

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГІДРОБІОЛОГІЇ**

КОЗІЙЧУК
Еліна Шаруханівна



УДК 581.526.323(282.243.7.05)

ФІТОМІКРОБЕНТОС КІЛІЙСЬКОЇ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

03.00.17 – гідробіологія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті гідробіології НАН України, м. Київ

Науковий керівник: доктор біологічних наук, професор,
ЩЕРБАК Володимир Іванович,
провідний науковий співробітник
Інституту гідробіології НАН України,
Лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук
ВИНОГРАДОВА Оксана Миколаївна,
Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного НАН
України, старший науковий співробітник,
заступник директора з наукової роботи,
провідний науковий співробітник відділу
фікології, ліхенології та бріології

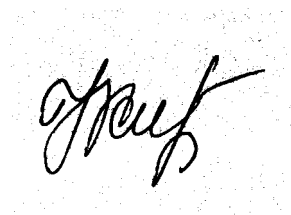
кандидат біологічних наук, доцент,
ХАМАР Ігор Степанович,
Львівський національний університет
імені Івана Франка,
декан біологічного факультету

Захист дисертації відбудеться «09» квітня 2020 року о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.213.01 в Інституті гідробіології НАН України за адресою: 04210, м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 12.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту гідробіології НАН України (04210, м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 12).

Автореферат розісланий «__» березня 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор біологічних наук



Н. І. Кірпенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Кілійська дельта Дунаю являє собою комплекс різнотипних водойм та водотоків (рукавів, заток, озер) з різноманітними гідрологічними, фізико-хімічними і гідробіологічними характеристиками, які і на сьогодні продовжують формуватися (Гидрология..., 2004). Невід’ємною складовою автотрофної ланки водних екосистем є донна альгофлора – фітомікробентос та його первинна продукція, що визначається компонентним складом водоростей та низкою чинників, серед яких найбільш важливими є солоність води, тип донних відкладень та швидкість течії води.

Вивчення бентосних водоростей Кілійської дельти Дунаю започатковано у 1948 р. та продовжено в 1958–1959 рр. (Владимирова, 1961). В подальшому дослідження донної альгофлори носили фрагментарний характер (Karpezo, Davydov, 1989; Зависимость количественных..., 1990; Карпезо, 1991; 2009; Іванов, Карпезо, 1999; Карпезо, Давыдов, 1997; 2005; Оксикук и др. 2009). В 2006–2007 рр. і 2011 р. в рамках міжнародних експедицій проведені гідробіологічні дослідження транскордонних ділянок нижнього Дунаю та визначено видовий склад фітомікробентосу (Hydrobiocenoses..., 2018). Водночас низка аспектів не знайшли свого відображення в попередніх дослідженнях. Не в повній мірі вивчено таксономічне (на рівні класів, порядків, родів) і екологічне різноманіття фітомікробентосу, його якісні й кількісні показники та вплив на них солоності води, типу донних відкладень, швидкості течії води, також не досліджено первинну продукцію фітомікробентосу, що обумовлює актуальність даної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась в Інституті гідробіології НАН України у рамках наступних тем:

- державної науково-дослідної теми «Екологічні сукцесії гідробіоценозів дельти Дунаю» (ДР №0111U001016);

- науково-конкурсної тематики «Вивчення стану екосистем та якості вод дельтових ділянок річок, естуаріїв, лиманів та інших водних об'єктів Азово-Чорноморського регіону і розробка практичних рекомендацій щодо використання їх біоресурсного та рекреаційного потенціалу» (ДР №0112U004335); «Моніторинг біорізноманіття гідробіонтів дельтових ділянок річок, естуаріїв та лиманів як основа системного використання біологічних ресурсів перехідних вод Азово-Чорноморського басейну» (ДР №0113U002795); «Моніторинг гідробіологічних ресурсів, створення та розвиток системи оцінки екологічного стану водних об'єктів перехідних вод Азово-Чорноморського басейну з використанням підходів Водної Рамкової Директиви ЄС» (ДР №0114U006195); «Моніторинг біорізноманіття гідробіонтів ділянок річок, естуаріїв, лиманів як основа системного використання біологічних ресурсів перехідних вод Азово-Чорноморського басейну» (ДР №0115U004098);

- господарсько-договірної теми «Гідробіологічний моніторинг прісноводних екосистем при відновленні та експлуатації суднового ходу Дунай-Чорне море» (ДР №0110U000830); «Гідробіологічний моніторинг

прісноводних екосистем при відновленні та експлуатації суднового ходу Дунай-Чорне море» (ДР №0112U005135).

