

УДК 576.314:576.344+581.522.5:582.263

**ВПЛИВ ІОНІВ ЦИНКУ, СВИНЦЮ ТА ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА  
НА ЛІПІДНИЙ СКЛАД МЕМБРАН КЛІТИН ВОДНИХ РОСЛИН****К. Костюк, В. Грубінко***Тернопільський національний педагогічний університет**імені Володимира Гнатюка**вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль 46027, Україна*

У статті наведено дані про вплив іонів цинку, свинцю та дизельного палива водного середовища на ліпідний склад мембран клітин водних рослин – хлорели, елодеї та ряски. Обговорюється можлива участь різних класів ліпідів у адаптації водних рослин до дії досліджуваних токсикантів.

*Ключові слова:* водні рослини, важкі метали, дизельне паливо, мембрани, ліпіди.

Відомо, що структурні та динамічні характеристики мембранних ліпідів можуть змінюватися під впливом різних факторів: температури, тиску, рН, неорганічних іонів, ксенобіотиків тощо [17]. Клітини відповідають на ці впливи зміною кількісного, а іноді й якісного складу мембран [18]. Тому вивчення впливу токсичних факторів на ліпідний склад мембран як ключових елементів взаємозв'язку між зовнішнім середовищем і внутрішньоклітинними відповідями водних рослин, може прояснити питання резистентності або вразливості водних рослин.

Метою роботи було вивчення зміни ліпідного складу мембран клітин водних рослин за дії іонів цинку (метаболічний регулятор), свинцю та дизельного палива (неспецифічні токсиканти).

Дослідження проводили на хлорелі *Chlorella vulgaris* Beijer., елодеї *Elodea canadensis* і рясці *Lemna minor* L. Хлорелу вирощували в умовах накопичувальної культури в люменостаті при освітленні лампами денного світла (2500 лк) і температурі  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  на живильному середовищі Фітцджеральда в модифікації Цендера та Горхема (№ 11) [10]. Елодею та ряску вирощували в акваріумах з відстояною водопровідною водою в тих самих умовах. В експериментах до культури рослин у кожному випадку окремо додавали водні розчини солей металів  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  з розрахунку на іон:  $\text{Zn}^{2+}$  - 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, 2,0 і 5,0 мг/дм<sup>3</sup>;  $\text{Pb}^{2+}$  - 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, 0,2 і 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, що відповідає 1, 2 і 5 ГДК, а також дизельне паливо (ДП) в кількості 0,01 мг/дм<sup>3</sup>; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 мг/дм<sup>3</sup>, що становить 1, 5, 10, 20, 30 ГДК відповідно згідно з рибогосподарськими показниками шкідливості [4, 13]. Період інкубації водоростей із токсикантами становив 1, 3, 7 і 14 діб. Контролем були рослини, які росли в середовищі без токсикантів.

