

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ВОДНІ РЕСУРСИ ТА ГІДРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ТИЛІГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ

Монографія

за редакцією д-ра геогр.н., проф. Тучковенка Ю.С.
д-ра геогр.н., проф. Лободи Н.С.



Одеса
ТЕС
2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ВОДНІ РЕСУРСИ
ТА ГІДРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН
ТИЛГУЛЬСЬКОГО ЛИМАНУ**

Монографія

за редакцією д-ра геогр.н., проф. Тучковенка Ю.С.
д-ра геогр.н., проф. Лободи Н.С.

ОДЕСА

ТЕС

2014

ББК 26.221

В-62

УДК 556.5:551.468.4

Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: Монографія / за ред. Ю.С. Тучковенка, Н.С. Лободи. Одеський державний екологічний університет, – Одеса: ТЕС, 2014. – 278 с., іл. 139, табл. 62, бібл. 240.

Надані фізико-географічна, соціально-економічна і гідрографічна характеристики Тилігульського лиману та його водозбірного басейну, опис природних ресурсів лиману і проблем їх збереження, аналіз гідрологічного і гідроекологічного режимів лиману в сучасних умовах. Особлива увага приділяється оцінці змін водних ресурсів річок водозбору Тилігульського лиману та інших складових його водно-солітового балансу під впливом водогосподарської діяльності і глобального потепління (за кліматичними сценаріями).

Для фахівців в області гідроекології, океанології і морського природокористування, гідрології суші, екології та охорони морського середовища, студентів гідрометеорологічних і екологічних спеціальностей.

Water resources and hydroecological conditions in Tyligulskyi Liman: Monograph / Y.S. Tuchovenko, N.S. Loboda, Eds. Odessa State Environmental University. – Odessa, TEC, 2014. – 278 pp.

The monograph describes the physiographic, socioeconomic and hydrographic conditions in the Tyligulskyi Liman Lagoon and in its drainage basin, the natural resources of the lagoon and problems of their conservation, the hydrological and hydroecological regime in the lagoon in current conditions. The special attention is given to the assessments of changes in the water resources of rivers in Tyligulskyi Liman drainage basin and to other components of its water-salt balance under the impact of water management and global warming (using climatic scenarios).

The monograph is recommended for the experts in the hydroecology, oceanology, marine nature management, land hydrology, ecology and protection of the marine environment, as well as for the students in hydrometeorological and environmental fields.

Відповідальні редактори:

д-р геогр.н., проф. Ю.С. ТУЧКОВЕНКО; д-р геогр.н., проф. Н.С. ЛОБОДА

Рецензенти: д-р геогр.н. М.А. Берлинський, д-р геогр.н., проф. П.Д. Ломакин

*Рекомендовано до друку вченою радою Одеського державного екологічного університету
Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 31.10.2013 р.)*

ISBN 978-617-7054-64-0

Список авторів:

© Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лобода, О.М. Гриб, О.Р. Губанова, В.М. Хохлов, Є.Д. Гопченко, Г.Г. Мінічева, О.А. Тучковенко, Ю.В. Божок, Ю.І. Богатова, Д.В. Кушнір, В.В. Адобовський, А.Б. Зотов, 2014

*працівники Одеського філіалу Інституту біології південних морів (з 2014 р. – Інституту морської біології) НАН України

© Одеський державний екологічний університет, 2014
Наукове видання

12.3	Визначення об'єму та мінералізації припливних вод (поверхневих, схилових, підземних), що надійшли в лиман з його водозбірної басейну.....	183
12.4	Визначення випаровування з водної поверхні лиману.....	186
12.5	Визначення об'ємів припливу-стоку вод через з'єднувальний канал «лиман-море» та мінералізації морських вод.....	197
12.6	Результати моделювання водно-сольового балансу лиману при різних варіантах водообміну з морем.....	203
Розділ 13. Оцінка рівнів і мінералізації води Тилігульського лиману та його частин при різних варіантах функціонування водойми в умовах майбутнього клімату (до 2100 року) (<i>Гриб О.М.</i>).....		215
13.1	Вихідні дані для моделювання водно-сольового балансу Тилігульського лиману у майбутньому (до 2100 року).....	215
13.2	Результати моделювання водно-сольового балансу лиману за різних умов функціонування водойми у майбутньому.....	221
Розділ 14. Гідроекологічний режим лиману (<i>Тучковенко Ю.С., Мінічева Г.Г., Богатова Ю.І., Зотов А.Б., Тучковенко О.А.</i>)		234
Висновки (<i>Лобода Н.С., Тучковенко Ю.С.</i>).....		248
Список літератури.....		258

РОЗДІЛ 14 ГІДРОЕКОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМ ЛИМАНУ

Не зважаючи на те, що на узбережжі Тилігульського лиману відсутні потужні антропогенні джерела забруднення вод, його гідроекологічному режиму притаманна низка проблем, які представлені у розділі 2.3. Зумовлені вони особливостями формування водного балансу лиману та морфологічною будовою його ложа.

Через конфігурацію берегів, розподіл глибин і наявність мілководних ділянок (підводних продовжень кіс: Чилової, Ранжевої), лиман поділяється на чотири частини, інтегральний по глибині водообмін між якими утруднений (див. розділ 11.3). В глибоких південній і центральній частинах лиману мінливість у часі гідроекологічних характеристик приповерхневого шару вод в літній період року значною мірою визначається інтенсивністю вертикального турбулентного обміну, яка залежить від сили вітру і вертикального градієнта густини води. В мілководних районах значення гідрохімічних характеристик можуть значно змінюватися під впливом вітро-хвильового скаламучування донних відкладів при сильних вітрах.

Дефіцит прісного балансу лиману, який формується в результаті інтенсивного випаровування влітку і зменшення припливу прісних вод з водозбірного басейну під впливом сумісної дії кліматичних змін та антропогенної діяльності, сукупно з періодичним поповненням лиману морською водою у весінньо-літні місяці для компенсації цього дефіциту, спричиняють накопичення в лимані протягом багатьох років запасів солей і біогенних речовин.

У період 1979-1987 рр. особливості формування гідроекологічного режиму Тилігульського лиману досліджувалися Інститутом гідробіології Академії наук УРСР. Результати цих досліджень опубліковані в монографії [1]. В 90-ті роки минулого сторіччя гідроекологічні дослідження лиману не виконувалися через скрутне соціально-економічне становище в Україні.

