

ЗАГАЛЬНА ГІДРОБІОЛОГІЯ

УДК 574.5+582.26(477.7)

Г.М. ШИХАЛЄЄВА, к. х. н., пров. наук. співроб.,
Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини
МОН України та НАН України,
вул. Преображенська, 3, Одеса 65082, Україна
e-mail: i.l.monitoring@ukr.net
ORCID 0000-0002-1475-4415

А.А.-А. ЕННАН, д. х. н., проф., директор,
Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини
МОН України та НАН України,
вул. Преображенська, 3, Одеса 65082, Україна
e-mail: eksvar@ukr.net
ORCID 0000-0003-4578-7858

П.М. ЦАРЕНКО, чл.-кор. НАН України, д. б. н., проф., пров. наук. співроб.^{1,2}
зав. відділу³

¹Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини
МОН України та НАН України,

вул. Преображенська, 3, Одеса 65082, Україна

²Інститут ботаніки ім. В. Шафера Польської АН,
вул. Любіч, 46, Краків 31-512, Польща

³Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,
вул. Терещенківська, 2, Київ 01004, Україна

e-mail: ptsar@ukr.net

ORCID 0000-0003-0711-8573

Г.М. КІРЮШКІНА, ст. наук. співроб.,
Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини
МОН України та НАН України,
вул. Преображенська, 3, Одеса 65082, Україна
e-mail: i.l.monitoring@ukr.net
ORCID 0000-0003-4445-9879

АНАЛІЗ ВПЛИВУ АБІОТИЧНИХ ЧИННИКІВ НА РОЗВИТОК МІКРОВОДОРОСТЕЙ У ГІПЕРГАЛІННОМУ КУЯЛЬНИЦЬКОМУ ЛИМАНІ (УКРАЇНА, ПІВНІЧНО-ЗАХІДНЕ ПРИЧОРНОМОР'Я)

За результатами польових та лабораторних досліджень, проведених в екосистемі Куяльницького лиману у багатководний період (2004—2007 рр.), аналізується зв'язок між видовим різноманіттям, кількісними характеристиками (біомаса, чисельність) мікроводоростей та абіотичними чинниками середовища, в якості яких

Ц и т у в а н н я: Шихалєєва Г.М., Еннан А.А.-А., Царенко П.М., Кірюшкіна Г.М. Аналіз впливу абіотичних чинників на розвиток мікроводоростей у гіпергалінному Куяльницькому лимані (Україна, Північно-Західне Причорномор'я). *Гідробіол. журн.* 2023. Т. 59. № 3. С. 3—15.

розглядається комплекс гідрофізичних (температура та прозорість води, концентрація у воді завислих часток), метеорологічних (сума опадів), гідрологічних (рівень води) та гідрохімічних (солоність, вміст неорганічних сполук азоту, фосфору та силіцію, розчиненого у воді кисню, легкоокиснюваних органічних сполук та рН) показників у різні сезони вегетаційного періоду. Показано, що біомаса мікрководоростей лиману у вегетаційний сезон з квітня по жовтень 2004—2007 рр. найтісніше пов'язана з рівнем ($r = -0,69$) і солоністю ($r = 0,71$) води та вмістом фосфору мінерального ($r = 0,77$) в лимані, а з іншими абіотичними чинниками щільність зв'язку суттєво змінюється залежно від сезону року.

Ключові слова: Куяльницький лиман, структурні характеристики, мікрководорості, абіотичні чинники, кореляційний аналіз.

Гіпергалінний Куяльницький лиман відноситься до групи закритих лиманів Північно-Західного Причорномор'я. Особливістю цієї водойми, як і всіх безстічних гіпергалінних водойм, є значна сезонна та міжрічна мінливість водного режиму [3, 6, 7, 9, 12, 16]. З початку ХІХ ст. до теперішнього часу зміни рівня води в лимані досягали 6 м, а солоності — 395 ‰. Діапазон змін солоності дуже великий: від 21,9—38,2 ‰ (1942—1947 рр.) і 36,6—56,7 ‰ (1932—1938 рр.) до 314 ‰ (1920 р.) та вже у наш час — від 49,9—62,4 ‰ у 2003—2005 рр. до 360 ‰ (2002 р.) і 400 ‰ та вище (2012—2016 рр.) [6, 11, 12].

З метою відновлення гідрологічного режиму Куяльницького лиману з кінця грудня 2014 р. стартував проект із закачування води з Чорного моря через спеціально обладнаний магістральний трубопровід, але він не дав очікуваних результатів, а дозволив лише на якийсь час припинити деградаційні процеси, і то тільки в пониззі лиману [6, 7, 9].

Проведені в цей багаторічний період (2001—2018 рр.) систематичні сезонні комплексні дослідження альгофлори Куяльницького лиману охоплювали різні за водністю періоди: 2004 р. — весна 2007 р. — багатоводний; 2001—2002 рр. і літо 2007 р. — 2014 р. — маловодний та 2015—2018 рр. — також маловодний період, але з подачею морської води [6, 9].