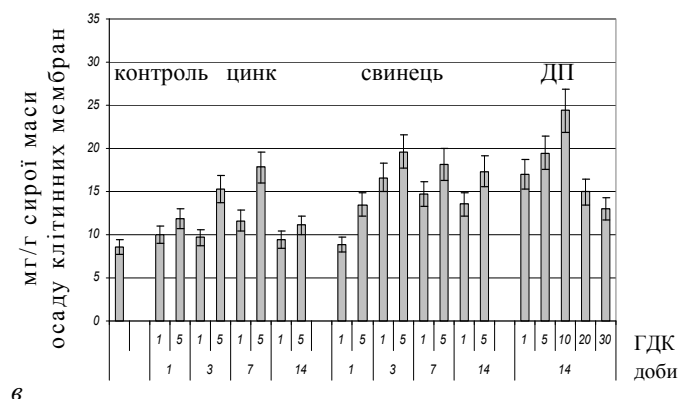
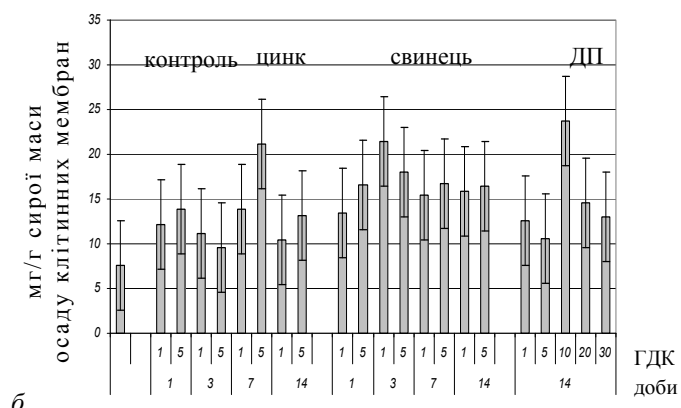
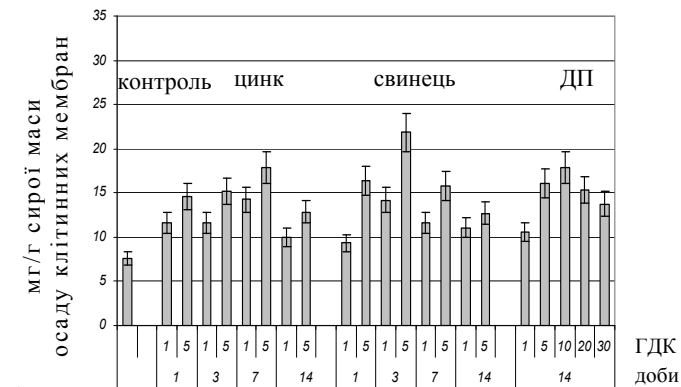
Клітинні мембрани виділяли за методикою Фіндлея та Еванза [14] з гомогенатів біомаси водних рослин (відділяли центрифугуванням при 1500 g, 20 хв), отриманих у механічному гомогенізаторі при 7000 об./хв у 5 мМ трис-НСІ буфері (рН 7,6), що містив 0,5 М сахарози, 0,005 М ЕДТА, 0,01 М КСІ та 0,001 М  $\text{MgCl}_2$  (сиря маса: об'єм буфера – 1:5), центрифугуванням при 5000 об./хв протягом 15 хв. Осад, що містив клітинні мембрани, ресуспензували у верхній фазі розчину, отриманого змішуванням двофазної системи розчинів 0,25 М сахарози і 30%-ного поліетиленгліколю в 0,2 М розчині фосфату натрію, попередньо витриманого 24 год при 4°C. Суспензію розподіляли порівну в три полікарбонатні пробірки об'ємом 50 мл, у кожену додавали 10 мл нижньої фази суміші розчинів, змішували та цен-

трифугували при 2000 g 15 хв у бакет-роторі. Мембранний матеріал відбирали у місці розділення фаз за допомогою шприца. Усі процедури здійснені при 4°C.

Ліпіди екстрагували хлороформ-метанольною сумішшю у співвідношенні 2:1 за методом Фолча [6]. Неліпідні домішки видаляли відмиванням 1% розчином КСІ [12]. Кількість загальних ліпідів визначали ваговим методом після відгонки екстрагувальної суміші [6]. Розділення ліпідів на окремі фракції здійснювали методом висхідної одномірної тонкошарової хроматографії в силікагелі на скляних пластинках після попереднього активування розділяючого шару [7] з використанням суміші гексану, диетилового етеру та льодяної оцтової кислоти у співвідношенні 70:30:1 [12]. Хроматограми проявляли в парах кристалічного йоду. Кількість неполярних ліпідів визначали біхроматним методом спектрофотометрично при довжині хвилі 615 нм [12]. Вміст фосfolіпідів після їхньої мінералізації при температурі 180°C визначали за кількістю неорганічного фосфору за методом Васьковського [21].

Отримані результати опрацьовані методами варіаційної статистики [9].

Порівняльний аналіз ліпідного складу клітин хлорели, елодеї та ряски, які росли у середовищі з важкими металами (ВМ) і дизпаливом (ДП), показав різницю у вмісті мембранних ліпідів порівняно з контрольним середовищем існування водних рослин (див. рисунок).