На початку XXI сторіччя дослідження біотичних і абіотичних характеристик вод лиману були відновлені фахівцями Одеського філіалу Інституту біології південних морів НАН України. Узагальнені матеріали спостережень, одержані в період 2001-2003 рр., опубліковані в монографії [2], а результати досліджень виконаних пізніше – в роботах [3-6].

У даному розділі розглянуті особливості середньої за багаторічний період внутрішньорічної мінливості в першому десятиріччі XXI сторіччя гідрохімічних і гідробіологічних характеристик, які визначають ступень трофності і кисневий режим вод лиману. Ці відомості важливі для калібрування моделі евтрофікації вод лиману, яка може бути використана для оцінки впливу різних природних і антропогенних чинників на його

гідроекологічний режим, а також оцінки ефективності різних сценаріїв гідроекологічного менеджменту, з урахуванням змін клімату та антропогенної діяльності.

Комплекс спостережень за гідрохімічними характеристиками вод лиману включав в себе визначення концентрацій розчинених мінеральних форм азоту (амонійного NH_4^+ , нітритного NO_2^- , нітратного NO_3^-) і фосфору (фосфатів PO_4^{3-}), загального азоту ($N_{ЗАГ}$) і фосфору ($P_{ЗАГ}$), розчиненої органічної речовини (POP) за перманганатною окислюваністю, розчиненого кисню (O_2). Концентрації органічного азоту і фосфору обчислювалися за різницею між загальним вмістом і концентрацією мінеральних форм: $P_{ОРГ} = P_{ЗАГ} - P_{МИН}$, $N_{ОРГ} = N_{ЗАГ} - N_{МИН}$.

Комплекс гідробіологічних спостережень за автотрофними компонентами екосистеми лиману включав до себе визначення концентрацій хлорофілу «а», відбір проб фітопланктону та фітобентосу з оцінкою структурно-функціональної організації їх угруповань [4, 6].

На жаль, слід відзначити, що спостереження мають епізодичний характер і нерівномірно розподілені по акваторії лиману. Їх кількість значно розрізняється по роках і місяцях. В окремі місяці й роки спостереження взагалі не проводились або поодинокі. Крім того, дані гідрохімічних і гідробіологічних спостережень часто не узгоджені в часі і просторі. Найбільше число спостережень виконано в південній половині лиману.

Для встановлення характеру внутрішньорічної мінливості гідрохімічних і гідробіологічних характеристик екосистеми Тилігульського лиману, отримані у ХХІ сторіччі дані спостережень в приповерхневому шарі води глибиною 5 м групувалися по місяцях і надалі обчислювалися їх багаторічні середньомісячні значення. Інформація про кількість спостережень, які припадають на кожен місяць, та роки, в які вони були виконані, наведена в таблицях 14.1, 14.2.

Таблиця 14.1. Інформація про кількість гідрохімічних спостережень, виконаних в період 2002-2010 рр. в Тилігульському лимані, та їх розподіл по місяцях і роках

Місяць	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Кількість спостер.	3	6	8	12	7	14	6	11
Роки	2003	2003	2006, 2008	2002, 2004, 2005, 2010	2003, 2004, 2005, 2010	2002	2003, 2004	2003, 2005

Таблиця 14.2. Інформація про кількість спостережень за біомасою фітопланктону, виконаних в період 2001-2011 рр. в Тилігульському лимані, та їх розподіл по місяцях і роках

Місяць	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Кількість спостер.	1	-	7	6	11	14	5	6	11
Роки	2011	-	2003, 2011	2006, 2008	2001, 2002, 2005, 2006	2003, 2005, 2010, 2011	2001, 2002, 2010	2003, 2010	2001, 2006, 2010

Внутрішньорічна (щомісячна) мінливість середніх багаторічних значень біомаси фітопланктону і концентрацій хлорофілу «а», отримана шляхом помісячного осереднення наявних даних за період 2001-2011 рр., представлена на рис. 14.1. Максимальні значення біомаси фітопланктону, осередненої по акваторії лиману, спостерігались у липні-серпні (рис. 14.1а). Однак, слід відзначити, що вони сформовані з урахуванням аномальних умов 2010 р. Тому для кращого розуміння особливостей внутрішньорічної динаміки біомаси фітопланктону слід зважати на аналіз міжрічної мінливості її середньосезонних (весна, літо) значень, наведений в [6] (рис. 14.2).

Згідно [6], пік біомаси фітопланктону зафіксований влітку 2010 р. ($68\ 155\ \text{мг/м}^3$) у 58 разів перевищив середню весняно-літню біомасу решти років, для яких середньосезонні значення біомаси варіювали від 370 до $2215\ \text{мг/м}^3$ (за виключенням весни 2011р. – $46\ \text{мг/м}^3$). При розгляді всього періоду досліджень встановлено, що осереднені за весняний сезон значення біомаси фітопланктону в 10,6 разів перевищують середньолітні. Однак, якщо не враховувати аномальний 2010 р., перевищення знизиться до 1,2 разів. За усередненими даними наявних спостережень, біомаса фітопланктону зростала з весни до літа у 2001, 2010 і 2011 рр., знижувалась – у 2002, 2003, 2005, 2006 рр. (рис. 14.2). У середній за багаторічний період внутрішньорічній мінливості концентрацій хлорофілу «а» (рис. 14.1б) також виділяються весняний (квітень) і літній (липень-серпень) максимуми.

Дослідження макрофітів в період 2000-2011 рр. виконувались на трьох ботанічних розрізах, які розташовані в північній мілководній частині лиману (розріз – с.Калинівка), в центральній частині – на межі її мілководної і глибокої зон (розріз – с.Мар'янівка) і в південній частині (розріз – с.Кошари, південна частина) Тилігульського лиману (рис. 14.3). Банк даних за цей період включає 21 ботанічну зйомку, на яких відібрано 576 кількісних проб макрофітів.

