

УДК 574.64

Дятлов С. Є., канд. біол. наук, доц., докторант
Одеський державний університет, кафедра гідробіології та загальної екології,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65026, Україна

ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА МОРСЬКИХ ДОННИХ ВІДКЛАДІВ

Вивчено вплив водних екстрактів донних відкладів, що були відібрані у різних за рівнем забруднення полігонах у північно-західній частині Чорного моря (Одеський порт — Малий Фонтан — Одеська банка). Встановлена негативна кореляція середньої сили між концентраціями у донних відкладах міді, цинку, нафтових вуглеводнів, (поліхлорованих біфенілів (ПХБ), 1,1-дихлор-2,2-біс (4'-хлорфеніл) етилен (ДДЕ), 1,1-дихлор-2,2-біс (4'-хлорфеніл) етан (ДДД) та чисельністю клітин у культурі планктонної водорості *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin.

Ключові слова: донні відклади, забруднення, водорості, біотестування

Донні відклади морських та континентальних водойм депонують велику кількість забруднюючих речовин, які на певний період часу виводяться з біогеохімічних циклів. Однак, у зв'язку з тим, що верхні шари донних відкладів активно взаємодіють з водними масами, з них постійно здійснюється винос токсикантів. Першу спробу пов'язати показники хімічного забруднення морських донних відкладів зі станом бентосних угруповань зробили О. Г. Миронов та співавтори [5]. Ними були проведені натурні дослідження в районах моря з різними рівнями забруднення, що дозволило пов'язати рівень вмісту нафтових вуглеводнів у донних відкладах з деякими біологічними показниками: кількістю бентосних видів, їх сумарною біомасою, трофічною структурою та індексом видового різноманіття. На підставі цих даних була запропонована методологія оцінки забруднення донних відкладів, що сприяла встановленню допустимих навантажень на бентосні угруповання.

Помітний внесок у процес виносу токсикантів з донних відкладів до прилеглих шарів води вносять бентосні організми. Визначення токсичності забруднених та потенційно небезпечних донних відкладів важливо з декількох точок зору й, перед усім, для обґрунтування нових підходів до нормування антропогенних навантажень на морські акваторії.

Згідно з теорією неспецифічного реагування, що була створена Д. М. Насоновим та В. Я. Александровим у 30-і роки ХХ ст., реакція живого на токсичний вплив, як правило, є неспецифічною. Деякі з цих реакцій — зменшення видового різноманіття у межах трофічного угруповання, зміна домінуючих форм та ін. — широко використовуються в екологічних дослідженнях. Однак, для оперативного моніторингу такі відгуки біоти мало придатні з причини слабкої інструменталізації методів їх реєстрації, труднощів уніфікації. Програють ці методи також у швидкості отримання інформації. Частково позбавлені вказаних вище недоліків інші методи, за яких враховуються неспецифічні реакції живого на клітинному та

субклітинному рівнях організації [10]. Саме до таких методів можна віднести методи біотестування з використанням культур одноклітинних водоростей.

Мета даної роботи полягала у комплексній оцінці морських донних відкладів полігонів з різним рівнем антропогенного навантаження на шельфі Чорного моря з використанням в еколого-токсикологічному аналізі альготесту з *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin.

Матеріал, методи і райони досліджень

Зйомка була виконана 7-10 червня 1994 р. на науково-дослідному судні "Прибій" за завданням Мінприроди України. Дослідження здійснювали на трьох полігонах з різним ступенем антропогенного навантаження. Вони розташовані у Одеському порту, Одеській затоці та Одеській банці у відкритому районі північно-західної частини Чорного моря.

Матеріалом у даній роботі були проби донних відкладів, відібрані на полігоні "Одеський порт" у центральних частинах Нафтогавані (станція 1), Практичній гавані (станція 3), в районі рейдової стоянки суден за Старим хвилеломом (станція 8), на полігоні "Одеська банка" (станція 10 з координатами 46°33'00" північної широти і 31°00'00" східної довготи) та на полігоні "Малий Фонтан" (станція 17 з координатами 46°26'00" північної широти і 30°47'30" східної довготи) (рис. 1).