Загальний вміст ліпідів у мембранах клітин хлорели (а), елодеї (б) та ряски (в) при дії ВМ і ДП,  $M \pm m$ ,  $n=3$ .

При стресовому впливі вміст ліпідів у мембранах суттєво збільшується. Так, цинк стимулює накопичення ліпідів у всіх досліджуваних водних рослин. Їхня кількість зростає як у міру збільшення концентрації металів до 5 ГДК, так і зі збільшенням часу дії до 7 діб. До 14-ї доби дії кількість ліпідів у досліджених водних рослин стає близькою до контрольних показників. Найбільший загальний вміст ліпідів виявлений у хлорели (5 ГДК, 7-ма доба), найменший – у елодеї, що може бути пов'язано як з будовою її клітинної оболонки, так і з додатковими захисними утвореннями на поверхні листків багатоклітинних рослин.

У хлорели накопичення ліпідів максимальне при дії свинцю. Їх вміст практично удвічі вищий, ніж у контролі на 3–7-му доби дії іонів металу, після чого рівень ліпідів поступово знижується до контрольних значень. У елодеї та ряски динаміка вмісту ліпідів аналогічна, однак зниження їхньої кількості починається вже на 7-му добу дії металу, як і у разі дії цинку. Порівняно з цинком збільшення вмісту ліпідів при дії свинцю в усіх досліджених рослин у середньому на 10–15% вища, а у елодеї в 3,4 разу, що свідчить про стресовий вплив на водяні рослини сполук свинцю як типового токсиканта [24].

Дизельне паливо також стимулює накопичення ліпідів у всіх водних рослин, більше у хлорели і ряски. Зростання вмісту ліпідів удвічі відзначене до концентрації ДП 10 ГДК. При вищих концентраціях їхній вміст знижується, але він все ж вищий, ніж у контролі. Оскільки тривалий (до 14 діб) вплив токсикантів викликав зниження вмісту ліпідів, то можна припустити вичерпання їхньої структурно-функціональної здатності до захисту від дії токсикантів, бо раніше показано, що тривалий вплив металів (мідь, кадмій, цинк) на водні рослини спричиняє зниження загального вмісту ліпідів [20], причому чим вища токсичність металу, тим значніше зменшується загальний вміст ліпідів.

Щодо видових відмінностей чутливості водних рослин до токсикантів, то хлорела активно накопичує ліпідів при дії всіх досліджених токсикантів, причому приблизно на одному рівні. У елодеї максимум накопичення ліпідів викликають іони свинцю, потім ДП й іони цинку, у ряски – ДП і приблизно однаково іони металів. Такі розбіжності можуть бути пов'язані з особливостями будови клітин рослин, оскільки окремі клітини хлорели формують захисний мембранний бар'єр самостійно, а багатоклітинні утворення у ряски й елодеї – за рахунок покривних тканин, фізіології та способу життя (хлорела й елодея – занурені, а ряска – поверхнево плаваюча, що пояснює її чутливість до ДП, яке має поверхнево-активні властивості), а також особливостями енергетичного та пластичного обмінів [3].

У зв'язку з виявленими закономірностями виникає питання про співвідношення вмісту основних класів ліпідів. Високу стійкість мембран пристосованих рослин пов'язують, зокрема, з якісними та кількісними змінами у складі їхніх ліпідів, перш за все триацилгліцеролів і фосфоліпідів [15]. Тому нами досліджено кількісні зміни вмісту триацилгліцеролів (ТАГ), диацилгліцеролів (ДАГ), фосфоліпідів (ФЛ) та неетерифікованих жирних кислот (НЕЖК) (див. таблицю). Кількість ліпідів у мембранах водних рослин значно збільшувалася при дії всіх токсикантів. Домінуючими групами є ТАГ і ФЛ. Поряд із тим, відносний вміст ДАГ і НЕЖК також зростає. Підвищення вмісту ТАГ – один із факторів стабілізації мембран, тому що у фізіологічних умовах вони є попередниками утворення ДАГ і НЕЖК [19]. Вміст ТАГ у водних рослин порівняно з іншими ліпідами вищий у 1,5-2 рази. Дія іонів цинку сприяла збільшенню їхньої кількості у хлорели більш ніж удвічі, елодеї – у 2-3 рази, ряски – в 1,5-2 рази. Максимальне збільшення ТАГ виявлено на 7-му добу при 5 ГДК за дії іонів цинку.