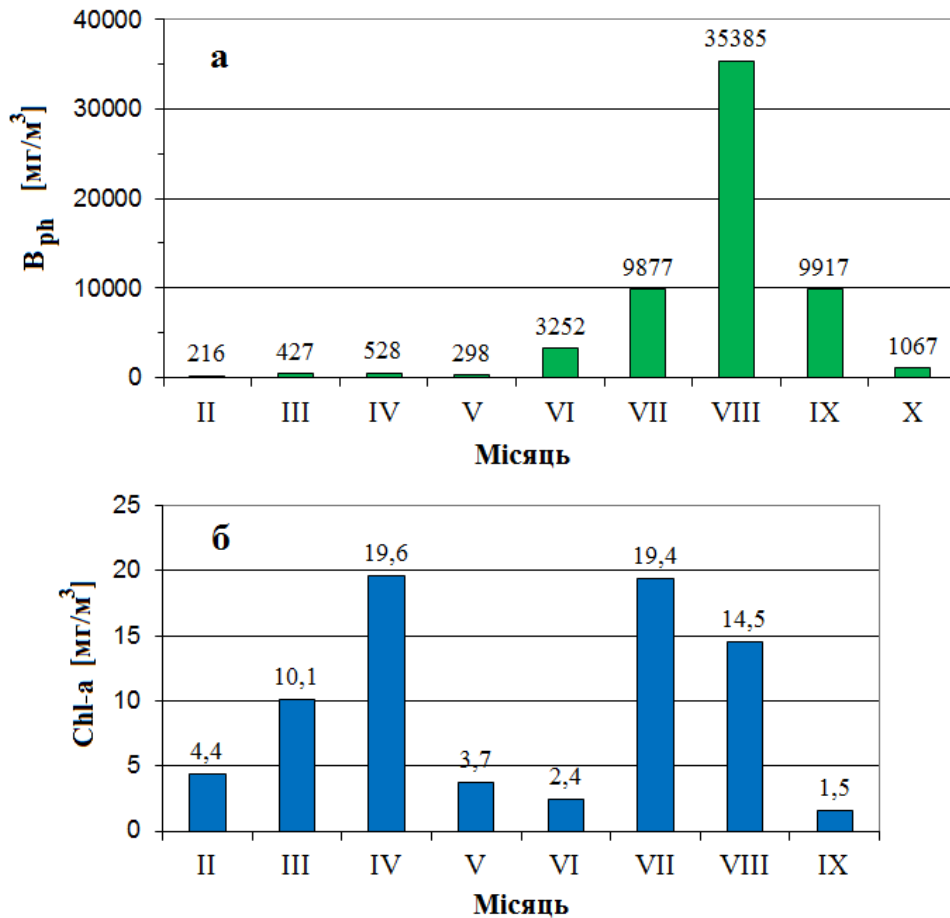


Рис. 14.1. Внутрішньорічна мінливість біомаси фітопланктону V_{ph} та концентрації хлорофілу «а» $Chl-a$ (б) у фотичному шарі Тилігульського лиману, отримана помісячним осередненням даних за період 2001-2011 рр.

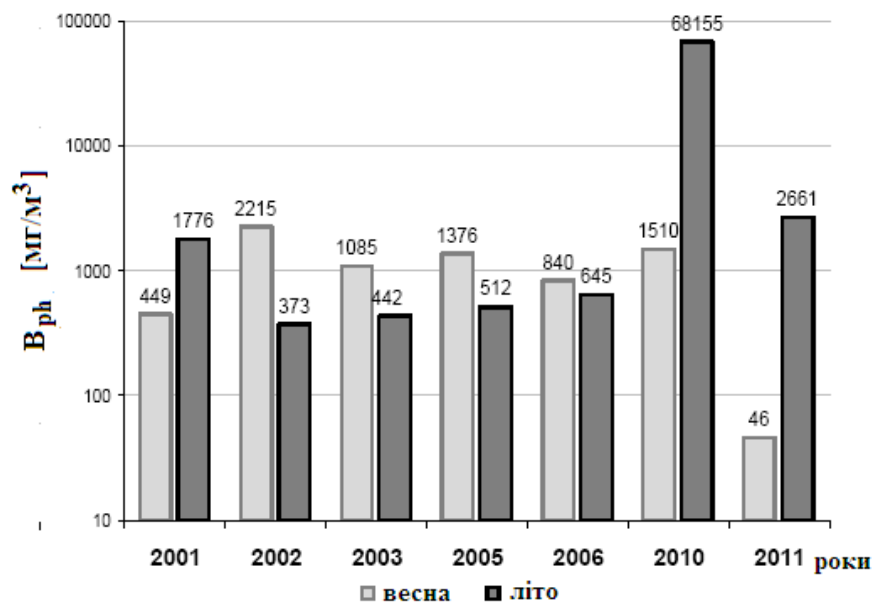


Рис. 14.2. Міжрічна мінливість біомаси фітопланктону в Тилігульському лимані у весняний та літній періоди [6]