Проби донних відкладів відбирали трубкою Державного океанографічного Інституту (трубка ДОІНу), поділяли по горизонтах залягання. На борту судна матеріал зберігали при температурі 4°C.

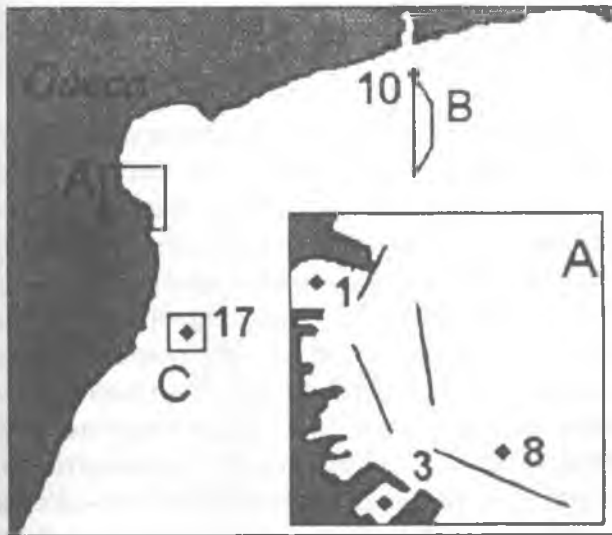


Рис. 1. Карта-схема відбору проб на полігонах "Одеський порт" (А), "Одеська банка" (В), "Малий Фонтан" (С).

Аналізи проби донних відкладів, що призначені для хімічного аналізу, були виконані співробітниками лабораторій аналітичної хімії та екологічних досліджень Українського наукового центру екології моря Мінприроди України під керівництвом Ю. М. Деньгі.

Проби донних відкладів, призначені для еколого-токсикологічного аналізу (біотестування), висушували при кімнатній температурі і готували їх водні екстракти у відповідності з [11].

Як тест-об'єкти у біотестуванні використовували альгологічно чисту культуру одноклітинних планктонних водоростей *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin (*Chrysophyta*). Процедуру біотестування провади-

ли у відповідності з [3, 9, 14].

Культури *Ph. tricornutum* вносили у середовище Гольдберга, приготовлене на природній морській воді (контроль), та у водні екстракти донних відкладів, котрі

підлягали тестуванню (експеримент). Для контролю та експериментів морську воду відбирали в “умовно чистому” районі моря на полігоні “Малий Фонтан” (ст. 15 з координатами 46°27'00” північної широти та 30°47'00” східної довготи). Солоність контрольної води складала 15‰.

Для оцінки токсичності досліджуваних водних екстрактів донних відкладів використовували показники росту культур водоростей на 24, 48, 72 и 96 год. експозиції. За підсумками експерименту розраховували площу під кривою росту (A) для кожної культури за рівнянням [13]:

$$A = \frac{N_0 + N_1}{2} t_1 + \frac{N_1 + N_2}{2} (t_1 - t_2) + \frac{N_{n-1} + N_n}{2} (t_n - t_{n-1}),$$

де t_1 — час першого виміру чисельності клітин, t_n — час n-го виміру чисельності клітин, N_0 — вихідна чисельність клітин у культурі, N_1 — чисельність на час t_1 , N_n — чисельність на час t_n .

Статистичну обробку результатів експериментів, виконаних у п'яти повторностях, та розрахунок коефіцієнтів кореляції результатів біотестування з даними хімічного аналізу донних відкладів провадили за допомогою загальноприйнятих статистичних методів [4].

Результати досліджень та їх аналіз

Культури *Ph. tricornutum*, що розвивалися у контролі та водних екстрактах донних відкладів, протягом 96-ти годин знаходилися у фазі активного росту.

Факторами, які визначили відсутність у експериментальних культур класичної лаг-фази на початку експозиції, були концентрація клітин у вихідному інокуляті ($0,3 \cdot 10^6$ кл/мл) та популяційний вік інокулята, що був внесений під час експоненціальної фази росту культури [6].

