

УДК [574.583 + 574.586 + 574.589] (282.247.32)

Н.Є. СЕМЕНЮК, к. б. н., ст. наук. співроб.
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: natasemenyuk@gmail.com
ORCID 0000-0003-4447-3507

В.І. ЩЕРБАК, д. б. н., проф., пров. наук. співроб.
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
ORCID 0000-0002-1237-6465

І.М. ШЕРМАН, д. с.-г. н., проф., проф.
Херсонський державний аграрний університет,
вул. Стрітенська, 23, Херсон, 73006, Україна
e-mail: sherman_i.m@ukr.net

П.С. КУТИЩЕВ, к. б. н., доц., зав. кафедри
Херсонський державний аграрний університет,
вул. Стрітенська, 23, Херсон, 73006, Україна
e-mail: kutishev_p@ukr.net
ORCID 0000-0002-8875-3909

РІЗНОМАНІТТЯ І СТРУКТУРА АВТОТРОФНОЇ ЛАНКИ КАРДАШИНСЬКОГО ЛИМАНУ І ПІЩАНОГО КАР'ЄРА ДНІПРОВСЬКО-БУЗЬКОЇ ЕСТУАРНОЇ СИСТЕМИ*

У роботі розглянуто різноманіття і структуру автотрофної ланки (фітопланктон, вищі водні рослини, фітоеніфітон) Кардашинського лиману і штучно створеного піщаного кар'єра у межах Дніпровсько-Бузької естуарної екосистеми і розподіл потоків енергії в них. Природна підсистема (лиман) і штучна (кар'єр) суттєво відрізняються за комплексом екологічних чинників, таких, як морфологічні, гідрохімічні характеристики, температурні і світлові умови, що впливають на автотрофну ланку. Угруповання водоростей різних екологічних груп і вищих водних рослин характеризуються більш високим різноманіттям у лимані, ніж у кар'єрі. У розподілі потоків енергії в автотрофній ланці лиману домінують фітопланктон і вищі водні рослини, у піщаному кар'єрі домінує фітопланктон.

* Робота виконується за фінансової підтримки гранту Міністерства освіти і науки України в рамках проекту «Інноваційна технологія рибничо-біологічного формування іхтіофауни як складова продовольчої безпеки України».

Ц и т у в а н н я: Семенюк Н.Є., Щербак В.І., Шерман І.М., Кутіщев П.С. Різноманіття і структура автотрофної ланки Кардашинського лиману і піщаного кар'єра Дніпровсько-Бузької естуарної системи. *Гідробіол. журн.* 2020. № 1 (331). С. 33—49.

Ключові слова: Дніпровсько-Бузька естуарна система, природний лиман, штучний піщаний кар'єр, потоки енергії, фітопланктон, вищі водні рослини, фітоепіфітон

Згідно з концепцією альтернативних стабільних станів [17, 18], водні екосистеми характеризуються ландшафтами, які часто являють собою мозаїку ділянок із домінуванням різних рослинних угруповань. При цьому водойми можуть мати два альтернативні стабільні стани: домінування вищих водних рослин (ВВР) або фітопланктону [11—13, 25, 26].

Проблема альтернативних стабільних станів є особливо актуальною для естуаріїв — динамічних екосистем, які являють собою області інтенсивного обміну речовин і енергії і відрізняються постійними флуктуаціями фізичних, хімічних і біологічних параметрів [16], а також унікальним структурним і функціональним різноманіттям [15]. На сьогодні нестійка динамічна рівновага різних естуаріїв світу знаходиться під загрозою, зумовленою антропогенним впливом, у тому числі і гідротехнічними роботами [21].

Усе вищевикладене стосується найбільшого річкового естуарію Європи — Дніпровсько-Бузької естуарної системи. У її межах співіснують водойми з різними типами ландшафтів: мілководні, з багатою рослинністю різних екологічних груп, і глибоководні, з невеликими заростями ВВР і домінуванням фітопланктону. Поява другого типу водойм зумовлена проведенням у Дніпровсько-Бузькій естуарній системі великомасштабних гідротехнічних робіт з видобутку піску [5]. Водойми, які утворились на місці піщаних кар'єрів, з'єднуються з природними, в результаті формуються антропогенно-змінені екосистеми з двома підсистемами (природною і штучною). Моделлю такої антропогенно зміненої екосистеми слугує природний Кардашинський лиман, з'єднаний із великим піщаним кар'єром. У кожній з підсистем сформувався властивий їй комплекс екологічних чинників, що пов'язано з різницею у морфологічних характеристиках водойм (мілководна — лиман і глибоководна — кар'єр); відмінностями у температурних, світлових, гідрохімічних умовах; наслідком впливу специфічного антропогенного чинника на підсистему кар'єра — гідротехнічних робіт; часом існування підсистем, оскільки кар'єр — «молодший», ніж лиман.

Необхідною умовою для розробки наукових засад збереження естуаріїв і підтримання їхньої стійкості є оцінка стану різнотипних водойм, які входять до їх складу. Відомо, що комплексне дослідження рослинних угруповань дає важливу інформацію про процеси в естуаріях і дозволяє удосконалити заходи зі збереження їхніх екосистем у глобальному масштабі [14]. Тому важливими показниками є домінуючі рослинні угруповання автотрофної ланки: фітопланктон, ВВР і фітоепіфітон.

Мета роботи — провести порівняльну оцінку ролі різних компонентів (фітопланктон, ВВР, фітоепіфітон) у структурі автотрофної ланки природної (Кардашинський лиман) і штучної (піщаний кар'єр) водойм Дніпровсько-Бузької естуарної екосистеми.