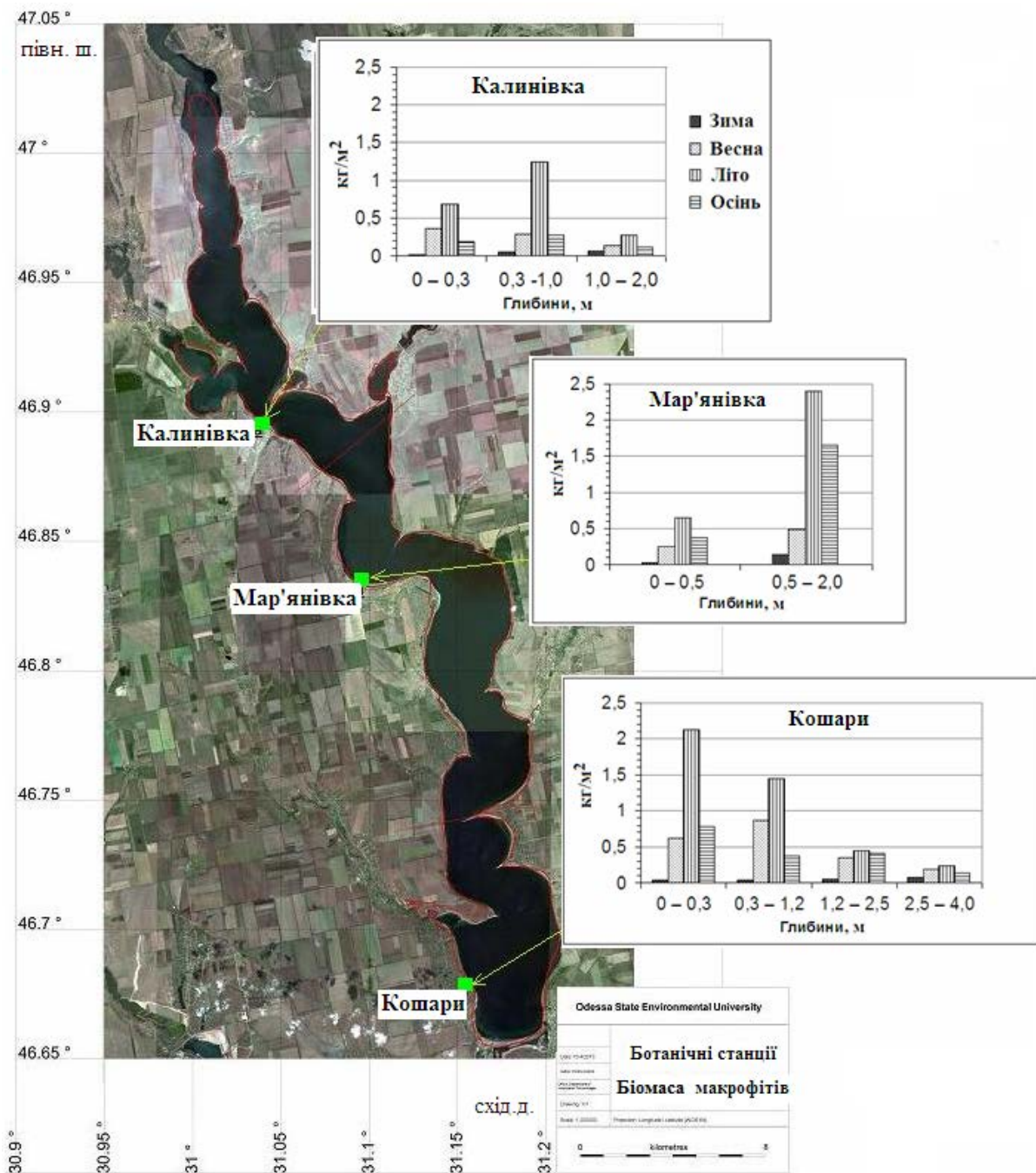


Рис. 14.3. Місце розташування ботанічних станцій моніторингу макрофітів в Тилігульському лимані і мінливість біомаси макрофітів на них, в залежності від глибини і сезону року, встановлена за даними спостережень за період з 2001 по 2011 рр.

Особливості сезонної динаміки біомаси макрофітів на ботанічних розрізах представлені на рис. 14.3, з якого видно, що максимальні біомаси макрофітів в нижній частині Тилігульського лиману (с.Кошари) влітку можуть перевищувати 2 кг/м^2 поблизу урізу води. Для середньої частини лиману (с.Мар'янівка), також як і для нижньої, характерним є розвиток

максимальних значень біомаси, які перевищують 2 кг/м^2 , в літній період. Однак в цій частині лиману максимальні біомаси утворюються на більш глибоких горизонтах – $0,5\text{-}2,0 \text{ м}$, в основному за рахунок не водоростей, а квіткового макрофіта *Zostera marina* L. При цьому, продукція в літній період вища у горизонті $0\text{-}0,5 \text{ м}$, за рахунок функціонування екологічно більш активних у порівнянні з *Z. marina* багатоклітинних коротоциклічних видів зелених (*Chlorophyta*) і червоних (*Rhodophyta*) водоростей.

В районі ботанічного розрізу с.Калинівка максимальні біомаси макрофітів утворюються на більш глибокому горизонті ($0,3\text{-}1,0 \text{ м}$). Однак, домінуючим видом тут виступає не *Z. marina*, а *Z. noltii* Hornem. Цим можна пояснити менші значення абсолютної біомаси, тому що *Z. noltii* характеризується меншими розмірами у порівнянні з *Z. marina*. При цьому, абсолютна продукція донної рослинності у верхів'ї лиману вища, тому що тут переважають більш екологічно активні види. А саме продуктивність *Z. noltii* майже в два рази вища, ніж у *Z. marina*.

Внутрішньорічна мінливість біомаси макрофітів, отримана помісячним осередненням даних за період 2000-2013 рр., наведена на рис. 14.4 [4].

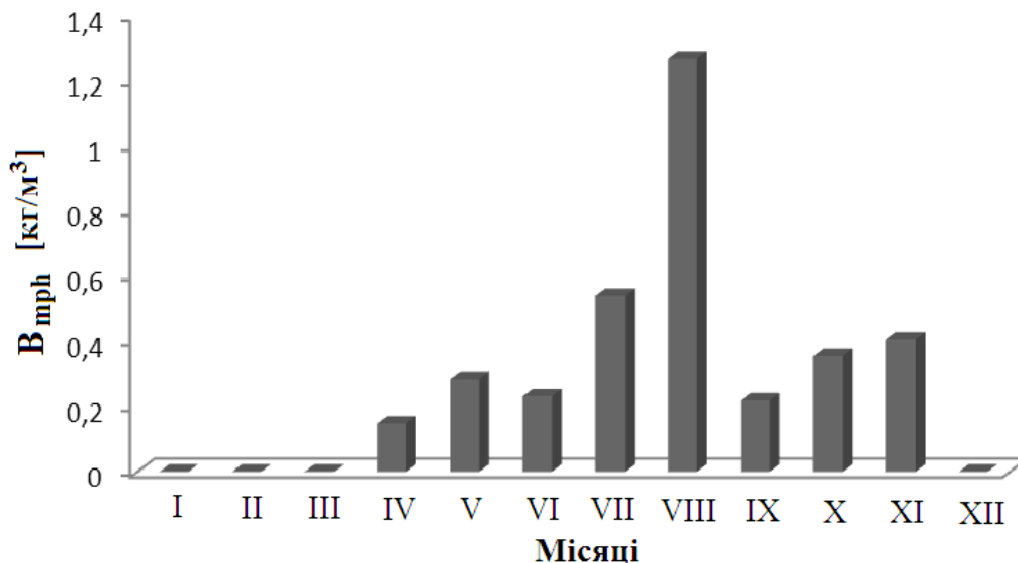


Рис. 14.4 Внутрішньорічна мінливість біомаси макрофітів, кг/м^3 , Тилігульського лиману, отримана помісячним осередненням даних за період 2000-2013 рр.

Із порівняння типових значень біомаси фітопланктону і макрофітів в Тилігульському лимані витікає, що останні грають не меншу ніж фітопланктон, а на мілководних ділянках – провідну роль у продукуванні органічної речовини та мінливості концентрацій біогенних речовин в

водах лиману [4]. Цьому сприяє достатня для розвитку макрофітів в мілководних областях прозорість вод лиману (рис. 14.5).