Ріст культур у водних екстрактах донних відкладів через 24 години після початку експерименту у деяких пробах значно перевищував контрольні значення (рис. 2). З одного боку, це може бути пов'язане з присутністю у водних екстрактах біогенних елементів (чи деяких забруднюючих речовин, наприклад нафти), які стимулюють ростові параметри культур [8]. Це припущення опосередковано підтверджується наявністю високих концентрацій органічних сполук, включаючи нафтові вуглеводні, у пробах донних відкладів. З другого боку, при описі такого роду реакцій не можна не враховувати так званий “парадоксальний ефект” — неспецифічний миттєвий відгук клітин на токсичну дію, яка полягала спершу в мобілізації їх захисних систем і призводила до стимуляції одного чи декількох циклів клітинних поділів, а в подальшому змінювалась пригніченням і навіть загибеллю тест-об'єкта.

В дослідях з пробами, взятих на станціях 1, 10 и 17 зі збільшенням глибини залягання досліджуваного зразка, показники приросту культур у першу добу досліду знижувалися (рис. 2). Для зразків із ст. 3 також спостерігалось зниження темпів ділення клітин залежно від глибини забору проб; винятком була проба з глибинного горизонту 30-50 см, яка викликала посилений ріст тест-культур.

Через 48 годин спостереження, коли у відповідності з думкою ряду авторів [1, 12], інокулят із конгломерату окремих клітин водоростей перетворюється на своєрідну генетичну систему з властивостями популяції, у характері реагування

