). 2021. Vol. 10, Iss. 10. N 1582. 13 p.
31. Zhang X., Chen L., Liu X. et al. Synergic degradation of diesel by *Scirpus triqueter* and its endophytic bacteria. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2014. Vol. 21, N 13. P. 8198—8205.

Надійшла 04.05.2022

L.O. Gorbatiuk, PhD (Tech.), Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Geroyiv Stalingrada prosp., 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: ludmila.horbatiuk@gmail.com

O.O. Pasichna, PhD (Biol.), Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Geroyiv Stalingrada prosp., 12, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: ecopasichna@gmail.com

M.O. Platonov, PhD (Biol.), Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Geroyiv Stalingrada prosp., 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: n.platonov73@gmail.com

S.P. Burmistrenko, Leading Engineer,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Geroyiv Stalingrada prosp., 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: ecotoxhydrobiol@gmail.com

I.M. Nezbryska, PhD (Biol.), Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Geroyiv Stalingrada prosp., 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: inna_imn@ukr.net

T.V. Vitovetska, PhD (Chem.), Assoc. Prof.,
Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotsky Ave., 31, Kyiv, 03680, Ukraine
e-mail: vitovetskaya@ukr.net

PECULIARITIES OF PETROLEUM PRODUCTS INFLUENCE ON THE
PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS CONTENT AND RATIO OF
CERATOPHYLLUM DEMERSUM L.

Based on the results of research, it has been found that in the aquatic environment the influence of petroleum products (petrol and diesel fuel) at concentrations of 5.0 and 1.0 mg/L on submerged aquatic plant *Ceratophyllum demersum* L. leads to significant reduction in the content of photosynthetic pigments (chlorophyll *a* and *b*, carotenoids), as well as to decreasing in the quantitative ratio of chlorophyll *a*/chlorophyll *b* and (chlorophyll *a* + chlorophyll *b*)/carotenoids. This indicates the suppression of functional state of macrophytes pigment complex. It has been proved that pigment system of *C. demersum* is quite stable to the influence of gasoline and diesel fuel in concentrations of 0.5 and 1.0 mg/L, which indicates the prospects of the use of this species for phytoremediation of aquatic environment moderately polluted by oil products.

Keywords: *petroleum products, petrol, diesel fuel, aquatic plants, Ceratophyllum demersum* L., *chlorophyll, carotenoids, phytoremediation.*