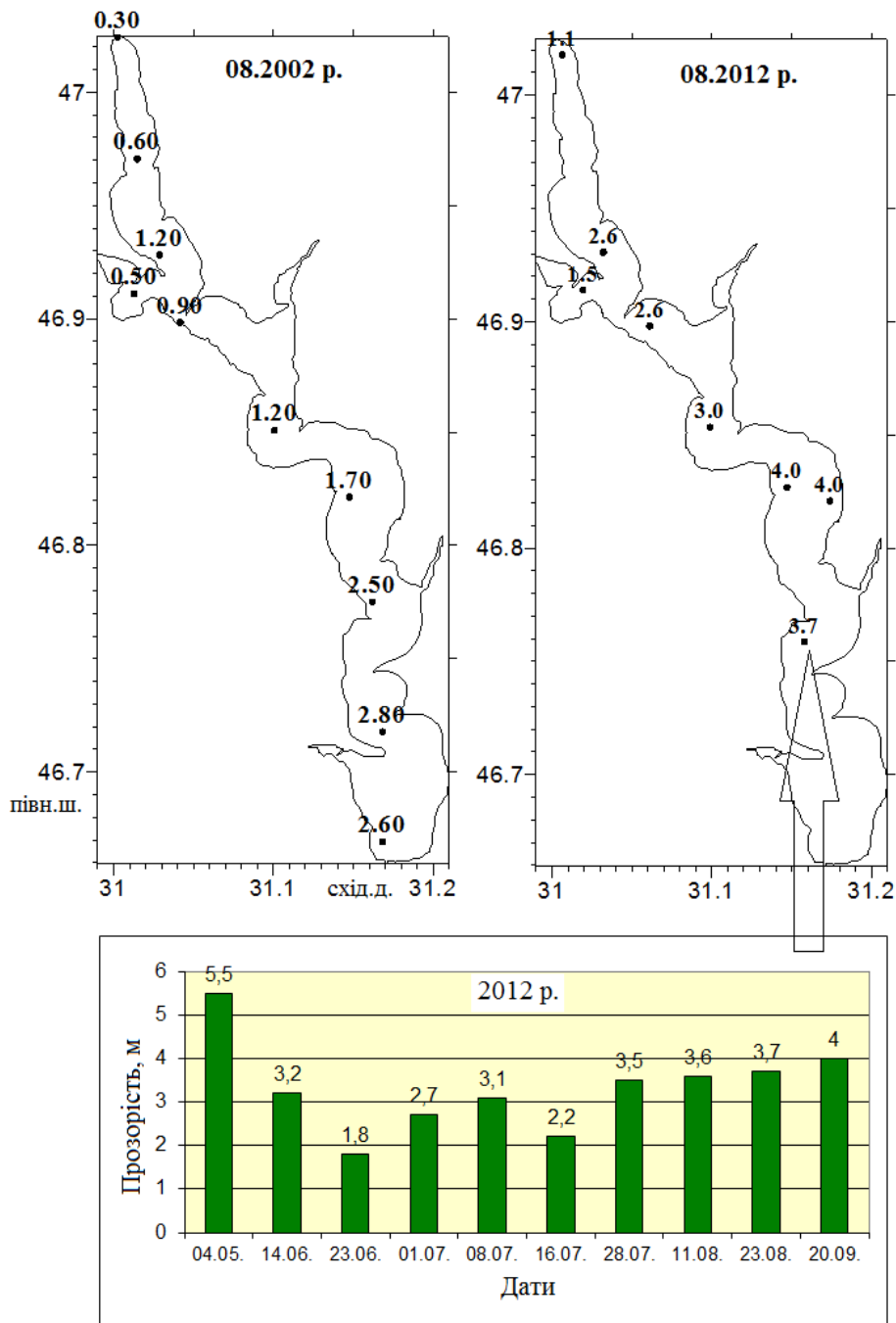


Рис. 14.5. Мінливість прозорості вод, м, на акваторії Тилігульського лиману за даними спостережень в серпні 2002 та 2012 рр., травні-вересні 2012 р. – на рейдовій станції між Чіловою та Ранжевою косами

Середня за багаторічний період внутрішньорічна мінливість концентрацій мінеральних та органічних форм азоту і фосфору, а також

розчиненої органічної речовини у водах 5-метрового приповерхневого шару лиману, отримана шляхом помісячного осереднення наявних даних за період 2002-2010 рр., представлена на рис. 14.6. Характерна особливість гідрохімічного режиму вод лиману полягає в незбалансованості екосистеми за вмістом основних біогенних елементів – азоту и фосфору.

Співвідношення між концентраціями азоту та фосфору N : P у водах лиману, розраховане за багаторічними середньомісячними значеннями, в середньому становить 1:10 для неорганічних форм, 9,5:1 – для органічних форм, 3:1 – для загальних азоту та фосфору, при стандартному співвідношенні для органічної речовини планктону 7,2:1 [7]. Це свідчить про лімітування мінеральним азотом первинного продукування органічної речовини автотрофами, а також про домінування в органічному азоті стійкої до біохімічного окислення фракції, зі значно меншою швидкістю мінералізації, ніж для органічного фосфору.

Для оцінки впливу зовнішніх чинників, що формують гідрохімічний режим лиману, використовувалися дані гідрохімічних спостережень за концентрацією біогенних речовин у водах р.Тилігул в період 2001-2011 рр., виконані з дискретністю 1 раз в сезон в пункті «сmt Березівка», розташованому в 15 км від верхів'я лиману, а також дані Оф ІБПМ про мінливість гідрохімічних характеристик морських вод на ділянці північно-західній частині Чорного моря поблизу Григорівського лиману.

Середньобагаторічні сезонні концентрації біогенних речовин у водах р.Тилігул показані на рис. 14.7. При порівнянні їх з даними для вод Тилігульського лиману, наведеними на рис. 14.6, випливає, що річковий стік є значущим джерелом надходження в лиман мінеральних форм азоту, особливо в літньо-осінній сезони року. Зокрема, цим можна пояснити спалах біомаси фітопланктону влітку 2010 р., коли через сильні зливи стік р.Тилігул спостерігався в липні. Водночас, концентрації органічного і, особливо, мінерального фосфору в річкових водах протягом усього року нижчі, ніж в лимані.

Внутрішньорічна мінливість гідрохімічних характеристик морських вод показана на рис. 14.8. Слід зазначити, що наведені для квітня та серпня значення отримані на основі поодиноких вимірювань, виконаних у 2005 та 2014 рр., і не є статистично забезпеченими. При порівнянні середніх значень гідрохімічних характеристик, наведених на рис. 14.6 і 14.8, витікає, що надходження морських вод в лиман, в цілому, зумовлює «оздоровчий» ефект для екосистеми лиману з позицій евтрофікації. В морських водах міститься менше органічних речовин, фосфатів, ніж у водах лиману. Дещо вищі концентрації в морській воді нітратів в літні місяці можуть призводити до збільшення продукції органічної речовини в південній частині лиману, однак це збільшення буде незначним.