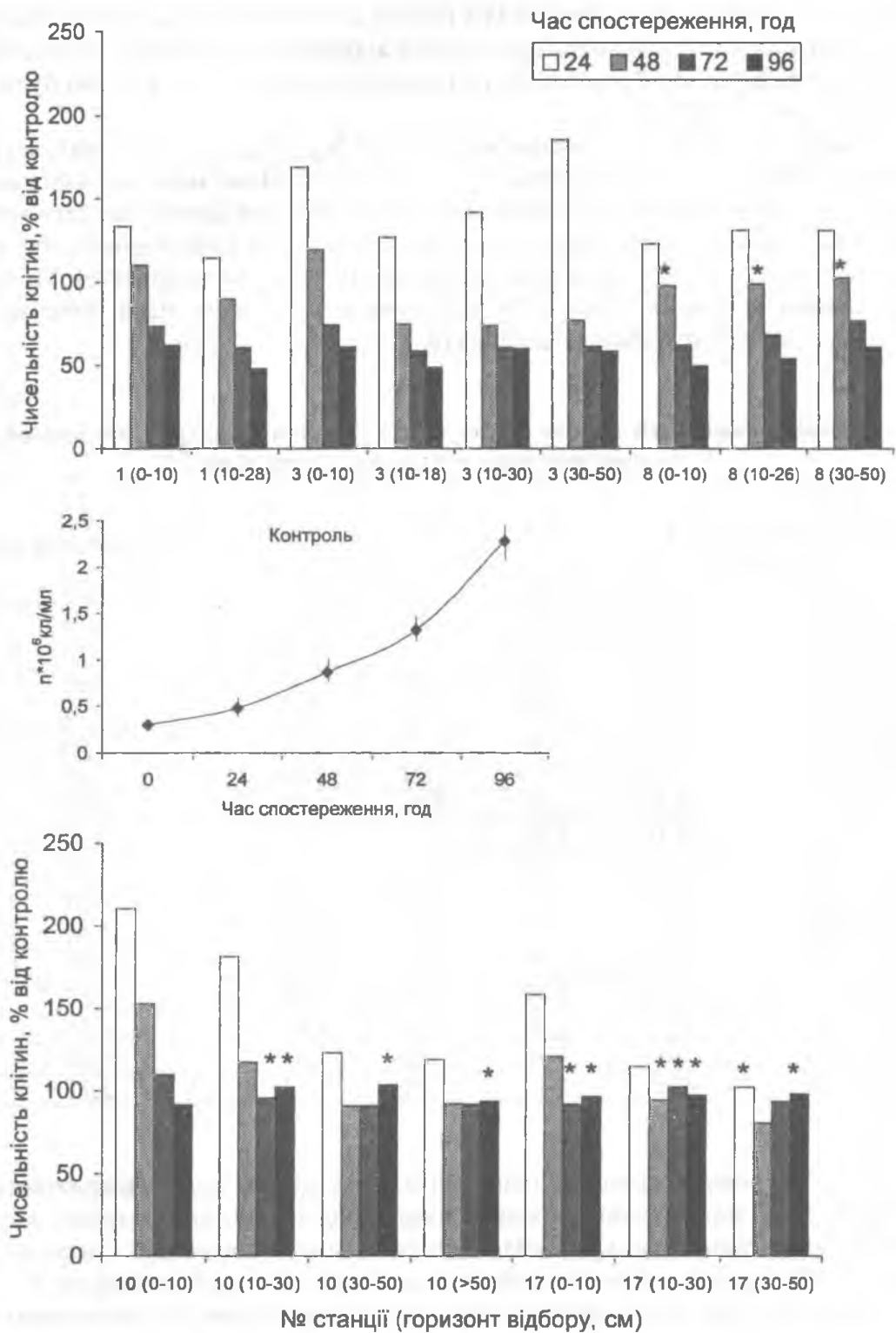


Рис.2. Ріст водоростей *Phaeodactylum tricornutum* у водних екстрактах донних відкладів. Полігони: "Одеський порт" — ст. 1, 3, 10; "Одеська банка" — ст. 10; "Малий Фонтан" — ст. 17. (* — відмінності невірні для $P > 0,05$)

тест-об'єктів на дію водних екстрактів донних відкладів спостерігається помітний злам. В дослідях з пробами поверхневих шарів донних відкладів (0-10 см) станцій

1, 3, 10 і 17 чисельність клітин на 48-у годину спостереження все ще перевищувала контрольні значення. В водних екстрактах відкладів із глибинних шарів показники росту культур або були близькі до контролю (ст. 1, 8, 10, 17), або були нижчі контрольного рівня (ст. 3).

Коефіцієнти добового ділення клітин ($K_2 = N_{48\text{год}}/N_{24\text{год}}$) у культурах, які розвивалися у водних екстрактах проб зі ст. 3 (10-30, 30-50 см) мали значення менше 1 (табл. 1), що свідчить про загибель клітин у період між двома спостереженнями. У пробах з поверхневого горизонту відкладів на ст. 8 в кінці третьої доби досліду також спостерігалось значне пригнічення росту культури водоростей. При цьому чисельність клітин складала 62% порівняно з контролем, мала місце загибель клітин, і коефіцієнт добового ділення ($K_3 = N_{72\text{г}}/N_{48\text{г}}$) склав 0,96.

Таблиця 1

Динаміка коефіцієнтів ділення (K) та інтеграл біомаси культур *Ph. tricornutum* (A) у водних екстрактах морських донних відкладів

Станції, (шари донних відкладів, см)	K_1	K_2	K_3	K_4	A, $N \cdot 10^6$ кл/мл за добу ⁻¹
Контроль	1,60	1,81	1,52	1,73	3,97
1 (0-10)	2,13	1,50	1,01	1,45	3,43
1 (10-28)	1,83	1,35	1,08	1,36	2,80
3 (0-10)	2,70	1,28	0,94	1,42	3,69
3 (10-18)	2,03	1,07	1,18	1,44	2,74
3 (10-30)	2,27	0,94	1,25	1,71	2,96
3 (30-50)	2,97	0,75	1,21	1,64	3,19
8 (0-10)	1,97	1,44	0,96	1,38	2,98
8 (10-26)	2,10	1,37	1,05	1,37	3,17
8 (30-50)	2,10	1,41	1,13	1,38	3,23
10 (0-10)	3,37	1,32	1,09	1,43	4,99
10 (10-30)	2,90	1,17	1,24	1,85	4,49
10 (30-50)	1,97	1,34	1,52	1,97	3,91
10 (>50)	1,90	1,40	1,51	1,76	3,81
17 (0-10)	2,53	1,38	1,15	1,82	4,28
17 (10-30)	1,83	1,49	1,65	1,64	4,00
17 (30-50)	1,63	1,43	1,76	1,82	3,71