Іони свинцю стимулювали максимальне накопичення ТАГ у всіх водних рослин на третю добу дії. Більше накопичення ТАГ при дії обох металів було при їхній концентрації у середовищі культивування 5 ГДК, на 20-25% вище, ніж при концентрації 1 ГДК.

ДП також стимулювало накопичення ТАГ із максимумом при 5 ГДК у хлорели (у 2,5 рази більше, ніж у контролі), а в елодеї і ряски у 2-2,5 разу більше при 10 ГДК, порівняно з контролем.

Співвідношення вмісту ТАГ:ДАГ:ФЛ:НЕЖК у водних рослин при дії токсикантів, %

Токсикант	Умови впливу		Рослини			
	Тривалість дії, діб	ГДК	Хлорела	Елодея	Ряска	
	Контроль	-	39:31:2:27	42:27:3:28	42:29:3:26	
Zn <sup>2+</sup>	1	1	51:23:2:24	52:23:2:23	45:26:5:24	
		5	46:30:2:22	53:24:1:22	47:25:6:22	
	3	1	52:28:2:18	45:27:2:26	45:27:4:24	
		5	48:30:2:20	51:25:2:22	38:28:6:28	
	7	1	44:30:2:24	55:22:3:20	40:26:7:27	
		5	44:31:2:23	52:23:4:21	39:25:8:28	
	14	1	46:25:2:27	47:27:2:24	47:25:3:25	
		5	51:25:2:22	50:24:2:24	45:27:3:25	
	Pb <sup>2+</sup>	1	1	38:26:15:21	58:16:8:18	43:29:3:25
			5	30:21:28:21	58:16:8:18	44:30:4:22
3		1	37:21:25:17	50:21:9:20	38:27:9:26	
		5	36:20:26:18	49:18:11:22	41:24:10:25	
7		1	33:22:23:22	52:17:8:23	40:26:9:25	
		5	33:17:29:21	50:18:9:23	42:24:9:25	
14		1	40:20:22:18	47:22:8:23	43:24:9:24	
		5	39:22:22:17	47:22:8:23	43:25:9:23	
ДП		14	1	53:15:10:22	50:23:12:15	49:17:14:20
			5	49:20:15:16	58:17:8:17	48:20:14:18
	10		46:23:16:15	46:17:13:24	46:18:12:24	
	20		49:20:13:18	49:20:12:19	52:18:12:18	
	30		52:15:13:20	53:18:10:19	51:15:14:20	

Отримані результати свідчать про те, що накопичення ТАГ є типовою реакцією водних рослин на дію токсикантів. Це узгоджується з літературними даними, згідно з якими рівень накопичення триацилгліцеролів у клітинах хлорели при стресі може становити 80% їхньої сухої біомаси [2]. Можна припустити єдиний механізм участі ТАГ у стабілізації мембран клітин водних рослин при токсичній дії, оскільки збільшення вмісту ТАГ співвідноситься з ущільненням і зниженням плинності мембран [5].

Як відомо, стресовий вплив на мембранні ліпіди активує ліпази та фосфоліпази [11]. Тому разом зі зростанням рівня ТАГ у всіх водних рослин підвищувався вміст у мембранах ДАГ, ФЛ і, відповідно, НЕЖК.

У хлорели іони цинку та свинцю в обох концентраціях підвищували вміст ДАГ. Максимальне їх накопичення при дії іонів цинку спостерігали на сьому добу, а свинцю – на третю, після чого вміст ліпідів цієї групи зменшувався на 60–70%. У елодеї та ряски динаміка накопичення була аналогічною, проте вміст ДАГ до кінця експерименту зменшувався лише на 10–15% від максимальних значень (7-ма доба). Щодо ДП, то макси-

мальне накопичення ДАГ у всіх водних рослин спостерігали при 10 ГДК токсиканта. Збільшення його концентрації знижувало вміст ліпідів у мембранах клітин до значень, близьких до контрольних.