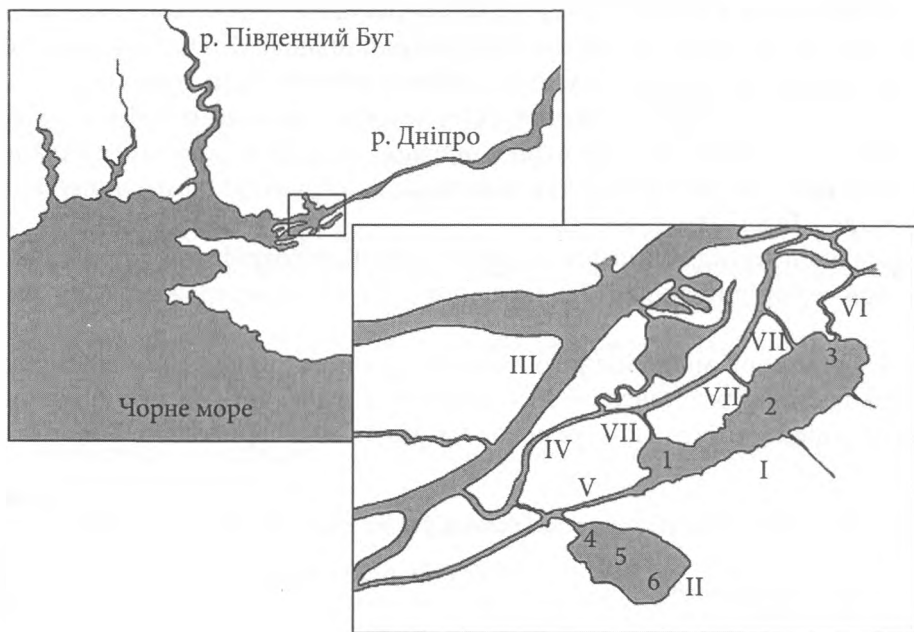


Рис. 1. Карта-схема Кардашинського лиману (I — підсистема лиману, II — підсистема піщаного кар'єра) Дніпровсько-Бузької естуарної області: III — Нижній Дніпро, IV — р. Конка, V — р. Чайка, VI — ерик Чайка, VII — інші ерики; 1–6 — станції відбору проб

Матеріал і методика досліджень

Кардашинський лиман — водна екосистема, яка входить до Дніпровсько-Бузької естуарної області, розташована на лівобережній заплаві дельти Дніпра у Голопристанському районі Херсонської області України ($46^{\circ}34'44,5''\text{N}$ $32^{\circ}37'46,2''\text{E}$). Тривалі гідротехнічні роботи з видобутку піску поруч із лиманом призвели до того, що на даний час він складається з двох підсистем: безпосередньо природного лиману і штучно створеного піщаного кар'єра, які гідрологічно пов'язані між собою (рис. 1).

Аналіз літературних даних [5, 7, 8], а також власні експедиційні дослідження показали, що досліджувані підсистеми суттєво відрізняються за гідроморфологічними характеристиками (табл. 1).

Отже, безпосередньо Кардашинський лиман — це природна водойма, в акваторії якої переважають мілководдя (середня глибина 1,5 м, максимальна — 2,2 м). Лиман гідрологічно пов'язаний із русловою мережею Дніпра системою проток і ериків. Заповнення лиману водою відбувається через ерик Чайка, меншою мірою — через р. Чайку і систему дрібніших ериків.

На відміну від лиману, піщаний кар'єр — більш глибоководна водойма із середньою глибиною 3,8 м і максимальною 6,5 м. Характеризується невеликою літоральною зоною з різким збільшенням глибин. Кар'єр пов'язаний із русловою мережею Дніпра протокою [5].

Підсистема лиману майже удвічі перевищує підсистему кар'єра за площею, але у той же час об'єм кар'єра приблизно в 1,25 раза більший за об'єм лиману, що зумовлено його глибоководністю (див. табл. 1).

Особливості морфологічних, гідрологічних, фізичних і хімічних характеристик підсистем формують відмінності у їх біотопічному різноманітті, що, у свою чергу, відображається на структурі і функціонуванні компонентів автотрофної ланки.

Натурні дослідження фітопланктону, ВВР, фітоепіфітону¹ проводили у літній сезон (липень) 2017 р. на шести станціях спостережень (див. рис. 1).

На акваторії мілководного лиману проби фітопланктону відбирали на трьох станціях з поверхневого горизонту, у кар'єрі — на глибоководних станціях (ст. 5 і 6) з поверхневого і придонного горизонтів, а на мілко-

Таблиця 1

Гідроморфологічні характеристики підсистем Кардашинського лиману

Гідроморфологічні характеристики	Підсистеми Кардашинського лиману	
	лиман	піщаний кар'єр
Форма	Видовжено-еліпсоїдна, витягнута з північного сходу на південний захід	Овальна, витягнута з північного заходу на південний схід
Довжина, км	4,40	2,00
Ширина, км	1,20	1,30
Площа водної поверхні, км ²	5,30	2,62
Об'єм, м ³	7,88×10 ⁶	9,96×10 ⁶
Середня глибина, м	≈ 1,5	≈ 3,8
Максимальна глибина, м	≈ 2,2	≈ 6,5
Розподіл глибин за акваторією	<1,0 м — 12,2 % >1,8 м — 59,2 %	Переважають глибини >3 м, які відмічаються вже на відстані 20 м від берега
Зв'язок із русловою мережею Дніпровсько-Бузької естуарної області	Лиман ↔ ерик Чайка, р. Чайка та інші ерики ↔ р. Конка ↔ Нижній Дніпро	Кар'єр ↔ р. Чайка ↔ Нижній Дніпро
Період водообміну, діб	15,0 [7] 7,0—12,0 [8]	24,5 [5]

П р и м і т к а. Згідно з маршрутними дослідженнями авторів (липень 2017 р.) і літературними даними [5, 7, 8].

¹ У планктоні лиману у літній сезон масово розвивались *Cyanophyta*, які «екранували» дно від сонячної енергії, а у глибоководному піщаному кар'єрі потужність фотичної зони не перевищувала 50% стовпа води, тому роль мікрофітобентосу в структурі автотрофної ланки не враховували.

водній станції (ст. 4) — лише з поверхневого. Усі проби відбирали в трикратній повторності. Паралельно з відбором фітопланктону вимірювали температуру, прозорість води за диском Секкі і відбирали проби для визначення вмісту розчиненого кисню (у трикратній повторності на кожній станції). Крім того, у лимані визначали мінералізацію води².