Упродовж 2001—2018 рр. в акваторії лиману зареєстровано 121 вид (123 ввт) водоростей — представників 64 родів, 48 родин, 25 порядків, 8 класів і 5 відділів [6, 7]. Не виявлено в зазначений період таксони з відділів бурих, червоних, дінофітових і евгленових водоростей, які зазначались раніше у роки розпріснення лиману (1932—1938 рр., 1945—1947 рр.) [11]. Цього і слід було чекати в умовах ізоляції від Чорного моря і гіпергалінізації лиману, так як представники перших трьох зазначених відділів водоростей є практично типовими морськими організмами, а останнього — мешканцями прісноводних стоячих водойм. Доречно зазначити, що і в останні роки (2017—2018 рр.) в періоди подачі морської води з Одеської затоки відзначено появу дінофітових водоростей в обростаннях водозапускних лотків морської води в лиман з Одеської затоки [4].

Найрізноманітніше альгофлора була представлена у багатоводний період 2004 р. — весна 2007 р.: за градієнта солоності води 49,9—170,9 ‰ кількість видів коливалась у межах 55—96 видів, а у маловодний період

2008—2018 рр. за градієнта солоності води 194—340 ‰ — в межах 2—12 видів. При солоності ~340 ‰ живі клітини водоростей не виявлені [7, 26].

Отримані нами [6, 7, 22, 26] результати свідчать про закономірне зниження кількості видів зі збільшенням мінералізації води, що підтверджується і даними авторів досліджень ряду гіпергалінних озер Канади, Австралії, Північної Америки, Кенії та Кримського п-ова [1, 14, 21, 23, 24, 27, 28]. Тенденцію зниження біомаси гідробіонтів зі збільшенням солоності спостерігали, зокрема, на озерах Канади [24, 25]. Крім того, при дослідженні фітопланктону Кримських гіпергалінних озер встановлена чітка залежність первинної продукції фітопланктону від концентрації загального фосфору у воді [19]. Причому, у міру зростання солоності вище 55—58 ‰ в озерах відбувається чергування домінування водоростей планктону і бентосу. При солоності 100 ‰ первинні продуценти представлені переважно донними макроводоростями, що забезпечує переважання бентосного трофічного ланцюга. Зі збільшенням солоності до 184—340 ‰ структура первинних продуцентів змінюється, вони представлені виключно водоростями планктону. Трофічний планктонний ланцюг гранично спрощується, в озерах живе лише артемія [1].

Доречно зазначити, що всі солоні водойми — практично безстічні басейни і для них характерні масштабні варіації рівня води і, як наслідок, її солоності, що динамічно змінюється і визиває зміни гідробіологічного режиму [1, 14, 26—28]. Проте ключові фактори, що впливають на трофодинаміку екосистем солоних водойм, досі ще недостатньо вивчені.

Метою цієї роботи є дослідження впливу абіотичних чинників на інтенсивність багаторічного і сезонного розвитку мікроводоростей гіпергалінного Куяльницького лиману у багатоводний період 2004—2007 рр.

Матеріал і методика досліджень

Матеріалом для цієї роботи слугували результати оригінальних досліджень альгофлори, проведених на 15 станціях постійного моніторингу в акваторії Куяльницького лиману у багатоводний період 2004—2007 рр. [6, 7, 9] (рис. 1). Проби відбирали щомісячно в період з квітня по жовтень.

Відбір проб водоростей та їхню фіксацію проводили за стандартними методиками [2, 5]. Чисельність розраховували за допомогою лічильної камери, біомасу встановлювали розрахунково-об'ємним методом [13].

Номенклатура таксонів водоростей наведена відповідно до [20].

Синхронно зі збором зразків водоростей визначали основні фізико-хімічні характеристики води за стандартними методиками в атестованій в галузі метрологічного контролю природних компонентів випробувальній лабораторії «Моніторинг» ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України.

Проби води для гідрохімічних аналізів відбирали з поверхневого горизонту.

Серед основних абіотичних чинників, які обумовлюють склад та біорізноманіття альгофлори водойм, нами вибрані: серед гідрофізичних параметрів — температура, завислі частки, прозорість; гідрологічних — рівень води; метеорологічних — сума опадів; гідрохімічних — водневий