Отже, клітини на дію всіх токсикантів реагували накопиченням ДАГ, найбільше при середньотоксичних концентраціях протягом першого тижня дії токсикантів.

Одними з найбільш функціонально значимих компонентів мембран є фосфоліпиди, які не тільки впливають на їхню плинність, а й формують мікросередовище для мембранних ферментів, іонних каналів, а також регулюють зв'язок клітин із зовнішнім середовищем [16]. У хлорели іони цинку стимулювали накопичення ФЛ з першої доби дії, а максимум накопичення спостерігали на 7-му добу, у більшій мірі при 5 ГДК металу. На 14-ту добу вміст ФЛ знижувався. Аналогічна залежність характерна для елодеї та ряски. Однак, якщо у хлорели максимальне відхилення показників вмісту ФЛ від контролю було дворазовим, то у елодеї кількість ФЛ щодо контролю зростала у 5–6 разів (на 3–7-му добу, 5 ГДК), а у ряски в 10–15 разів (на 3-тю і 7-му доби, 5 ГДК металів). Отже, протягом тижня рослини активно накопичували ФЛ, після чого їхній вміст у мембранах до 14 діб знижувався. Іони свинцю діяли подібно. Вже у концентрації 1 ГДК вони сприяли збільшенню вмісту ФЛ у хлорели на першу добу дії у 5 разів, на третю добу - практично у 10 разів. Максимальне накопичення спостерігали на 3-тю і 7-му добу дії при 5 ГДК металу в середовищі.

Схожа закономірність виявлена у елодеї та ряски з максимальним накопиченням ФЛ на третю добу (у 10 разів щодо контролю) при дії свинцю. Рівень ФЛ у всіх досліджених водних рослин при дії свинцю був вищим, ніж у контролі: у хлорели – в 14 разів, у елодеї – у 8 разів, у ряски – в 7 разів, що відрізняє дію свинцю від іонів цинку. ДП стимулює накопичення ФЛ у всіх досліджених водних рослин практично у 10–15 разів порівняно з контролем при всіх досліджених концентраціях токсиканта.

Отже, у відповідь на дію токсикантів усі досліджені водні рослини накопичували у мембранах ФЛ. Загальною закономірністю є максимум адаптивних можливостей мембран при 5 ГДК металів протягом 7 діб їхньої дії, і за 10 ГДК ДП. Збільшення концентрації токсиканта і часу його дії знижує адаптивно-захисні можливості клітин, що співвідноситься з їхніми ушкодженнями при тривалому впливі токсикантів у високих концентраціях.

Можливо, інтенсивність цього процесу пояснюється високою сорбційною здатністю заряджених фосфоліпідів [23]. Крім того, відомо, що фосфоліпиди можуть виконувати функції месенджерів, які передають інформацію всередину клітини про зміни навколишнього середовища [22], а це розширює їхнє функціональне значення в інтоксикованих клітинах водних рослин.

Вміст НЕЖК може бути як показником посиленого розпаду ліпідів, так і їхнього синтезу, вказуючи на інтенсивність їх метаболізму [8]. При цьому має значення їхній якісний склад. Загалом динаміка накопичення НЕЖК у хлорели при дії обох металів близька до інших класів ліпідів. Іони цинку стимулювали нагромадження кислот на 7-му добу при 5 ГДК (удвічі щодо контролю). Дія свинцю, ймовірно, стресова, оскільки вміст НЕЖК щодо контролю зростає на 80% (5ГДК) вже протягом перших діб дії, поступово знижуючись до 14-ї доби. Можливо, швидке утворення НЕЖК є наслідком розщеплення ліпідів, а синтез жирних кислот при цьому пригнічується. На відміну від хлорели, у ряски й елодеї вміст НЕЖК зростає, як зі збільшенням діючої концентрації металів, так і з часом дії: для іонів цинку - до 7–14-ї діб, для іонів свинцю - до 3-ї доби.