На заключному етапі експерименту (96 год) вже чітко відзначилися райони відбору проб, донні відклади яких викликали значні відхилення від контролю в культурах *Ph. tricornutum*. До цих районів відносяться замкнені акваторії Одеського порту (ст. 1 і 3) та район рейдової стоянки суден біля Старого хвилелому (ст. 8).

Розрахунок показника кінцевого стану експериментальних та контрольних культур, а саме площі під кривою росту (A), показав (табл. 1), що незважаючи на початкове підвищення показників росту тест-культури, під кінець досліду інтеграл біомаси в експериментальних культурах (проби станцій 1, 3 і 8) був нижчим за контрольні значення. Мінімальні значення A (69-75 % порівняно з контролем) визначено у випадках проб, взятих на ст. 1 (10-28 см), ст. 3 (10-18 см) та ст. 8 (0-10 см). Ці значення

Таблиця 2

Результати хімічного аналізу морських донних відкладів і коефіцієнти кореляції з показниками росту тест-культур *Rh. tricorניתium* (N_{72h})

№ станції	S _{орг} , %	НВ, мг/кг	Феноли, мкг/г	ПАВ, мкг/кг	АУВ, мкг/г	γ-ГХЦГ, мг/г	ДДЕ, мг/г	ДДД, мг/г	ДДТ, мг/г	ПХБ, мг/г	Zn, мкг/г	Ni, мкг/г	Cu, мкг/г	Pb, мкг/г	Cr, мкг/г	Fe, мг/г
1 (0-10)	1,27	2450,00	2,25	1,31	4,21	2,58	7,24	16,90	14,10	27,80	153,00	41,10	147,80	53,80	176,90	35,40
1 (10-28)	1,40	1780,00	1,34	0,63	0,25	0,76	4,12	7,75	4,70	19,00	83,00	31,50	58,30	35,00	73,00	24,60
1(30-37)	0,35	120,00	1,16	1,22	17,49	0,76	4,64	4,04	3,92	10,80						
3 (0-10)	1,90	6000,00	1,25	5,16	0,25	1,62	5,93	8,09	7,83	26,40	112,90	19,10	42,70	48,10	33,70	12,50
3 (10-30)	1,58	3420,00	1,12	18,08	0,62	4,86	105,00	141,60	117,10	345,30	201,30	21,30	92,40	81,60	46,30	13,60
3 (30-50)	1,33	3790,00	3,36	18,83	0,41	21,60	95,50	303,30	23,50	250,00	288,40	30,30	153,30	126,40	65,40	15,80
8 (0-10)	0,68	280,00	0,86	2,95	18,15	0,65	5,15	13,50	6,25	13,50	66,50	24,40	38,20	45,50	47,60	24,40
8 (10-26)	0,72	490,00	1,04	2,27	18,25	0,86	6,45	15,20	7,83	14,20	63,60	20,30	32,80	34,00	41,90	20,30
8 (30-50)	0,45	270,00	1,03	9,82	13,36	0,65	2,06	3,37	6,26	10,80	62,50	16,90	24,50	44,20	35,90	16,90
10 (0-10)	1,79	350,00	2,64	4,42	15,84	2,16	6,19	3,71	3,13	10,80	75,10	23,90	20,30	39,10	41,70	23,90
10 (10-30)	1,30	100,00	1,34	3,42	0,49	0,43	2,32	1,68	2,35	6,10	65,20	21,50	17,60	35,20	38,50	21,50
10 (30-50)	1,17	150,00	1,85	1,85	2,47	0,21	1,29	2,36	2,35	10,20	60,80	28,40	12,80	112,60	33,70	28,40
10 (>50)	1,04	50,00	5,90	0,13	2,48	0,32	0,77	1,35	4,70	8,80	54,30	19,00	9,90	28,70	20,80	19,00
17 (0-10)	0,45	180,00	0,90	18,56	17,32	0,43	1,55	2,96	3,13	8,12	63,40	15,70	20,50	41,60	35,90	19,70
17 (10-30)	0,23	80,00	0,74			0,54	2,32	3,71	3,13	10,20	46,40	14,00	10,20	31,70	24,00	14,00
17 (30-50)	0,23	40,00	0,78	5,10	4,54	0,00	1,03	0,67	3,13	6,77	30,30	93,00	6,20	15,50	16,60	9,30
p (N _{72h} , C ₁)	-0,21	-0,55	0,13	-0,24	0,15	-0,41	-0,53	-0,50	-0,47	-0,54	-0,58	0,06	-0,63	-0,36	-0,37	-0,04