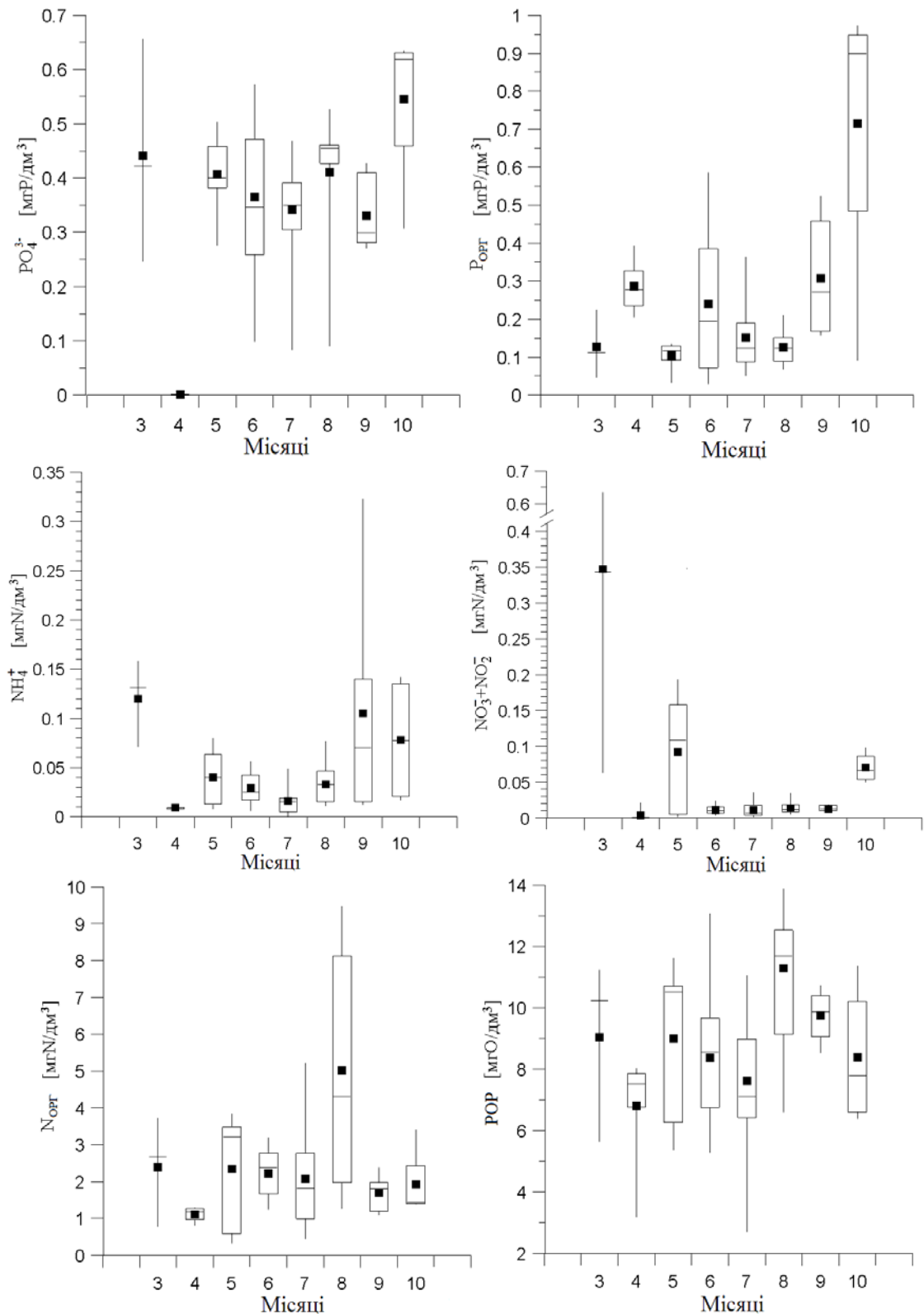


Рис. 14.6. Внутрішньорічна мінливість мінеральних та органічних форм азоту і фосфору, POP в Тилігульському лимані, встановлена помісячним осередненням даних спостережень за період 2002-2010 рр. Наведені мінімальні, максимальні, медіанні (риска) і середні (чорні квадрати) значення, а також значення 25 % та 75 % квантилей (нижня та верхня межі прямокутників)