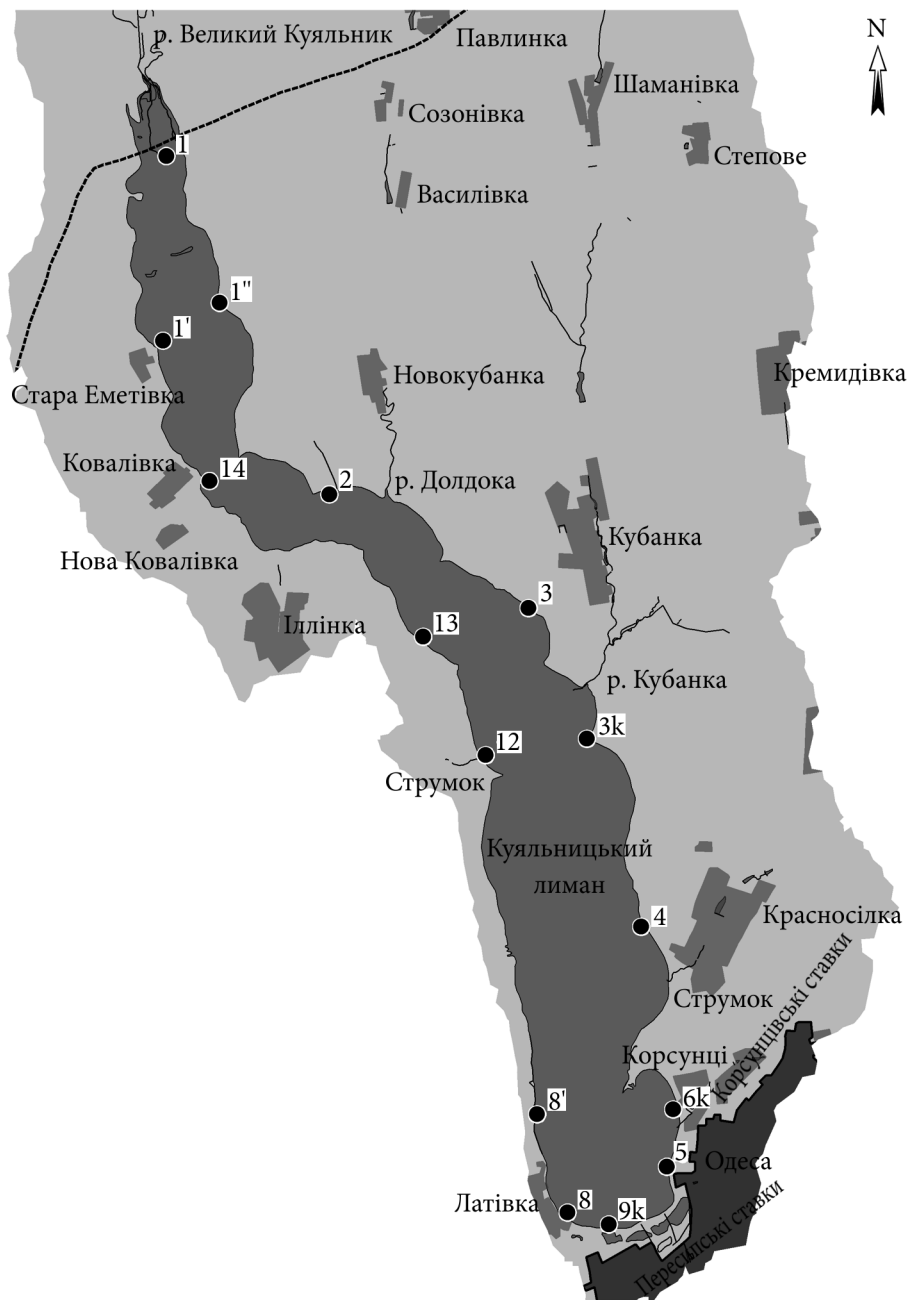


Рис. 1. Карта-схема Куяльницького лиману з позначенням станцій постійного моніторингу в його акваторії.

показник, солоність води, БСК₅ (як опосередкований показник нестійких органічних сполук [10]), вміст розчиненого у воді кисню та мінеральних форм азоту, фосфору і розчиненого у воді силіцію (NH_4^+ , мг N/дм³; NO_2^- , мг N/дм³; NO_3^- , мг N/дм³; PO_4^{3-} , мг P/дм³; $\text{Si}_{\text{розч}}$ мг/дм³).

Температуру та кислотність середовища вимірювали в момент відбору проби за допомогою скляного термометра ТЛ-4 зі шкалою розподілу 0,1 °C та рН-метра з автономним живленням рН-150 МІ, рівень води — на гідрологічному посту (див. рис. 1, ст. 8).

Аналіз метеорологічних характеристик (кількість опадів за досліджуваний період) проводили за даними Одеської ГМС.

Розрахунок коефіцієнтів кореляції Пірсона ($p = 0,05$) здійснювали за допомогою програми Microsoft Office Excel.

Дані альгологічних зборів за період 2001—2018 рр. у басейні Куяльницького лиману зберігаються у сформованій в ФХІЗНСІЛ електронній базі [8].

Результати досліджень та їх обговорення

За результатами синхронних сезонних досліджень кількісних показників мікроводоростей і абіотичних чинників гіпергалінного Куяльницького лиману у багатоводний період¹ 2004 р. — весна 2007 рр. нами вперше зроблено спробу встановити взаємозв'язок між кількісними показниками (кількість видів, чисельність, біомаса) мікроводоростей і абіотичними чинниками.

Результати розрахунку загальної біомаси (гістограма) мікроводоростей в Куяльницькому лимані й низки зазначених вище абіотичних чинників (криві лінії) у вегетаційний період 2004—2007 рр. представлено на рисунку 2.

Порівняльний аналіз динаміки синхронних сезонних фізико-хімічних показників води лиману і біомаси водоростей показує, що сезонна динаміка деяких із зазначених абіотичних чинників знаходиться у протифазі.

Майже для всіх досліджених абіотичних чинників характерна висока динамічність у чергуванні мінімальних і максимальних значень їхніх показників (особливо для мінеральних сполук азоту, фосфору і силіцію²).

Осінні максимуми вмісту мінеральних форм азоту та фосфору спостерігаються в кінці вересня — на початку жовтня і пов'язані насамперед з процесами розкладу гідробіонтів і вивільненням фосфору при розкладі водоростей та вищих водних рослин. Зниження вмісту фосфору на початку літнього і осіннього сезонів супроводжується суттєвим зниженням

¹ Всього у багатоводний період (2004—2007 рр.) у Куяльницькому лимані було виявлено 96 видів водоростей, а за весь багаторічний період (2001—2018 рр.) — 121 (123 ввт) вид водоростей, серед яких у зазначені періоди досліджень домінують представники діатомових [6, 7].