Відбір фітоепіфітону виконували за такою схемою: фрагменти ВВР довжиною 5—8 см обережно зрізали під водою, вміщували в широкогорлі склянки місткістю 100 см³ і заливали дистильованою водою. Водорості зчищали з рослин за допомогою щітки і консервували 5 мл 40% розчину формаліну. Вимірювали площу фрагментів рослин, після чого висушували їх до абсолютно сухої маси (АСМ) і зважували на аналітичних терезах із точністю до 0,1 мг.

Камеральне опрацювання проб водоростей планктону і фітоепіфітону, розрахунок чисельності і біомаси проводили згідно з [9, 19, 22]. Чисельність і біомасу водоростей обростань розраховували як на одиницю площі, так і на одиницю маси рослин-субстратів. Для рослин, площу поверхні яких визначити методично складно, використовували коефіцієнти відношення площі до абсолютно сухої маси: для *Myriophyllum spicatum* — 1200 см²/г АСМ, для *Ceratophyllum demersum* — 400 см²/г АСМ [10].

Кластерний аналіз подібності (відмінності) видового складу проводили згідно з [3] за допомогою комп'ютерної програми Past 6.0. Результати кластерного аналізу інтерпретували таким чином: чітке розділення дендрограми на кластери свідчить про подібність екологічних умов на ділянках спостереження, які входять до одного кластеру, і, відповідно, про відмінність екологічних умов між кластерами.

Відбір ВВР для визначення їхнього видового складу і фітомаси здійснювали на облікових ділянках площею 0,25 м². У лабораторії визначали сиру фітомасу й абсолютно суху масу, перераховуючи її на 1 м². Площу заростання і проективне покриття визначали візуально у процесі маршрутних обстежень водойм.

Запаси фітомаси рослин розраховували як добуток середньої для виду рослин фітомаси на 1 м² і площі заростання. Запаси фітопланктону оцінювали шляхом множення середньої біомаси фітопланктону у лимані або кар'єрі на об'єм води в досліджуваній водоймі, а запаси фітоепіфітону — множенням його середньої біомаси на вищих рослинах різних екологічних груп на запаси фітомаси цих рослин. Для фітоепіфітону на повітряно-водних рослинах враховували лише ту частину фітомаси ВВР, яка вегетує у водній товщі.

На основі отриманих даних щодо запасів біомаси автотрофних організмів було оцінено розподіл потоків енергії між різними компонентами автотрофної ланки у досліджуваних водних екосистемах. Енергетич-

² Автори висловлюють вдячність молодшому науковому співробітнику Інституту гідробіології НАН України М.І. Лінчук за визначення мінералізації води Кардашинського лиману.

ний еквівалент сирової біомаси водоростей (планктону або епіфітону) було прийнято за 3,35 кДж/г, а сухої фітомаси ВВР — 16,74 кДж/г.

Результати досліджень

Абіотичні характеристики. У лимані температура води поверхневих горизонтів коливалась у межах 26,1—26,6 °С, придонних — 25,2—26,0 °С (t між поверхневим і придонним горизонтом від 0,6 до 0,9 °С). У той же час у поверхневих горизонтах кар'єра температура становила 24,5—26,0 °С, у придонних — 22,4—23,2 °С (t від 2,1 до 2,8 °С).

Мінералізація води на різних ділянках досліджуваних акваторій коливалась від 0,70 до 1,24 г/дм³, що вказує на прісноводний режим. Прозорість води (S) у лимані і кар'єрі в період наших досліджень статистично достовірно не відрізнялась і становила 0,50—0,60 м. Однак, з огляду на те, що кар'єр є більш глибоководним, ніж лиман, стовп води в ньому характеризується меншою потужністю фотичного шару по відношенню до глибини, ніж у лимані (табл. 2).

Оцінка кисневого режиму лиману і кар'єру показала, що абсолютний вміст розчиненого кисню і, відповідно, насичення води у лимані було значно вищим, ніж у кар'єрі (табл. 3).

Фітопланктон. Перші фрагментарні згадки про планктонні водорості Дніпровсько-Бузького естуарію датуються другою половиною ХІХ ст. (цит. за [4]), а останні опубліковані дані по фітопланктону Кардашинського лиману стосуються 2003—2013 рр. [7]. У той же час, за минулі п'ять років, особливо після перекриття надходження значних кількостей дніпровської води до Північно-Кримського каналу і, відповідно, збільшення надходження прісної води до Дніпровсько-Бузької естуарної системи, екологічна ситуація у лимані змінилась, що зумовило необхідність у подальших дослідженнях. Крім того, у доступній нам літературі не було знайдено інформації щодо різноманіття і структури автотрофної ланки у піщаному кар'єрі.

На сьогодні фітопланктон досліджених водойм характеризується високим таксономічним різноманіттям. В обох підсистемах зареєстровано 89 видів і внутрішньовидових таксонів водоростей (ввт) з шести відділів: Cyanophyta, Euglenophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Bacillariophyta, Chlo-

Таблиця 2

Прозорість води (S , м) і потужність фотичного шару води ($3S$, м) підсистем Кардашинського лиману влітку 2017 р.

Підсистеми	Середня глибина, м	Прозорість води (S), м	Потужність фотичного шару ($3S$), м	Частка фотичного шару в стовпі води, %
Лиман	1,50	0,50	1,50	≈ 100%
Піщаний кар'єр	3,80	0,60	1,80	≈ 50%

gorphyta. У лимані було виявлено більше ввт (71), ніж у піщаному кар'єрі (41). При цьому на станціях спостереження акваторії лиману кількість ввт у пробах становила 28—40, а у кар'єрі — 26—29.

Для більш інформативного порівняння планктонних водоростевих угруповань лиману і кар'єра проведено оцінку їхньої видової подібності за коефіцієнтом Серенсена [23], який дорівнював 0,41. Проведено кластерний аналіз видового складу фітопланктону різних станцій лиману і кар'єра. Побудована дендрограма чітко розділилась на два кластери: фітопланктон лиману і фітопланктон кар'єра (рис. 2). Це вказує на специфіку таксономічного різноманіття порівнюваних підсистем і чинників, що їх визначають.