ДП у хлорели також збільшує вміст НЕЖК до концентрації 5 ГДК, після чого показник знижується. Вміст НЕЖК у елодеї та ряски був найбільшим при концентрації 10 ГДК ДП, причому в 4 рази більше в елодеї, і в 1,5–2 рази у ряски, ніж у контролі, і при інших концентраціях ДП.

Отже, за дії всіх досліджених токсикантів у водних рослин, незалежно від часу дії та концентрації речовин у середовищі вирощування водних рослин, спостерігається загальна тенденція до накопичення в мембранах ТАГ і ФЛ, які, очевидно, мають адаптивне значення у захисті клітин водних рослин від дії токсикантів. Це співвідноситься з даними інших досліджень [2], у яких показано, що ТАГ і ФЛ стабілізують структурно-функціональний стан мембран клітин водних рослин у відповідь на дію несприятливих чинників.

Отримані дані свідчать про те, що клітини досліджуваних водних рослин реагують на пошкоджувальну дію важких металів і нафтопродуктів підвищенням синтезу основних адаптивних ліпідів. Наші висновки співвідносяться з даними роботи [20], в якій продемонстровано, що водні рослини, які ростуть у середовищі з металами, здійснюють активну реструктуризацію клітинного метаболізму з метою підтримання клітинних структур, що забезпечують функціонування пігментного апарату і фотосинтезу. Така адаптивна перебудова складу мембранних ліпідів у відповідь на токсичну дію є звичайним явищем для багатьох рослин [2] і водночас компенсаторним механізмом, спрямованим на підтримання структурно-функціональної цілісності мембран [17]. Виявлені зміни також можуть бути спрямовані на оптимізацію проникності мембран, іонного транспорту і функціонування ферментів [1].

Отже, на дію досліджених токсикантів водні рослини реагують кількісними та якісними змінами ліпідного складу мембран, що може свідчити як про їхні структурні перебудови, так і про можливе формування нового адаптивного статусу як захисних механізмів на дію несприятливого фактора.

1. *Болдырев А. А.* Биологические мембраны и транспорт ионов. М.: Изд-во МГУ, 1985. 207 с.
2. *Верещагин А. Г.* Биохимия триглицеридов. М.: Наука, 1972. 307 с.
3. *Гудвин Т., Мерсер Э.* Введение в биохимию растений / Под ред. В.Л. Кретовича. Т. 1. М.: Мир, 1986. 392 с.
4. *Давыдова С. Л., Тагасов В. И.* Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века: Учебн. пос. М.: РУДН, 2002. 140 с.
5. *Дятловицкая Э. В., Безуглов В. В.* Липиды как биоэффекторы. Введение // Биохимия. 1998. Т. 63. Вып. 1. С. 3–5.
6. *Кейтс М.* Техника липидологии. Выделение, анализ и идентификация липидов. М.: Мир, 1975. 322 с.
7. *Копытов Ю. П.* Новый вариант тонкослойной хроматографии липидов // Экология моря. 1983. Вып. 12. С. 76–80.
8. *Крепс Е. М.* Липиды клеточных мембран. Л.: Наука, 1981. 339 с.
9. *Лакин Г. Ф.* Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
10. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Ред. А.В. Топачевский. К.: Наук. думка, 1975. 247 с.
11. *Мецлер Д.* Биохимия : Химическая реакция в живой клетке. М.: Мир, 1990. Т. 2. 608 с.