² Режим біогенних сполук у Куяльницькому лимані формується під впливом наступних основних чинників: надходження з водними стоками допливів, що живлять лиман, з побутовими і сільськогосподарськими та зливними стоками із території водозбору, з атмосферними опадами; у результаті деструкційно-продукційних процесів; міграції в системі вода — донні відклади. Вміст нітратів і нітритів змінюється також внаслідок процесів денітрифікації. Так, за даними 2005 р. валові об'єми надходження біогенних сполук (азоту амонійного і фосфору фосфатного) в південну частину акваторії лиману тільки із Пересипських ставків склали навесні ~0,22 т/місяць, влітку — ~0,07, восени — ~0,05 т/місяць).

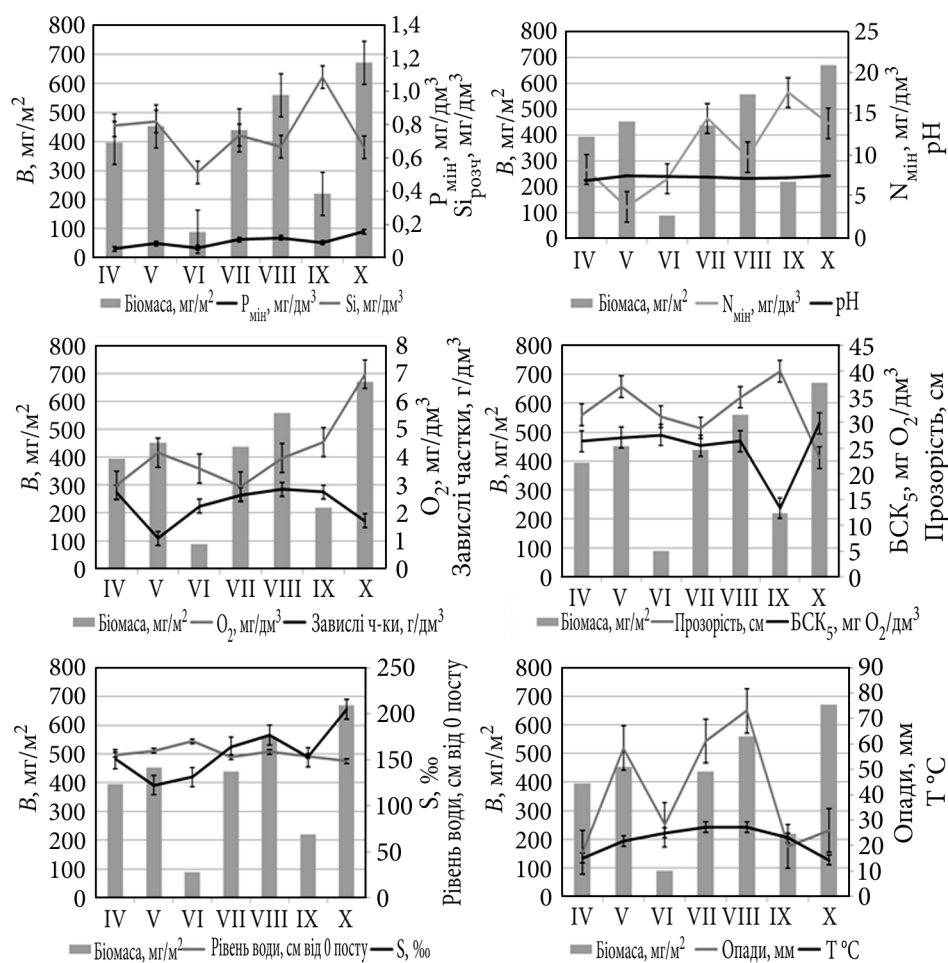


Рис. 2. Внутрішньорічна динаміка змін біомаси мікрободоростей та ряду абіотичних чинників Куяльницького лиману: N_{мін}, P_{мін}, Si_{розч}, O₂, БСК₅, рН, S, прозорість, завислі частки, T води, сума опадів, рівень води (за середньомісячними даними у вегетаційний період 2004—2007 рр.)

біомаси, що дозволяє розглядати мінеральні форми фосфору в якості важливих чинників міжсезонної мінливості видового багатства мікрободоростей лиману.

Середньорічні концентрації мінеральних форм азоту та фосфору у багатководний період досліджень склали відповідно: у 2004 р. — $4,65 \pm 1,28$ мг N/дм³ і $0,080 \pm 0,036$ мг P/дм³; у 2005 р. — $4,93 \pm 0,86$ мг N/дм³ і $0,104 \pm 0,08$ мг P/дм³; у 2006 р. — $13,73 \pm 1,78$ мг N/дм³ і $0,088 \pm 0,008$ мг P/дм³ та у 2007 р. — $15,14 \pm 2,14$ мг N/дм³ і $0,100 \pm 0,014$ мг P/дм³.

Співвідношення мінеральних форм N : P у цей період варіювали в інтервалі 47,4—151,4.

Основною формою знаходження азоту мінерального в акваторії лиману є азот амонійний. Середньомісячні за зазначений вище вегетацій-

ний період 2004—2007 рр. значення показників концентрації азоту амонійного, азоту нітритного і азоту нітратного варіювали в межах: $^3\text{NH}_4^+$ — 3,78—17,43 мг N/дм³; NO_2^- — 0,014—0,025 мг N/дм³; NO_3^- — 0,046—0,647 мг N/дм³.