У лимані біомаса фітопланктону коливалась у межах 20,08—57,40 г/м³ і її основу (від 49 до 93%) формували Cyanophyta (рис. 3). У підсистемі кар'єра біомаса планктонних водоростей була практично на порядок нижчою, ніж у лимані і складала 4,62—8,52 г/м³ (див. рис. 3). На відміну від лиману, у кар'єрі домінували Chlorophyta (24—50 %) і Bacillariophyta (18—25%), а частка Cyanophyta не перевищувала 9—43 %. У цілому, середня біомаса фітопланктону лиману досягала 36,09 г/м³, що характерно для високопродуктивних водойм, і за трофічним статусом він належить до високоєвтрофних екосистем.

Високий рівень трофності лиману підтверджується і літературними даними [6, 7] щодо вмісту біогенних елементів (азоту і фосфору). Так, у літній сезон вміст амонійного азоту становить 0,28—0,45 мг N/дм³, фосфору — 0,032—0,145 мг P/дм³ (табл. 4).

У піщаному кар'єрі біомаса фітопланктону є значно нижчою і у середньому становить 6,57 г/м³. У доступній нам літературі не було знайдено даних щодо вмісту біогенних елементів у кар'єрі, але з огляду на результати досліджень кількісного розвитку фітопланктону можна зробити висновок, що його трофічний статус є нижчим, ніж лиману.

Вищі водні рослини. Дослідження рослин Нижнього Дніпра було розпочато К. К. Зеровим, продовжено В. М. Клоковим, зокрема ним зазначено, що у 80-ті рр. XX ст. відсоток заростання Кардашинського лиману до-

Таблиця 3

Кисневий режим поверхневих горизонтів Кардашинського лиману
влітку 2017 р.

Підсистеми	Станції спостережень	Вміст O ₂ , мг/дм ³	Насичення, %
Лиман	1	15,30	186
	2	15,81	197
	3	15,91	198
Піщаний кар'єр	4	6,80	85
	5	5,65	70
	6	5,70	71

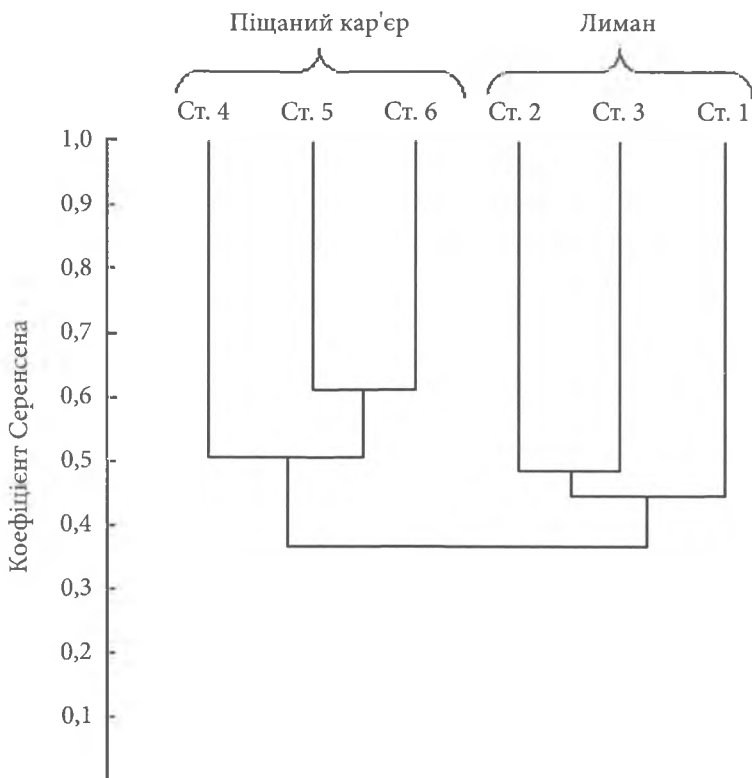


Рис. 2. Дендрограма подібності видового складу водоростевих планктонних угруповань Кардашинського лиману на різних станціях спостереження

сягав 31% [4]. Дослідження в 2003—2013 рр. показали, що за минулі роки характер розвитку ВВР у лимані змінився: зменшились площі, зайняті *Potamogeton perfoliatus* і збільшились — *Nuphar lutea* і *Ceratophyllum demersum* [7].

Натурні дослідження влітку 2017 р. встановили значні відмінності в різноманітті ВВР і характері заростання двох підсистем. Лиман, завдяки мілководності, характеризується високим різноманіттям ВВР. Фітоценози були сформовані такими видами-домінантами: з повітряно-водних рослин — *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Typha angustifolia* L., *Scirpus lacustris* L., *Juncus conglomeratus* L. (*J. leersii* Marss.); з рослин із плаваючим листям — *Hydrocharis morsus-ranae* L., *Nuphar lutea* (L.) Smith, *Nymphaea alba* L.; із занурених рослин — *Myriophyllum spicatum* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Stratiotes aloides* L., *Potamogeton crispus* L., *Vallisneria spiralis* L.

Важливою характеристикою ВВР лиману є чітке формування поясів заростання рослинами різних екологічних груп. Вздовж усієї берегової лінії формується пояс повітряно-водних рослин, далі розміщуються зарості *Nuphar lutea* і *Nymphaea alba*, а замикаючий пояс утворюють занурені рослини.