Мета і завдання дослідження. *Мета роботи* – встановити закономірності формування таксономічного складу, чисельності, біомаси, первинної продукції фітомікробентосу різнотипних водних об'єктів Кілійської дельти Дунаю та оцінити вплив основних абіотичних чинників.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі *завдання*:

1. Визначити таксономічний склад і екологічне різноманіття фітомікробентосу річкових рукавів, прісноводних та солонуватоводних заток;
2. Дослідити кількісні показники (чисельність, біомасу) і їх структурну організацію;
3. Визначити просторовий розподіл та сезонну динаміку видового складу, чисельності та біомаси фітомікробентосу;
4. Оцінити вплив абіотичних чинників на розвиток фітомікробентосу у водоймах і водотоках Кілійської дельти Дунаю;
5. Встановити продукційні характеристики донних водоростей водойм та водотоків дельти Дунаю.

Об'єкт дослідження – закономірності формування структури і функціонування фітомікробентосу Кілійської дельти Дунаю.

Предмет дослідження – таксономічний склад, чисельність, біомаса, первинна продукція донних мікроводоростей різнотипних водойм і водотоків Кілійської дельти Дунаю, оцінка впливу абіотичних чинників.

Методи дослідження. Використані загальноприйняті у гідробіологічних дослідженнях методи вивчення донних водоростей. Продукційні показники фітомікробентосу отримані експериментально-розрахунковим методом. При виконанні роботи оперували аналітичними, графічними, статистичними методами.

Наукова новизна одержаних результатів. Встановлено основні закономірності формування якісних і кількісних характеристик фітомікробентосу в різнотипних водних об'єктах Кілійської дельти Дунаю: річкових рукавах, прісноводних та солонуватоводних затоках. Проведено оцінку впливу абіотичних чинників (солоність води, тип донних відкладень, швидкість течії води) на сезонну та просторову динаміку розвитку фітомікробентосу. Встановлено, що відгуком бентосних мікроводоростей на зміну екологічних умов є переформатування їх структурно-функціональної організації через збільшення або зменшення показників видового різноманіття, чисельності, біомаси, перебудову структури домінуючого комплексу. Вперше встановлено особливості розподілу в просторі і часі первинної продукції фітомікробентосу водойм та водотоків Кілійської дельти Дунаю. Визначено, що первинна продукція фітомікробентосу визначається його компонентним складом, біомасою, тривалістю вегетаційного періоду, низкою гідрохімічних та гідрологічних чинників.

Практичне значення одержаних результатів. За отриманими результатами створено базу даних у вигляді електронних таблиць Microsoft

Excel, що включають видовий склад та кількісні характеристики угруповань бентосних мікрководоростей різнотипних водойм та водотоків дельти Дунаю.

Отримані дані можуть бути застосовані при моніторингових дослідженнях екологічного стану водних екосистем Кілійської дельти Дунаю, прогнозуванні можливих змін для розробки програм з охорони і збереження довкілля.

Особистий внесок здобувача. Дисертанткою реалізовано відбір та камеральне опрацювання проб фітомікробентосу, виконано статистичну обробку отриманих даних. Спільно з науковим керівником визначена мета, основні завдання роботи, здійснено аналіз результатів, сформульовані висновки. Персонально або у співавторстві видано наукові праці, де висвітлені основні результати проведених досліджень.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи були оприлюднені на V, VII та VIII з'їздах Гідроекологічного товариства України (Житомир, 2010; Київ, 2015, 2019); представлені на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Екологія міст та рекреаційних зон» (Одеса, 2010, 2011); Міжнародному екологічному форумі «Чистый город. Чистая река. Чистая планета» (Херсон, 2011); III Міжнародній науковій конференції «Современные проблемы гидроэкологии. Перспективы, пути и методы решений» (Херсон, 2012); X науково-практичній конференції, прив'язаній 90-річчю Дніпропетровського державного аграрного університету «Вода: проблемы и решения» (Дніпропетровськ, 2012); науково-практичній конференції, присвяченій 95-річчю заснування Національної академії наук України «Актуальні проблеми сучасної гідроекології» (Київ, 2013); III Міжнародному науково-практичному столі «Екологія водно-болотних угідь і торфовищ» (Київ, 2014); Другому міжнародному водному форумі «Інтегроване управління водними ресурсами: дослідження, інновації, освіта» (Київ, 2014).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи відображено у 19 наукових публікаціях, у тому числі – 7 опубліковані в періодичних виданнях, які входять до переліку фахових.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 8 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Роботу викладено на 151 сторінці тексту, що містить 10 таблиць, 78 рисунків. Список використаних літературних джерел налічує 238 найменувань, з яких 43 – англійськомовні. Загальний обсяг рукопису становить 186 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ ОГЛЯД ВИВЧЕННЯ ФІТОМІКРОБЕНТОСУ КІЛІЙСЬКОЇ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