Найбільший розмах коливань концентрації розчиненого у воді силіцію фіксується навесні і на початку літа, мінімальні концентрації силіцію характерні для літньо-весняних періодів, з деякими відхиленнями у певні роки⁴, але з кроком відставання у часі. Такий розподіл сезонних змін концентрації силіцію визначається, найвірогідніше, динамікою змін продукційно-деструкційних процесів. Високі концентрації розчиненого у воді силіцію вказують на відсутність його активного споживання, що ми і спостерігаємо у маловодні роки при гіпергалінізації Куяльницького лиману [15]. При інтенсивному розвитку діатомових водоростей вміст силіцію знижується до мінімальних показників.

Не менш важливими характеристиками продукційно-деструкційних процесів, поряд із вмістом біогенних сполук, є показники блоку гідрофізичних властивостей води (температура, прозорість, завислі частки), метеорологічні (кількість опадів) та гідрологічні (рівень води в лимані) параметри.

Прозорість корелює ($r = -0,43$) з температурою води. При підвищенні температури підвищується інтенсивність первинної продукції і, як наслідок, знижується прозорість води.

Особливо виразні ці зміни у сезонному аспекті (див. рис. 2). Прозорість води в Куяльницькому лимані у багатоводні роки не перевищувала 0,5 м. Найбільші значення фіксувались у весняний період (від 0,05 до 0,45 м при середній 0,35 м). Влітку і восени прозорість води в основному змінювалась у межах 0,05—0,44 м. З осолоненням води внаслідок обміління і скаламучування донних відкладів спостерігається зниження прозорості води, на що вказує і коефіцієнт кореляції між солоністю і прозорістю води ($r = -0,61$). Таким чином, прозорість значною мірою визначається як рівнем продукційних процесів у товщі води, так і біологічними механізмами седиментації завислих часток.

Середньорічні показники рівня води в Куяльницькому лимані у багатоводний період (2004—2007 рр.) коливались у межах мінус 528 — мінус 564 см БС, площа водного дзеркала — у межах 49—51,6 млн. м², об'єм водної маси — у межах 53—66,6 млн. м³, солоність води — у межах 105—217 ‰.

³ Високі концентрації азоту амонійного в акваторії Куяльницького лиману пов'язані з аварійним скидом каналізаційних вод в лиман з житломасиву Котовського, що неодноразово спостерігався, та великими об'ємами паводкового стоку навесні 2003 р. і високою мінералізацією води [17, 18].

⁴ Навесні 2004 р. нами, навпаки, фіксувались максимальні концентрації силіцію, але, скоріш за все, це було пов'язано зі зливом з узбережжя силікатних часток корінних порід внаслідок відміченого в травні зсуву ґрунту та великих обсягів руслового стоку під час повені 2003 р. Різде зниження концентрацій силіцію навесні 2005 р. відбувалось за рахунок його активного споживання діатомовими водоростями.

Вміст кисню, органічної речовини та величина рН є результатом інтенсивності біопродукційних процесів. Максимальні біомаса і концентрація кисню та мінімальна прозорість води свідчать про високу інтенсивність продукційних процесів у цей час (див. рис. 2).

Вміст кисню знижується від весни до літа і знову підвищується восени. Аналогічна картина спостерігається і для водневого показника (див. рис. 2). Загалом, у багатоводний період величина рН змінювалась у межах 6,80 (квітень 2006 р.) — 8,07 (жовтень 2005 р.), у маловодний період 2008—2014 рр. — у межах 6,92 (червень 2010 р.) — 8,16 (жовтень 2012 р.), при середніх значеннях в ці періоди відповідно 7,44 і 7,27.

Аналіз кореляційних взаємозв'язків між абіотичними і біотичними та між абіотичними чинниками показує, що як компоненти біоценозу і їхнє абіотичне оточення тісно пов'язані між собою, так і чинники абіотичної групи також змінюються в певному взаємозв'язку (табл. 1, 2).

Проведений статистичний аналіз встановив високу ($r > 0,60$) пряму достовірну кореляцію між солоністю води і концентраціями азоту амонійного ($r = 0,61$), фосфору мінерального ($r = 0,85$), розчиненого у воді кисню ($r = 0,63$); між концентрацією силіцію і прозорістю води ($r = 0,63$), між концентраціями фосфору мінерального і азоту нітритного ($r = 0,72$) та розчиненого у воді кисню ($r = 0,75$); між рН і концентраціями азоту нітритного ($r = 0,64$) і розчиненого у воді кисню ($r = 0,60$). Обернена висока достовірна кореляція встановлена між солоністю води та концентрацією азоту нітратного ($r = -0,68$) і прозорістю ($r = -0,61$); між концентрацією силіцію і величиною БСК₅ ($r = -0,84$); між концентраціями азоту амонійного і азоту нітратного ($r = -0,64$); між концентраціями завислих часток і рН ($r = -0,77$).

Виявлено, що більшість зазначених нами абіотичних чинників мають високі парні коефіцієнти кореляції між собою і солоністю води. Значущі коефіцієнти кореляції між формами азоту вказують на їхній генетичний зв'язок, між вмістом азоту амонійного і органічних сполук — на те, що аміак поступає у воду в результаті розкладу залишків білка, і загалом кореляція між біогенними компонентами свідчить про біохімічні процеси розкладу органічних сполук.