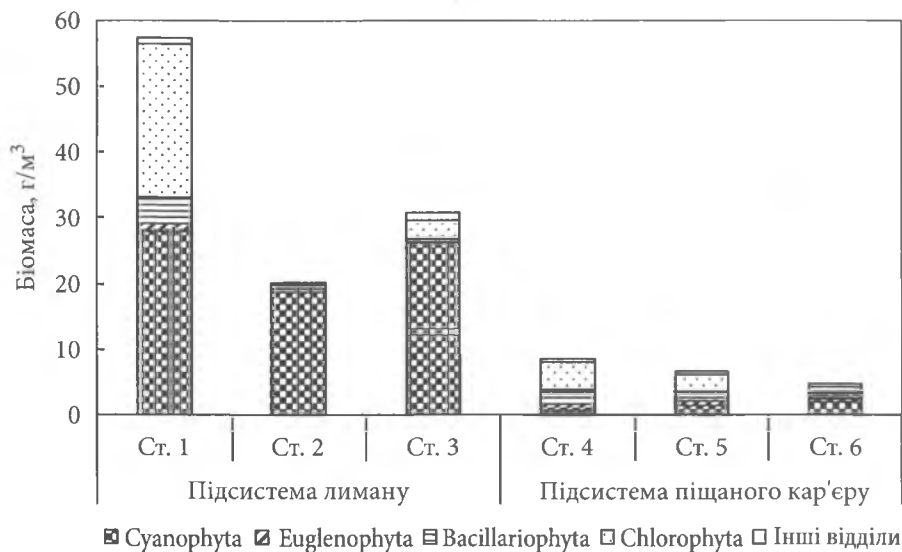


Рис. 3. Просторовий розподіл біомаси фітопланктону Кардашинського лиману

Підсистема кар'єру більш глибоководна, відрізняється різким збільшенням глибин, що відобразилось на характері його заростання, яке формується переважно повітряно-водними рослинами *Phragmites australis* і *Typha angustifolia*. Вони вегетують вздовж берегового урізу з шириною заростей у межах декількох метрів.

Важливо зазначити, що на сьогодні у лимані масово вегетує *Stratiotes aloides*, наявність якого може вказувати на інтенсивні процеси замулення і заболочування [24]. У той же час, у підсистемі кар'єру цей вид виявлено не було, що також підтверджує її піонерний тип. Згідно з отриманими натурними даними розраховано площі заростей і запаси сирової і сухої фітомаси (табл. 5).

Таблиця 4

Гідрохімічний режим Кардашинського лиману в літній сезон [6, 7]

Гідрохімічні показники	Значення
БСК ₅ , мг O/дм ³	8,6 [6]
ПО, мг O/дм ³	11,5 [6]
NH ₄ , мг N/дм ³	0,280—0,450 [7], 0,380 [6]
NO ₂ , мг N/дм ³	0,053 [6]
NO ₃ , мг N/дм ³	0,090 [6]
Si, мг/дм ³	21 [6]
PO ₄ ³⁻ , мг P/дм ³	0,032—0,145 [7], 0,115 [6]

Фітоепіфітон Кардашинського лиману характеризувався високим таксономічним різноманіттям. Було зареєстровано 147 ввт з восьми відділів. Основу різноманіття формували Bacillariophyta (49 %), субдомінантами виступали Chlorophyta (29 %) і Cyanophyta (14 %). Найбільшу кількість ввт було виявлено на занурених рослинах (108), меншу — на повітряно-водних (70) і рослинах з плаваючим листям (87). Таксономічне різноманіття фітоепіфітону кар'єра було значно нижчим і нараховувало всього 52 ввт з семи відділів.

Біомаса фітоепіфітону коливалась у широких межах — від 1,1 до 1676,61 мг/г АСМ або від 0,36 до 41,92 мг/10 см² площі субстрату. Структура біомаси фітоепіфітону підсистеми лиману наведена у табл. 6.

Найменші значення біомаси характерні для фітоепіфітону повітряно-водних рослин, більші — для фітоепіфітону рослин із плаваючим листям, і максимальна кількість водоростей обростань відмічена на занурених рослинах. У кар'єрі біомаса водоростей обростань характеризувалась меншою гетерогенністю і складала 2,96—7,74 мг/г АСМ або 0,99—1,61 мг/10 см² площі поверхні повітряно-водних рослин. У цілому, за рівнем розвитку фітоепіфітону лиман належить до евтрофних водойм, а кар'єр

Таблиця 5

**Характеристика угруповань вищих водних рослин Кардашинського лиману
влітку 2017 р.**

Екологічні групи	Площа заростей, км ²	Проективне покриття, %	Середня сира і суха фітомаса на 1 м ² заростей, кг/м ²	Запаси сирої і сухої фітомаси	
				на всю акваторію, т	на 1 км ² акваторії, т/км ²
Лиман					
Повітряно-водні	0,1	60 %	<u>0,8</u> 0,32	<u>80</u> 32	<u>15</u> 6
З плаваючим листям	0,1	30 %	<u>0,4</u> 0,08	<u>40</u> 8	<u>8</u> 1,6
Занурені	1,5	10 %	<u>0,1</u> 0,01	<u>150</u> 15	<u>28</u> 2,8
Σ	1,7	—	—	<u>270</u> 55	<u>51</u> 10,4
Кар'єр					
Повітряно-водні	0,015	60 %	<u>0,8</u> 0,32	<u>12</u> 4,8	<u>4,6</u> 1,8
Σ	0,015	—	—	<u>12</u> 4,8	<u>4,6</u> 1,8

Примітка. Над рискою — сира фітомаса, під рискою — суха.

Біомаса і структура фітоепіфітону на рослинах різних екологічних груп Кардашинського лиману у літній сезон 2017 р.

Біомаса відділів водоростей, мг/г АСМ	Повітряно-водні рослини	Рослини з плаваючим листям				Занурені рослини		
	<i>Phragmites australis</i>	<i>Typha angustifolia</i>	<i>Nuphar lutea</i>	<i>Nymphaea alba</i>	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	<i>Myriophyllum spicatum</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Potamogeton crispus</i>
Цянофіта	0,020 2	0,056 *	0,887 *	0,042 *	2,070 3	4,422 1	98,30 6	15,810 2
Еугленфіта	0,002 *	0,028 *	—	—	—	0,268 *	—	—
Дінофіта	—	—	—	—	3,279 5	—	—	—
Криптофіта	—	—	—	0,017 *	0,183 *	—	—	—
Хризофіта	—	—	—	0,036 *	—	0,036 *	3,25 *	1,885 *
Бациляріофіта	0,957 87	16,148 95	52,156 94	19,461 93	43,538 72	623,764 94	1325,19 79	544,672 76
Хантофіта	—	0,139 1	—	—	1,396 2	—	—	—
Хлорофіта	0,118 11	0,676 4	2,323 4	1,274 6	10,250 17	32,522 5	249,87 15	158,725 22
Σ (мг/г АСМ)	1,096 100	17,047 100	55,366 100	20,830 100	60,715 100	661,012 100	1676,61 100	721,092 100
Σ (мг/10 см ²)	0,365	3,552	4,101	1,543	4,187	5,508	41,915	14,422

Примітка. Над рискою — біомаса відділу (мг/г АСМ), під рискою — частка загальної біомаси, % * частка відділу менша ніж 1%.