показника росту *A* є критичними і дозволяють віднести донні відклади, що тестуються, до класу слаботоксичних за шкалою токсичності для *Ph. tricornutum* [9].

Зведені у табл. 2 результати хімічного аналізу донних відкладів дозволяють оцінити можливий вклад окремих компонентів антропогенного забруднення в еколого-токсикологічні ефекти, які були виявлені за допомогою альготесту.

Досліджувані полігони в порядку зменшення концентрацій токсикантів можна розташувати таким чином: “Одеський порт” — “Одеська банка” — “Малий Фонтан”. Ст. 8 за рівнем забруднення займала проміжне становище між гаванями Одеського порту та полігоном “Малий Фонтан”. Високий ступінь забруднення Одеської банки, що розташована далеко від берегових джерел забруднення, свідчить про седиментацію великої кількості токсикантів, які приносить у море р. Дніпро. Слід додати, що високий рівень забруднення води в районі полігону “Одеська банка” спостерігався у період паводка на Дніпрі у квітні 1993 р. [2]. На річкове походження токсичних вод вказувала низька солоність морської води (7-8‰). Схожа ситуація спостерігалася у гирлах інших річок, які несуть свої води до Чорного моря [7].

Коефіцієнти парної кореляції між концентраціями забруднюючих речовин і показниками росту *Ph. tricornutum* ми визначали на 72 годину росту водоростей. Негативні (середньої сили) коефіцієнти кореляції були отримані для міді, цинку, нафтових вуглеводнів, ПХБ, ДДЕ, ДДД (табл. 2), що дозволяє припустити наявність токсичного ефекту у дії цих речовин.

Проведені дослідження довели, що донні відклади північно-західної частини Чорного моря дуже забруднені різноманітними токсикантами, які здатні при певних умовах негативно впливати на одноклітинні водорості та інших представників морської біоти [2]. Найбільш забрудненими були донні відклади у гаванях Одеського порту, де концентрації нафтових вуглеводнів, γ -ГХЦГ, ДДЕ, ДДД, ДДТ, ПХБ, Zn та Cu значно перевищували ці показники для інших полігонів. Природно, що на прилеглий до порту станції 8 також спостерігалися високі концентрації вуглеводнів у донних відкладах.

Отримані результати свідчать про те, що для всієї північно-західної частини Чорного моря, а особливо для акваторій портів, небезпечними є днопоглиблювальні та інші роботи, що пов'язані з руйнуванням верхніх шарів (до 50 см) донних відкладів і можуть у таких випадках призвести до збагачення прилеглих шарів води токсичними для гідробіонтів речовинами. Для первинної оцінки забруднення донних відкладів найбільш дешевими та ефективними є методи біотестування, тим більш, що гранично допустимі концентрації більшості названих токсикантів ще не визначені.