Розрахунки коефіцієнтів кореляції між рівнем води в лимані і зазначеними вище гідрофізичними і гідрохімічними показниками вказали на наявність значущих зворотних зв'язків із солоністю ($r = -0,71$) та вмістом біогенних сполук: азоту амонійного ($r = -0,63$), фосфору мінерального ($r = -0,65$), силіцію ($r = -0,46$) і розчиненого у воді кисню ($r = -0,46$).

Результати розрахунку коефіцієнтів кореляції всього комплексу абіотичних чинників із структурно-функціональними показниками (кількість видів, чисельність клітин, біомаса) мікробіодоростей, проведеними за середньомісячними даними у вегетаційний період з квітня по жовтень 2004—2007 рр., представлені у таблиці 2.

Із наведених у таблиці 2 даних видно, що біомаса та кількість видів мікробіодоростей у вегетаційний період 2004—2007 рр. найтісніше пов'язані з тими абіотичними чинниками, які виявили найтісніший зв'язок

Таблиця 1

Коефіцієнти лінійної кореляції між абіотичними чинниками

Показники	Si _{розч}	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	P _{мін}	БСК ₅	O ₂	pH	S %	Прозорість	Завислі частки	T, °C	Опади
Si _{розч} (n = 112)	—	0,43	-0,27	0,13	0,08	-0,84	0,00	-0,20	-0,13	0,63	0,15	-0,10	-0,23
N-NH ₄ ⁺ (n = 112)	0,43	—	0,40	-0,64	0,47	-0,57	0,29	-0,08	0,61	-0,13	0,47	0,03	-0,25
N-NO ₂ ⁻ (n = 112)	-0,27	0,40	—	-0,11	0,72	0,06	0,37	0,64	0,45	-0,26	-0,05	0,53	0,50
N-NO ₃ ⁻ (n = 112)	0,13	-0,64	-0,11	—	-0,25	0,01	0,03	0,54	-0,68	0,49	-0,77	0,10	0,21
P _{мін} (n = 112)	-0,09	0,47	0,72	-0,25	—	0,20	0,75	0,50	0,85	-0,47	-0,17	-0,09	0,30
БСК ₅ (n = 112)	-0,84	-0,57	0,06	0,01	0,20	—	0,12	0,22	0,18	-0,70	-0,43	-0,24	0,27
O ₂ (n = 112)	0,00	0,29	0,37	0,03	0,75	0,18	—	0,59	0,63	-0,39	-0,45	-0,50	-0,24
pH (n = 112)	-0,20	-0,08	0,64	0,54	0,50	0,22	0,60	—	0,04	-0,19	-0,77	0,09	0,22
S % (n = 112)	-0,13	0,61	0,45	-0,68	0,85	0,18	0,63	0,04	—	-0,61	0,22	-0,38	0,01

Примітка. Найважирним шрифтом виділено значущі коефіцієнти кореляції ($r > 0,37$ при $p \leq 0,05$)

між собою, а саме: з рівнем (відповідно $r = -0,69$ і $r = -0,77$) і солоністю води в лимані (відповідно $r = 0,71$ і $r = 0,84$) та з концентрацією фосфору мінерального (відповідно $r = 0,77$ і $r = 0,87$).

Взаємозв'язок чисельності клітин мікроводоростей в цей вегетаційний період з рівнем і солоністю води слабший (відповідно $r = -0,58$ і $r = 0,43$).

В окремі сезони досліджуваного періоду кореляція між структурно-функціональними показниками мікроводоростей і абіотичними чинниками середовища їхнього зростання відрізняється. Так, біомаса мікроводоростей навесні 2004—2007 рр. окрім рівня, солоності води і вмісту фосфатів найтісніше пов'язана із вмістом азоту амонійного ($r = -0,62$), азоту нітритного ($r = 0,87$) та БСК₅ ($r = 0,66$), а влітку — із вмістом азоту амонійного ($r = 0,83$), азоту нітратного ($r = -0,69$), розчиненого у воді кисню ($r = -0,64$), температурою та прозорістю води (відповідно $r = -0,67$ і $r = -0,64$).

Таблиця 2

**Кореляційні зв'язки між біотичними та абіотичними показниками води
Куяльницького лиману**

Показники води	Загальна біомаса, мг/м ²	Загальна чисельність, млн кл/м ²	Загальна кількість видів
Рівень води ($n = 80$)	$r = -0,69$	$r = -0,58$	$r = -0,77$
Температура води ($n = 80$)	$r = -0,34$	$r = 0,17$	$r = -0,49$
pH ($n = 80$)	$r = 0,16$	$r = 0,16$	$r = 0,27$
Прозорість ($n = 80$)	$r = -0,45$	$r = -0,49$	$r = -0,54$
Завислі частки ($n = 80$)	$r = -0,24$	$r = 0,06$	$r = -0,25$
Солоність води (S ‰) ($n = 80$)	$r = -0,71$	$r = -0,43$	$r = -0,84$
БСК ₅ ($n = 80$)	$r = 0,46$	$r = 0,16$	$r = 0,35$
Розчинний у воді кисень ($n = 80$)	$r = 0,49$	$r = 0,44$	$r = 0,75$
N-NH ₄ ⁺ ($n = 80$)	$r = 0,07$	$r = 0,45$	$r = 0,28$
N-NO ₂ ⁻ ($n = 80$)	$r = 0,24$	$r = 0,51$	$r = 0,30$
N-NO ₃ ⁻ ($n = 80$)	$r = -0,17$	$r = -0,38$	$r = -0,25$
P _{мін} ($n = 80$)	$r = 0,77$	$r = 0,51$	$r = 0,87$
Si _{розч} ($n = 80$)	$r = -0,10$	$r = 0,03$	$r = -0,49$ ($r = -0,51$ з кількістю видів діатомей)

П р и м і т к а: напівжирним шрифтом виділено найвищі коефіцієнти кореляції (при $p \leq 0,05$) між кількісними показниками мікроводоростей та абіотичними умовами їх зростання.