— до слабкоевтрофних, що збігається з результатом оцінки трофічного статусу за фітопланктоном.

Роль структури автотрофної ланки у формуванні потоку енергії. Раніше було оцінено компоненти біотичного балансу за макрозообентосом Кардашинського лиману [1]. У той же час, у доступній нам літературі по лиману і кар'єру не було знайдено матеріалів щодо ролі різних компонентів автотрофної ланки у формуванні потоків енергії, що є першоосною перетворення сонячної енергії в енергію біотичних компонентів водних екосистем.

У результаті узагальнення отриманих натурних даних було оцінено відсоткову участь досліджених компонентів автотрофної ланки лиману і кар'єра у формуванні потоків енергії. Розрахунки виконували, виходячи з середньої біомаси фітопланктону, ВВР, фітоепіфітону, об'єму і площі Кардашинського лиману і піщаного кар'єра (табл. 7).

Необхідно підкреслити, що кількість енергії, акумульованої фітопланктоном, у лимані є в декілька разів більшою, ніж у кар'єрі. Однак відносна частка фітопланктону у формуванні потоків енергії у кар'єрі вище ніж у лимані. Це пояснюється тим, що в кар'єрі дуже бідно представлені інші компоненти автотрофної ланки — ВВР і фітоепіфітон.

Отже, у формуванні потоків енергії автотрофної ланки лиману домінують фітопланктон і ВВР, а у підсистемі кар'єра простежується домінування фітопланктону, при цьому роль ВВР і фітоепіфітону у декілька раз менша.

Обговорення результатів досліджень

Наведені результати дослідження показують, що, незважаючи на гідрологічний взаємозв'язок, лиман і кар'єр суттєво відрізняються за комп-

Таблиця 7

Роль різних компонентів у структурі автотрофної ланки Кардашинського лиману в одиницях сирої біомаси (тонн) і одиницях енергії (ГДж)

Компоненти автотрофної ланки	Підсистема лиману			Підсистема кар'єра		
	тонн сирої маси	ГДж	%	тонн сирої маси	ГДж	%
Фітопланктон	284	950	50	65	217	84
	53	179		25	83	
Вищі водні рослини	270	920	47	12	80	16
	51	174		4,6	30	
Фітоепіфітон	15,79	52,85	3%	0,013	0,04	< 0,01
	2,98	9,97		0,005	0,017	
Σ	569,79	1922,85	100	77,013	297,04	100
	106,98	362,97		29,605	113,017	

Примітка. Над рискою — показники на всю акваторію водойми, під рискою — на 1 км².

лексом екологічних чинників, що впливають на формування різноманіття і структури їхніх автотрофних ланок.

Фітопланктон лиману представлений практично вдвічі більшою кількістю ввт, ніж фітопланктон кар'єра. Значні відмінності показує і порівняння видового складу фітопланктону лиману і кар'єра за коефіцієнтом Серенсена (0,41). Дендрограма, яка ілюструє результати кластерного аналізу (див. рис. 2), чітко розділяється на два кластери: у перший об'єднуються станції спостереження лиману, у другий — станції у кар'єрі. Вважаємо, що встановлені відмінності у складі фітопланктону значною мірою зумовлені дією основних абіотичних чинників: морфологічними і гідрологічними умовами, температурним режимом, освітленістю і потужністю фотичної зони.

Із біотичних чинників — це ступінь заростання акваторії водойм ВВР різних екологічних груп, які в лимані формують чітко виражені пояси, у той час як вздовж берегової лінії кар'єра присутній лише вузький пояс повітряно-водних рослин. Також у видовому складі фітопланктону лиману, крім типово планктонних форм, зустрічаються факультативно-планктонні, перифітонні і бентосні: *Fragilaria tenera* (W. Smith) Lange-Bertalot, *Navicula reinhardtii* (Grunow) Grunow, *Nitzschia closterium* (Ehrenberg) W. Smith, *N. palea* (Kützing) W. Smith, *N. paleacea* (Grunow) Grunow, *Staurisirella berlinensis* (Lemmermann) Bukhtiyarova, *S. leptostauron* (Ehrenberg) Kulikovskiy & Genkal, які можуть переходити у товщу води завдяки гідродинамічним процесам [28]. У кар'єрі ці види не виявлені. Подібну закономірність було встановлено при вивченні фітопланктону мілководних естуарних озер у Південно-Східній Австралії — в озерах, зарослих морськими травами, крім типово планктонних видів, спостерігалась значна частка факультативно-планктонних [14].

Аналогічні дослідження з порівняння видового складу фітопланктону у гідрологічно пов'язаних водоймах проводились також для оз. Ханка (басейн р. Амур) [27]. Встановлено, що у багатоводні роки подібність видового складу фітопланктону у водоймах була значно вищою, ніж у мало-водні.

Згідно з даними Центральної геофізичної обсерваторії України (www.sgo.kiev.ua) упродовж останніх років р. Дніпро характеризувалась низькою водністю, тому припускаємо, що такий гідрологічний режим може посилювати відмінності у видовому складі фітопланктону лиману і кар'єра.

Біомаса планктонних водоростей у лимані (20,08—57,50 г/м³) вища, ніж у кар'єрі (4,62—8,52 г/м³). Вважаємо, що основним чинником, який пояснює такі відмінності, є потужність фотичного шару, який у лимані охоплює практично всю товщу води, а в кар'єрі — лише частину водної товщі.

Порівняння отриманих результатів із ретроспективними даними показує, що у попередні літні сезони максимальні біомаси фітопланктону у лимані досягали 19,16—21,77 г/м³ з домінуванням Cyanophyta, Bacillario-

phyta, Chlorophyta [7]. Особливістю сучасного стану лиману є збільшення біомаси і частки Cyanophyta, що може бути пов'язано з аномально високими температурами в Україні в останні роки [20].