12. Прохорова М. И. Методы биохимического исследования. Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. 222 с.
13. Тяжелые металлы как фактор экологической опасности: Метод. указ. / Сост. Ю.А. Холопов. Самара: СамГАПС, 2003. 16 с.
14. Финдлей Дж., Эванз У. Биологические мембраны. Методы / Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 423 с.
15. Чиркова Т. В. Клеточные мембраны и устойчивость растений к стрессовым воздействиям // Сорос. образ. журн. 1997. № 9. С. 12-17.
16. Abbas C. A., Card G. L. The relationship between growth temperature, fatty acid composition and the physical state and fluidity of membrane lipids in *Yersinia enterocolitica* // Biochim. Biophys. Acta. 1980. Vol. 602. N 3. P. 469-476.
17. Beney L., Gervais P. MINIREVIEW: influence of the fluidity of the membrane on the response of microorganisms to environmental stress // Appl Microbiol. Biotechnol. 2001. Vol. 57. N 3. P. 34-42.
18. Junior R. R. M., Oliveira M. S. C., Baccache M. A., F.M. de Paula. Effect of Water deficit and rehydration on the polar lipid and membrane resistance leaves of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Perola // Brazilian Arch. Biol. Technol. 2008. Vol. 51. N 2. P. 361-367.
19. Lewis R. N. A. H., McElhaney R. N. Surface charge markedly attenuates the nonlamellar phase-forming properties of lipid bilayer membranes: calorimetric and <sup>31</sup>P-nuclear magnetic resonance studies of mixtures of cationic, anionic, and zwitterionic lipids // Biophys. J. 2000. Vol. 79. N 3. P. 1455-1464.
20. Rozentsvet O. A., Bosenko E. S., Guschina I. A. Effect of heavy metals upon lipid metabolism in *P. perfoliatus* / 16<sup>th</sup> Intern. Plant Lipid symposium. Budapest, Hungary, 1-4 June 2004: Oral and poster presentations. Budapest, 2004. P. 202-204.
21. Vaskovsky V. E., Kastetsky E. V., Vasedin I. M. A universal reagent for phospholipids analysis // J. Chromatogr. 1985. Vol. 114. N 1. P. 129-141.
22. Vigh L., Horváth I., Thompson G. A. Recovery of *Dunaliella salina* cells following hydrogenation of lipids in specific membranes by a homogeneous palladium catalyst // Biochim. Biophys. Acta. 1988. Vol. 937. N 1. P. 42-50.
23. Wang L., Zhou Q., Chua H. Contribution of Cell Outer Membrane and Inner Membrane to Cu<sup>2+</sup> Adsorption by Cell Envelope of *Pseudomonas putida* 5-x // J. Environmental Health. Part A. 2004. Vol. 39. N 8. P. 2071-2080.
24. Wettern M., Lorch D., Weber A. The effect of lead and manganese on the green alga *Pediastrum tetras* in axenic culture I. Accumulation rates and influence on growth // Arch. Hydrobiol. 1988. Vol. 77. N 3. P. 267-276.

**THE EFFECT OF ZINC, LEAD ION AND DIESEL FUEL ON MEMBRANE LIPID COMPOSITION OF AQUATIC PLANTS****K. Kostyuk, V. Grubinko***Volodymyr Gnatyuk Ternopil National Pedagogical University  
2, M. Kryvonos St., Ternopil 46027, Ukraine*

The article concerns the influence of zinc and lead ions and diesel fuel of water environment on cell membrane composition of aquatic plants — *Chlorella vulgaris* Beijer., *Elodea canadensis*, *Lemna minor* L. Changes of lipid composition in cell membranes in response to investigated toxicants and their participation in adaptation processes are discussed.

*Key words:* aquatic plants, heavy metals, diesel fuel, membranes, lipids.

**ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ЦИНКА, СВИНЦА И ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ЛИПИДНЫЙ СОСТАВ МЕМБРАН КЛЕТОК ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ****К. Костюк, В. Грубинко***Тернопольский национальный педагогический университет  
имени Владимира Гнатюка  
ул. М. Кривоноса, 2, Тернополь 46027, Украина*

В статье приведены данные о влиянии ионов цинка, свинца и дизельного топлива водной среды на липидный состав мембран клеток водных растений — *Chlorella vulgaris* Beijer., *Elodea canadensis*, *Lemna minor* L. Обсуждается возможное участие различных классов липидов в адаптации водных растений к исследованным токсикантам.

*Ключевые слова:* водные растения, тяжелые металлы, дизельное топливо, мембраны, липиды.

Стаття надійшла до редколегії 14.06.10  
Надійшла після доопрацювання 30.09.10  
Прийнята до друку 01.10.10