Висновки

За результатами проведеного кореляційного аналізу отримано низку прямих та зворотних взаємозв'язків різної сили між основними кількісними характеристиками (біомаса, чисельність, кількість видів) мікроводоростей та гідрологічними, гідрометеорологічними, гідрофізичними та гідрохімічними показниками Куяльницького лиману в багатоводний період 2004—2007 рр., що вказує на виключно високе різноманіття одночасно діючих чинників і опосередкованість їхнього впливу на альгоценоз лиману.

До числа найважливіших абіотичних чинників, які суттєво впливають на кількісні показники (кількість видів, чисельність клітин, біомаса) мікроводоростей мілководного гіпергалінного Куяльницького лиману, можна віднести рівень і солоність води, вміст фосфору мінерального та розчиненого у воді кисню.

Отримані результати узгоджуються з вищенаведеними літературними даними досліджень подібних солоних озер.

Список використаної літератури

1. Балущкина Е.В., Голубков С.М., Голубков М.С. и др. Влияние абиотических и биотических факторов на структурно-функциональную организацию экосистем соленых озер Крыма. *Журн. общей биологии*. 2009. Т. 70, № 6. С. 504—514.
2. Водоросли: Справочник / Под. общ. ред. С.П. Вассера. Киев : Наук. думка, 1989. 608 с.
3. Гопченко Є.Д., Гриб О.М. Оцінка складових водного балансу Куяльницького лиману та визначення причин сучасного обміління. *Метеорологія і гідрологія*. 2010. Т. 51. С. 200—215.
4. Дерезюк Н.В. Фітопланктон Куяльницького лиману у 2015—2017 рр. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2017. Т. 27, № 1—2. С. 52—61.
5. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Ленинград : Наука, 1974. Т. 1. 400 с.
6. Еннан А.А.-А., Шихалеева Г.М., Царенко П.М. та ін. Альгофлористичні дослідження водойм басейну Куяльницького лиману (Північно-Західне Причорномор'я, Україна). *Альгологія*. 2022. Т. 32, № 2. С. 105—132. <https://doi.org/10.15407/alg32.02.105>.
7. *Енциклопедія Куяльницького лиману*: у 8 т. гол. ред. А.А.-А. Еннан; видавнича рада: Б.Є. Патон (голова), С.Р. Гриневецький (заст. голови), А.А.-А. Еннан та ін.; ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України. Одеса, 2018. Т. 2: Водорості / Герасимюк В.П., Еннан А.А.-А., Шихалеева Г.М.; відп ред. П.М. Царенко, А.А.-А. Еннан. Одеса: Астропринт, 2020. 448 с.
8. Кирюшкина А.Н., Шихалеева Г.Н., Герасимюк В.П. Альгофлора Куяльницького лимана и сопредельных водоемов (Украина, Северо-Западное Причерноморье). У кн.: *Актуальні проблеми ботаніки та екології* : матеріали Міжнар. конф. молодих учених. Полтава, 2015. С. 160.
9. Лобода Н.С., Гриб О.М. Гідроекологічні проблеми Куяльницького лиману та шляхи їх вирішення. *Гідробіол. журн.* 2017. Т. 53, № 4. С. 95—104.
10. Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Гідрохімічний довідник: Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу. Київ : Ніка-Центр, 2008. 656 с.
11. Погребняк И.И. Донная растительность лиманов Северо-Западного Причерноморья и сопредельных акваторий Черного моря : автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. Одесса, 1965. 31 с.