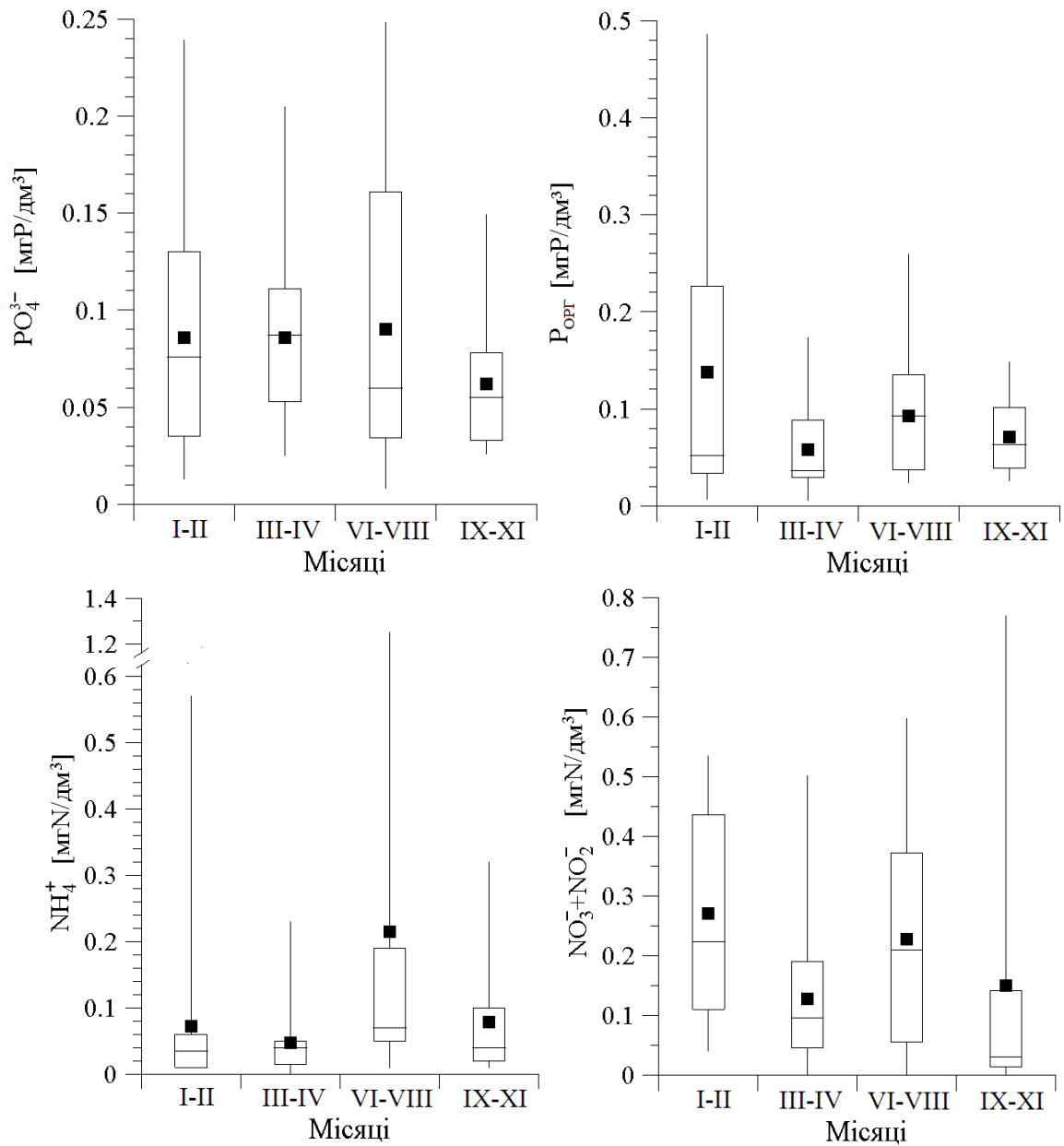


Рис. 14.7. Сезонна мінливість концентрацій мінерального та органічного фосфору, мінеральних форм азоту в водах р. Тилігул в період 2001 - 2011 рр. за даними спостережень в пункті «с/мт Березівка». Наведені мінімальні, максимальні, медіанні (риска) і середні (чорні квадрати) значення, а також значення 25 % та 75 % квантилей (нижня та верхня межі прямокутників)

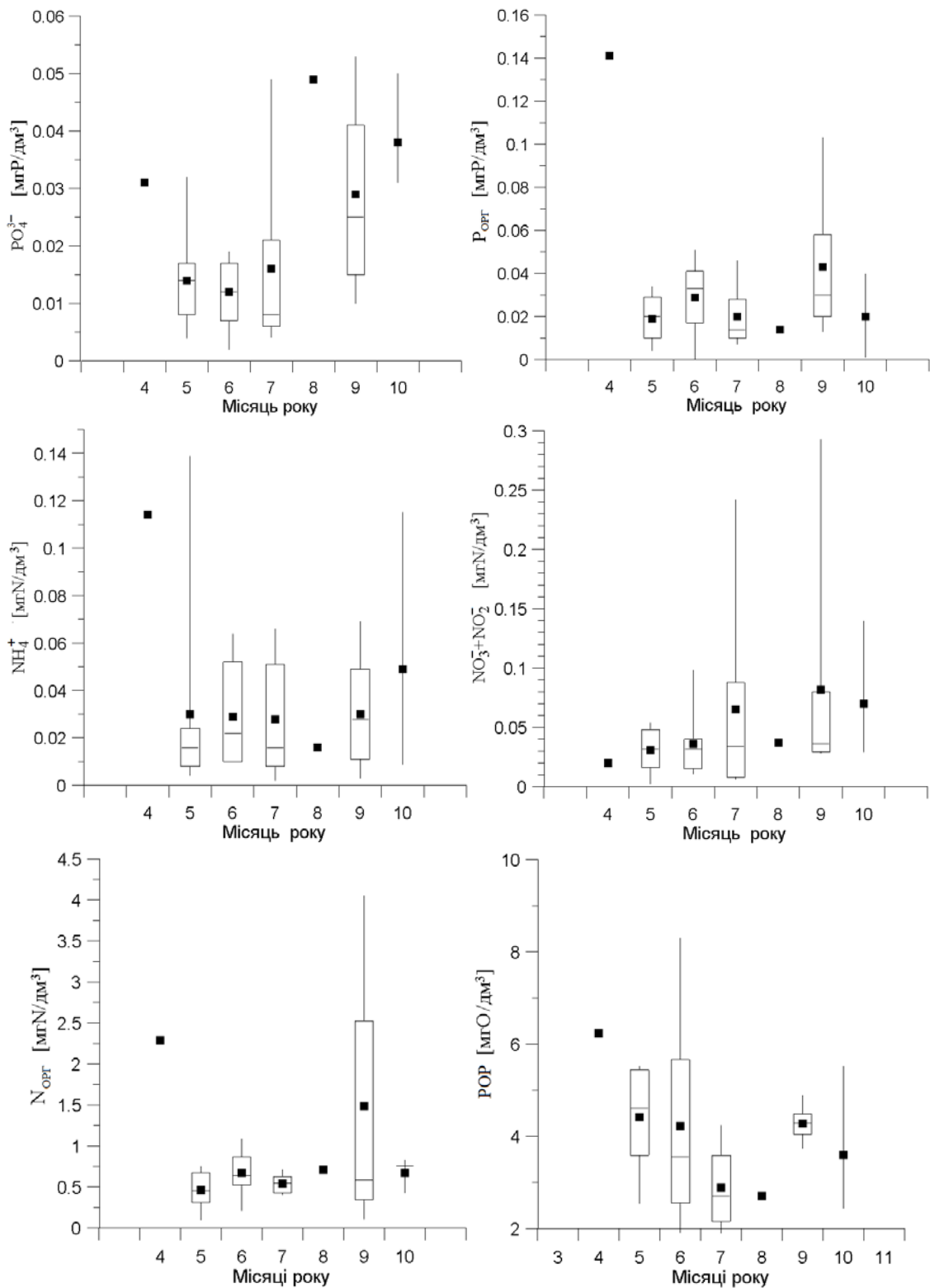


Рис. 14.8. Внутрішньорічна мінливість мінеральних та органічних форм азоту і фосфору, *POP* на ділянці моря поблизу Григорівського лиману, встановлена помісячним осередненням даних спостережень за період 2004-2014 рр. Наведені мінімальні, максимальні, медіанні (риска) і середні (чорні квадрати) значення, а також значення 25 % та 75 % квантилей (нижня та верхня межі прямокутників)

Однією з головних гідроекологічних проблем Тилігульського лиману є розвиток влітку дефіциту вмісту кисню (гіпоксії) у водах придонного шару глибоких ділянок акваторії лиману, а також на мілководді в нічний час при штилі і сильному прогріві вод. На ділянках центральної і південної частин лиману, де розташовані глибокі улоговини в рельєфі дна, наявність навіть слабо вираженої температурної стратифікації вод в літній період року призводить до розвитку гіпоксії (рис. 11.12), а при наявності різко вираженого термокліну, як наприклад у 2010 р., виникає аноксія.