Встановлено значні відмінності в різноманітті угруповань ВВР і характері заростання досліджуваних підсистем, також значною мірою зумовлені гідроморфологічними особливостями водойм.

Фітоепіфітон лиману відрізнявся більш високим таксономічним різноманіттям, кількісним розвитком і просторовою гетерогенністю, ніж у кар'єрі. Це пояснюється тим, що у кар'єрі ВВР характеризуються низьким різноманіттям і належать переважно до однієї екологічної групи — повітряно-водні. У лимані, крім повітряно-водних, присутні також рослини з плаваючим листям і занурені. Слід підкреслити, що зануреним рослинам, таким як *Myriophyllum spicatum*, *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton crispus* властива більша площа поверхні, ніж рослинам інших екологічних груп [10] і, відповідно, на них формуються найоптимальніші умови для розвитку водоростей обростань.

У цілому, завдяки значній потужності фотичної зони, яка охоплює практично всю товщу води, у лимані сформувались більш сприятливі умови для фотосинтезу автотрофних компонентів біоти — фітопланктону, ВВР, фітоепіфітону. Це підтверджується і результатами дослідження кисневого режиму: у лимані він є більш сприятливим, ніж у кар'єрі. Так, вміст кисню у лимані коливався у межах 15,30—15,91 мг O_2 /дм³, насичення води киснем (за температури води до 26,0°C) досягало 186—198%. У той же час вміст кисню у кар'єрі був значно нижчим — 5,65—6,80 мг O_2 /дм³ з насиченням води 70—85%. Цікаво, що як у лимані, так і у кар'єрі максимальний вміст кисню був зареєстрований на станціях, найближчих до джерела водообміну: у лимані це ст. 3, найближча до ерика Чайка, через який відбувається основне заповнення лиману водою [7]. У кар'єрі найбільша концентрація кисню спостерігалась на ст. 4, найближчій до протоки, яка з'єднує кар'єр із лиманом і русловою мережею Нижнього Дніпра.

Порівняльний аналіз ролі компонентів автотрофної ланки у потоці енергії досліджуваних водойм показав, що у лимані в його формуванні домінують фітопланктон і ВВР, а у кар'єрі повністю домінує фітопланктон, роль вищих водних рослин і фітоепіфітону у декілька раз менша.

Виходячи з вищенаведеної концепції «альтернативних стабільних станів», можна зробити висновок, що Кардашинський лиман можна розглядати як модель «режиму прозорості води». Так, у підсистемі лиману фотична зона охоплює всю водну товщу і тому спостерігається інтенсивний розвиток як фітопланктону, так і ВВР.

Підсистема кар'єра є значно «молодшою», ніж підсистема лиману. Днопоглиблювальні роботи було завершено декілька років тому і, відповідно, з їхнім закінченням почався розвиток ВВР вздовж берегового урізу. Відомо [2], що у водоймах озерного типу зі встановленими нами біомасами фітопланктону, до 30% планктонних водоростей опускається

на дно, що поступово змінює структуру і характер донних відкладів, представлених після завершення гідротехнічних робіт чистим піском. На сьогодні у структурі автотрофної ланки кар'єру домінує фітопланктон. Однак не виключено, що в майбутньому, по мірі старіння і обміління кар'єра і, відповідно, його заростання, частка ВВР і фітоепіфітону у формуванні потоків енергії може підвищуватись.

Висновки

Вважаємо, що Кардашинський лиман і колишній піщаний кар'єр можуть слугувати модельними водними об'єктами для прогнозування відгуку автотрофних компонентів біоти естуарних річкових екосистем на антропогенний вплив.

Так, гідротехнічні роботи у вже існуючих водоймах зі зміною профілю дна призведуть до зменшення мілководних зон і можуть зумовити зниження частки потужності фотичного шару у стовпі води. Аналогічні процеси можуть відбуватись і у глибоководних кар'єрах, викопаних на ділянках суші, які також характеризуватимуться меншим багатством ВВР і фітоепіфітону і домінуванням фітопланктону.

Таким чином, для мінімізації ризику зниження стійкості унікальної Дніпровсько-Бузької екосистеми необхідний регулярний моніторинг автотрофних компонентів біоти і виключення загроз, пов'язаних із можливими гідротехнічними роботами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексенко Т.Л., Коржов Є.І., Шевченко І.В. Структура угруповань і біопродуктивність макрозообентосу Кардашинського лиману. *Природ. альманах. Сер. Біол. науки*. 2018. Вип. 25. С. 4—9.
2. Басс Я.И., Щербак В.И. Поступление органического вещества и биогенных элементов фитопланктона в донные отложения. Тез. докл. I Байкальской международн. конф., Иркутск, 1988. С. 59—60.
3. Горкавий В.К., Ярова В.В. Математична статистика. К.: Професіонал, 2004. 384 с.
4. Жукинский В.Н., Журавлева Л.А., Иванов А.И. и др. Днепровско-Бугская эстуарная экосистема. Киев: Наук. думка, 1989. 236 с.
5. Коржов Є.І. Оцінка екологічно-значущих елементів динаміки водних мас штучної водойми (Кардашинський кар'єр). Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем: Зб. матеріалів III наук.-практ. конф. для молодих вчених (Київ, 6—7 жовт. 2016 р., м. Київ). К., 2016. С. 26—28.
6. Коржов Є.І., Кучерява А.М. Особливості впливу зовнішнього водообміну на гідрохімічний режим заплавних водойм пониззя Дніпра. *Гидробиол. журн.* 2018. Т. 54, № 4. С. 112—120.
7. Овечко С.В., Алексенко Т.Л., Коржов Є.І. та ін. Екологічний стан урбанізованих заплавних водойм. Кардашинський лиман. Херсон, 2015. 72 с.
8. Тимченко В.М., Коржов Е.И., Гуляева О.А., Батог С.В. Динамика экологически значимых элементов гидрологического режима низовья Днепра. *Гидробиол. журн.* 2015. Т. 51, № 4. С. 81—90.
9. Щербак В.І. Фітопланктон. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод; за ред. В. Д. Романенка. К.: ЛОГОС, 2006. С. 9—28.