12. Розенгурт М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. Киев : Наук. думка, 1974, 221 с.
13. Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР. Киев : Вища шк., 1984. 333 с.
14. Шадрин Н.В., Ануфриева Е.В. Экосистемы гиперсоленых водоемов: структура и трофические связи. *Журн. общ. биол.* 2018. Т. 79, № 6. С. 418—427.
15. Шихалеев И.И., Каребин А.В., Шихалеева Г.Н. Многолетняя динамика содержания соединений кремния в поверхностных водах бассейна водосбора Куяльницкого лимана. *Вісник ОНУ. Хімія.* 2013. Т. 18. № 4 (48). С. 87—96.
16. Шихалеева Г.Н., Эннан А.А., Чурсина О.Д. и др. Многолетняя динамика водно-солевого режима Куяльницкого лимана. *Вісн. Одес. нац. ун-ту. Хімія.* 2013. Т. 18. № 3 (47). С. 67—78.
17. Шихалеева Г.Н., Эннан А.А., Шихалеев И.И., Чурсина О.Д. Динамика гидрохимических показателей поверхностных вод бассейна Куяльницкого лимана. *Вісн. Одес. нац. ун-ту. Хімія.* 2011. Т. 16. № 13 (39). С.55—61.
18. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Адобовский В.В. и др. Деградация водной экосистемы Куяльницкого лимана и пути ее восстановления. *Причорномор. екол. бюл.* (Одеса). 2012. № 1 (43). С. 75—85.
19. Boulion V.V., Golubkov M.S. Biological productivity of saline lakes in Crimea. *Proc. Zool. Inst. Russ. Acad. Sci.* 2005. Vol. 308. P. 13—20.
20. Guiry G.M., Guiry M.D. 2022. *AlgaeBase. World-wide electron. publ.* Nat. Univ. Ireland, Galway.<http://www.algaebase.org>
21. Hammer U.T. Primary production in saline lakes. A review. *Hydrobiologia.* 1981. Vol. 81/82. P. 47—57.
22. Ennan A.A., Shikhaleeva G.N., Gerasimiuk V.P. et al. *Advances Modern Psychology: Abstr. VI Int. Conf. (Kyiv, 15—17 May, 2019).* Kyiv. 2019. P. 34—36.
23. Khan T.A. Limnology of four saline lakes in western Victoria, Australia: I. Physico-chemical parameters. *Limnologica.* 2003. Vol. 33, Iss. 4. P. 316—326.
24. Timms B.V. Animal communities in three Victorian lakes of differing salinity. *Hydrobiologia.* 1981. Vol. 81/82. P. 181—193
25. Timms B.V., Hammer U.T., Sheard J.W. A study of benthic communities in some saline lakes in Saskatchewan and Alberta, Canada. *Int. Revue ges. Hydrobiologia.* 1986. Vol. 71. P. 759—777.
26. Shikhaleeva G.N., Gerasimiuk V.P., Kiryushkina A.N. et al. Algoristic studies of the Kuyalnik estuary and temporary water bodies of its vicinities (Northwestern Black Sea Coast, Ukraine). *Intern. J. Algae,* 2017. Vol. 19, N 3. P. 195—214.
27. Walker K.F., Studies on saline lake ecosystem. *Aust. J. Freshwater Res.* 1973. Vol. 24. P. 21—71.
28. Williams W.D. Salinity as a determinant of the structure of biological communities in salt lakes. *Hydrobiologia.* 1998. Vol. 381. P. 191—201..

Надійшла 28.07.2022

G.M. Shykhaleeva, PhD (Chem.), Leading Researcher,
Physical and Chemical Institute for Environment and Human Protection of the MES of
Ukraine and of the NAS of Ukraine,
3, Preobrazhenska Str., Odesa 65082, Ukraine
e-mail: i.l.monitoring@ukr.net
ORCID 0000-0002-1475-4415

A.A.-A. Ennan, Dr. Sci. (Chem.), Prof., Director,
Physical and Chemical Institute for Environment and Human Protection of the MES of
Ukraine and of the NAS of Ukraine,
3, Preobrazhenska Str., Odesa 65082, Ukraine
e-mail: eksvar@ukr.net
ORCID 0000—0003—4578—7858

P.M. Tsarenko, Corresponding Member of the NAS of Ukraine,
Dr. Sci. (Biol.), Prof., Leading Researcher^{1,2}
Head of Department³
Physical and Chemical Institute for Environment and Human Protection of the MES of
Ukraine and of the NAS of Ukraine,
3, Preobrazhenska Str., Odesa 65082, Ukraine
IW. Szafer Institute of Botany of the Polish Academy of Sciences,
46, Lubicz Str., Krakow 31-512, Poland
³M.G. Kholodny Institute of Botany of the NAS of Ukraine,
2, Tereshchenkivska Str., Kyiv 01004, Ukraine
e-mail: ptsar.@ukr.net
ORCID 0000-0003-0711-8573

G.M. Kiryushkina, Senior Researcher,
Physical and Chemical Institute for Environment and Human Protection of the MES of
Ukraine and of the NAS of Ukraine,
3, Preobrazhenska Str., Odesa 65082, Ukraine
e-mail: i.l.monitoring@ukr.net
ORCID 0000-0003-4445-9879

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON THE DEVELOPMENT
OF MICROALGAE IN THE HYPERHALINE KUYALNYK ESTUARY
(NORTH-WESTERN BLACK SEA COAST, UKRAINE)

Based on the results of field and laboratory research conducted in the ecosystem of the Kuyalnytsky estuary during the period of high water (2004—2007), the relationship between species diversity, quantitative characteristics (biomass, number) of microalgae and abiotic factors of the environment, considered as a complex of hydrophysical (salinity, temperature and transparency of water, concentration of suspended particles in water), meteorological (amount of precipitation), hydrological (water level) and hydrochemical (inorganic compounds of nitrogen, phosphorus and silicon, oxygen dissolved in water, easily oxidizable organic compounds and pH) indicators in different seasons of the growing season.

It is shown that the biomass of microalgae of the estuary in the growing season from April to October 2004—2007 is most closely related to the level ($r = -0.69$) and salinity ($r = 0.71$) of the water and the content of phosphate ions ($r = 0.77$) in the estuary, and with other abiotic factors, the closeness of the relationship changes significantly depending on the season.

Key words: *Kuyalnyk estuary, structural characteristics of microalgae, abiotic factors, correlation analysis.*