На прибережному мілководді, при штильових умовах влітку, в результаті інтенсивного дихання і біохімічного окислення відмерлих залишків макрофітів, вміст у воді розчиненого кисню в нічний час може знижуватися до мінімальних значень, які відповідають гіпоксійним умовам (рис. 14.9).

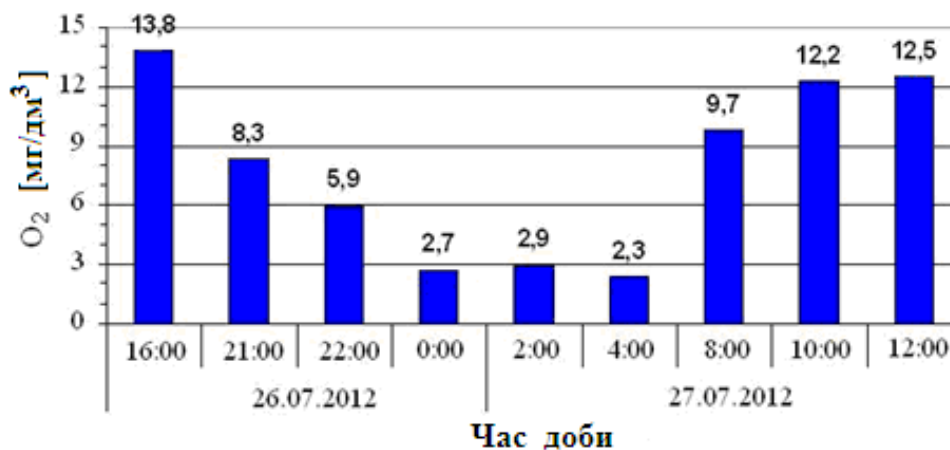


Рис. 14.9 Добовий хід вмісту розчиненого у воді кисню в прибережній мілководній зоні південної частини лиману в серпні 2012 р. (інформація Є.В. Соколова)

Порівняння гідрохімічних характеристик морських, лиманних і річкових вод дозволяє зробити висновок, що основні риси гідрохімічного режиму Тилігульського лиману значною мірою визначаються особливостями формування його водного балансу. Біогенні елементи, що надходять із зовнішніх джерел, насамперед з прісним стоком з водозбірного басейну лиману, протягом багатьох років акумулюються в ньому через інтенсивні втрати водного об'єму на випаровування влітку. Цьому сприяє також режим експлуатації з'єднувального каналу, при якому надходження морських вод в травні-липні лише компенсує дефіцит прісного балансу лиману, але не забезпечує витік вод з лиману в море в значущих об'ємах.

Значні запаси сполук біогенних елементів, органічної речовини накопичені у донних відкладах лиману (табл. 14.3). Ці запаси постійно

поповнюються за рахунок надходження органічних речовин з водної товщі в результаті гравітаційного осадження. Вміст сполук азоту і фосфору, POP у порових розчинах стабільно високий і більш ніж в декілька разів перевищує їх концентрації у водній товщі. При певних сприятливих умовах (високій температурі води влітку, вітро-хвильовому скаламучуванні донних відкладів на мілководді, виникненні відновлювальних умов в придонному шарі) інтенсивне їх надходження до водної товщі може значно змінювати гідрохімічні характеристики вод лиману, сприяти додатковому продукуванню органічної речовини, розвитку гіпоксії.

Таблиця 14.3. Характеристика порових розчинів донних відкладів Тилігульського лиману

Роки	N_{MIN}	N_{ORG}	P_{MIN}	P_{ORG}	POP , мгО/дм ³
	мгN/дм ³		мгP/дм ³		
2002	1,81	6,83	0,76	0,16	23,48
2003	1,55	12,37	0,15	0,51	32,45
2014	0,20	8,14	0,77	1,34	28,15

Для оцінки якості вод Тилігульського лиману використовувалася методика екологічної оцінки якості поверхневих вод [8]. Індекси показників вмісту сполук біогенних елементів і органічних речовин, розраховані за середньобагаторічними місячними значеннями гідрохімічних характеристик вод, дозволяють класифікувати лиман як евтрофну, β "– мезосапробну, слабо забруднену водою III класу, 4 категорії якості води. Це зумовлено високими концентраціями в водах лиману мінерального і загального фосфору (V клас, 7 категорія якості води), органічного азоту (II-III клас, 3-4 категорія), розчиненої органічної речовини (II-III клас, 3-5 категорія). В той же час, середні концентрації мінерального азоту відповідають I класу, 1 категорії якості вод. Загальний екологічний стан вод лиману класифікується як задовільний. За значенням індексу E-TRIX = 4,6 трофічний рівень лиману відповідає класу «середній» [9].

Таким чином, поряд з тенденцією підвищення солоності вод, однією з головних гідроекологічних проблем Тилігульського лиману є евтрофікація його вод, яка набуває особливої небезпеки для екосистеми лиману у зв'язку зі значним порушенням природного співвідношення між мінеральними сполуками азоту та фосфору в його водах. На даний час первинне продукування органічної речовини в лимані влітку стримується відносно низькими концентраціями мінерального азоту. Але наслідком цього є накопичення в лимані мінеральних і органічних сполук фосфору. Оскільки головним джерелом надходження в лиман мінерального азоту є

прісний стік з водозбірною басейну, то збільшення останнього може призводити до спалаху біомаси фітопланктону, порушення балансу продукційно-деструкційних процесів в екосистемі, поглибленню гіпоксійних і виникненню аноксійних явищ. Великі концентрації розчиненої органічної речовини у порових водах донних відкладів, сприяють швидкому розвитку влітку гіпоксійних явищ в придонному шарі вод при зменшенні інтенсивності вертикального турбулентного перемішування вод при слабких вітрах або за штильових умов, а також при наявності сезонного термоклин.