10. Feldmann T., Nöges P. Seasonal and vertical changes in the surface area/biomass ratio of *Potamogeton lucens* L. in a clear and a turbid shallow lake. *J. Aquatic Plant Management*. 2009. Vol. 47. P. 116—121.
11. Hansson L.-A. Factors regulating periphytic algal biomass. *Limnol. Oceanogr.* 1992. 37 (2): 322—328.
12. Havens K.E., Hauxwell J., Tyler A.C. et al. Complex interaction between autotrophs in shallow marine and freshwater ecosystems: implications for community responses to nutrient stress. *Environ. Pollution*. 2001. Vol. 11. P. 95—107.
13. Hilt S. Regime shifts between macrophytes and phytoplankton — concepts beyond shallow lakes, unravelling stabilizing mechanisms and practical consequences. *Limnetica*. 2015. Vol. 34, N 2. P. 467—480.
14. Liu D., Morrison R.J., West R.J. Phytoplankton assemblages as an indicator of water quality in seven temperate estuarine lakes in South-East Australia. *Eutrophication: Causes, Consequences and Control* / Ed. by A.A. Ansari, S.S. Gill. Dordrecht: Springer Science + Business Media, 2014 P. 191—202.
15. Meire P., Ysebaert T., Van Damme S. et al. The Scheldt estuary: a description of a changing ecosystem. *Hydrobiologia*. 2005. Vol. 540. P. 1—11.
16. Paturej E. Estuaries of the Polish Baltic coastal zone. *Baltic Coastal Zone*. 2006. Vol. 10. P. 83—96.
17. Scheffer M., Hosper S.H., Meijer M.-L. et al. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends Ecol. Evol.* 1993. Vol. 8. P. 275—279.
18. Scheffer M., Carpenter S.R. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Ibid.* 2003. Vol. 18, N 12. P. 648—656.
19. Semenyuk N.Ye., Shcherbak V.I. Structural and functional organization of phytoplankton of the Dnieper Reservoirs and factors influencing its development. Report 1. Role of some hydrophysical factors. *Hydrobiol. J.* 2016. Vol. 52, N 5. P. 3—17.
20. Shcherbak V.I. Response of phytoplankton of the Kiev Reservoir to the increase in summer temperatures. *Ibid.* 2019. Vol. 55, N 1. P. 18—35.
21. Shcherbak V.I., Bezkaravainaya V.D., Goshovskaya G.A., Maistrova N.V. Effect of hydrotechnical works on the development of algae in Dnepr reservoir. *Hydrotechn. Constr.* 1991. Vol. 25, N 3. P. 166—171.
22. Shcherbak V.I., Zadorozhnaya A.M. Seasonal Dynamics of Phytoplankton of the Kiev Section of the Kanev Reservoir. *Hydrobiol. J.* 2013. Vol. 49, N 4. P. 26—36.
23. Sørensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation of Danish commons, Kongelige Danske Videnskabernes, Selskab. *Biol. Krifter*. 1948. Vol. 5, N 4. P. 1—46.
24. Strzalek M., Koperski P. The *Stratiotes aloides* L. stand as a habitat in oxbow lake Bużysko. *Aquatic Bot.* 2009. Vol. 90. P. 1—6.
25. Vadeboncoeur Y., Peterson G., Jake Vander Zanden M., Kalff J. Benthic algal production across lake size gradients: interactions among morphometry, nutrients and light. *Ecology*. 2008. Vol. 89, N 9. P. 2542—2552.
26. Van Nes E.H., Rip W.J., Scheffer M. A theory for cyclic shifts between alternative states in shallow lakes. *Ecosystems*. 2007. Vol. 10. P. 17—27.
27. Yuan Y., Jiang M., Liu X. et al. Environmental variables influencing phytoplankton communities in hydrologically connected aquatic habitats in the Lake Xingkai basin. *Ecological Indicators*. 2018. Vol. 91. P. 1—12.
28. Zadorozhna H., Semeniuk N., Shcherbak V. Interaction between phytoplankton and epiphytic algae in the Kaniv Water Reservoir (Ukraine). *Intern. Let. Nat. Sci.* 2017. Vol. 61. P. 56—68.

Надійшла 29.11.19

N.Ye. Semenyuk, PhD (Biol.), Senior Researcher
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Staligrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: natasemenyuk@gmail.com
ORCID 0000-0003-4447-3507

V.I. Shcherbak, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Leading Researcher
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Staligrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine
ORCID 0000-0002-1237-6465

I.M. Sherman, Dr. Sci. (Agriculture), Prof., Prof.
Kherson State Agrarian University
23 Stritenska St., Kherson, 73006, Ukraine
e-mail: sherman_i.m@ukr.net

P.S. Kutishchev, PhD (Biol.), Associate Prof., Head of Chair
Kherson State Agrarian University
23 Stritenska St., Kherson, 73006, Ukraine
e-mail: kutishev_p@ukr.net
ORCID 0000-0002-8875-3909

DIVERSITY AND STRUCTURE OF THE AUTOTROPHIC LINK IN THE
KARDASHYNSKYI LIMAN LAKE AND THE SAND QUARRY WITHIN THE
DNIEPER — BUG ESTUARY SYSTEM

The paper deals with the patterns of autotrophic link diversity and structure (phytoplankton, higher aquatic plants, epiphytic algae) in Kardashynskiy Liman Lake and artificial sand quarry of the Dnieper-Bug Estuary and energy flows distribution in them. The natural system (lake) and the artificial one (sand quarry) differ significantly by environmental variables, such as morphological and hydrochemical parameters, temperature and light conditions, which makes effect upon the autotrophic link in each of them. Algal communities and higher aquatic plants are marked by higher diversity in the lake than in the sand quarry. The energy flow of the lake's autotrophic link is dominated by phytoplankton and higher aquatic plants, while dominance of phytoplankton is observed in the sand quarry.

Keywords: *Dnieper-Bug Estuary system, natural estuary, artificial sand quarry, energy flows, phytoplankton, higher aquatic plants, phytoepiphyton.*