Література

1. Гапочка Л. Д., Баттах М., Дрожжина Т. С. и др. Популяционные аспекты адаптации гидробионтов к токсическим воздействиям // Вестн. Московского ун-та. — Сер. 16, Биология. — 1991. — № 4. — С. 34-41.
2. Дятлов С. Е., Петросян А. Г., Ходаков И. В., Доценко Т. В., Эльстер А. М. Экспериментальная оценка качества прибрежных вод и донных отложений Черного моря методами биотестирования / Исследования экосистемы Черного моря — Одесса: Ирэнполиграф, 1993. — Вып. 1. — С. 141-148.
3. КНД 211.1.4.047-95. Біотестування морської води та стічної, яка відводиться в море. Методика / Крайнюкова А. М., Ульянова І. П., Усенко О. В., Дятлов С. Є., Петросян А. Г., Доценко Т. В., Ходаков І. В., Шадріна Л. А., Соколова С. О., Гроздов А. О., Кузнецов О. М. — К., 1995. — 37 с.
4. Лакін Г. Ф. Биометрия. — М.: Высш. шк., 1990. — 352 с.

5. Миронов О. Г., Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках прибрежной зоны Черного моря // Гидробиол. журн. — 1986. — Т. 22, № 6. — С. 76-78.
6. Сиренко Л. А. Определение роста и скорости деления водорослей в лимитированных объемах воды // Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. — К.: Наук. думка, 1975. — С. 45-47.
7. Орлова И. Г. Хлорированные углеводороды в экосистеме Черного моря // Исследования экосистемы Черного моря. — Одесса: Ирэнполиграф, 1993. — Вып. 1. — С. 36-46.
8. Петросян А. Г., Дятлов С. Е. Токсикологический контроль качества балластных вод в районе Одесского мегаполиса // Сб. научн. тр. НАН Украины, МГИ, ИнБЮМ “Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа”. — Севастополь, 2000. — С. 377-382.
9. Петросян А. Г., Дятлов С. Е., Доценко Т. В., Ходаков И. В. Методические рекомендации по морским биологическим тестам — Гидробиол. ж. НАН Украины. — Киев, 1995. — 56 с. — Рук. деп. в ВИНТИ 22.07.96, № 2480-В96.
10. Трунов Н. М., Короленко П. И., Бражникова Л. В. Использование неспецифических реакций водного населения на воздействие загрязняющих веществ в системе мониторинга // Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды. — Л.: Гидрометеоздат, 1980. — С. 370-372.
11. Шеханова И. А., Пристер Б. С., Дятлов С. Е., Панченко Н. Н. Оценка токсикологической обстановки в северо-западной части Черного моря в связи с проблемами рыбного хозяйства // Биогехимические и токсикологические исследования загрязнения водоемов: Сб. научных трудов ВНИРО. — М., 1984. — С. 112-122.
12. Яблоков А. В. Популяционная биология. — М.: Высш. школа, 1987. — 303 с.
13. Nyholm N., Kallqvist T. Methods for growth inhibition toxicity test with freshwater algae // Environ. Toxicol. and Chem. — 1989. — V. 8. — P. 689-703.
14. ISO 10253:1995 Water quality — Marine algal growth inhibition test with *Skeletonema costatum* and *Phaeodactylum tricornerutum*. — 12 p.

Дятлов С. Е.

Одесский национальный университет, кафедра гидробиологии и общей экологии,
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина

ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МОРСКИХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Резюме

Изучено влияние водных экстрактов донных отложений, отобранных в различных по уровню загрязнения полигонах северо-западной части Черного моря (Одесский порт — Одесский залив — Одесская банка). Установлена отрицательная корреляция средней силы между концентрациями в донных отложениях меди, цинка, нефтяных углеводородов, ПХБ, ДДЭ, ДДД и численностью в культуре клеток планктонной водоросли *Phaeodactylum tricornerutum*.

Dyatlov S. Ye.

Odessa National University, Department of Hydrobiology and General Ecology,
Dvoryanskaya St. 2, Odessa, 65026, Ukraine

ECOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL EVALUATION OF SEA BOTTOM-DWELLING DEPOSITS

Resume

Influence of water extracts of bottom sediments from the regions with different levels of pollution (the port of Odessa, Malyj Fontan, the Odessa Bank) has been studied. The negative average correlation between concentrations of copper, zinc, oil hydrocarbons, PCB, DDE, DDD in bottom sediments and the number of cells in the culture of *Phaeodactylum tricornerutum* has been established.