Проведено ретроспективний аналіз літературних даних щодо вивченості фітомікробентосу різнотипних водойм та водотоків Кілійської дельти Дунаю (КДД). Показано, що дослідження фітомікробентосу започатковано К.С. Владимировою у 1948 р. і продовжено у 1958–1959 рр. (Владимирова, 1961). Надалі бентосним водоростям не приділялось належної уваги, тому актуальними проблемами сьогодення є встановлення закономірностей, що

визначають таксономічний склад, чисельність, біомасу, первинну продукцію фітомікробентосу різнотипних водних об'єктів КДД та оцінка впливу на їх формування основних абіотичних чинників (солоність води, тип донних відкладень, швидкість течії води).

ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА, ГІДРОЛОГІЧНА І ГІДРОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Згідно літературних джерел (Біорізноманітність..., 1999; Гидрология дельты..., 2004; Гидрология устьевой области..., 1963; Гидроэкология украинского участка..., 1993; Морские устья рек..., 2008) наведено інформацію про розташування та характерні відмінності різнотипних водних об'єктів КДД.

Водойми відкриті або морфологічно ізольовані від моря відзначаються різним ступенем солоності води та різноманітністю донних субстратів, водотоки – різною швидкістю течії. Особливістю дельти є постійний ландшафтно-утворювальний процес внаслідок взаємодії Дунаю та Чорного моря, що супроводжується появою нових водних екосистем та обумовлює складність будови дельти.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження фітомікробентосу проводили впродовж вегетаційних сезонів (весна, літо, осінь) 2010–2013, 2015, 2017 рр. на таких водних об'єктах КДД: водотоки (рукави дельти Восточний, Бистрий, Очаківський, Білгородський, рукав-стариця Отножний); прісноводні (олігогалінні) затоки Потапів Кут та Бистрий Кут, внутрішньodelьтове озеро Ананькін Кут; відкриті до моря солонуватоводні затоки Солоний Кут, Бадика Кут, Шабос Кут (Koziyshuk, Shcherbak, 2017). Опис гідробіологічних станцій спостережень: фізичних та гідрологічних параметрів водного середовища наведені згідно публікацій (Шуйский, 2003, 2006, 2007; Комплексная характеристика..., 2011; Сравнительная характеристика..., 2013; Ляшенко, Зорина-Сахарова, 2012, 2014).

Відбір проб фітомікробентосу та їх опрацювання проводили із застосуванням загальноприйнятих у гідробіологічних дослідженнях методів (Топачевський, Масюк, 1984; Щербак, 2002; Методи..., 2006). Збір альгологічного матеріалу здійснювали трубкою Владимирової (площею 20 см²) (Владимирова, 1978). У водоймах проби відбирали по трансектам: на вході, середині та виході із затоки (для солонуватоводних – на виході до моря), у водотоках – на ділянках витoku та гирлі.

Водорості ідентифікували за допомогою мікроскопів Nikon Eclipse E200, Axio Imager A1 (Carl Zeiss) з використанням окулярів К 7×, 10×, 15× та об'єктивів ×20, ×40, ×90. Підрахунок чисельності виконували у камері Нахотта об'ємом 0,02 см³ (Топачевський, Масюк, 1984). Біомасу водоростей встановлювали стандартним розрахунково-об'ємним методом, об'єми клітин визначали методом геометричної подібності (Сеничкина, 1995; Топачевський, Масюк, 1984).

До числа домінантів відносили види, біомаса або чисельність яких перевищувала чи була рівною 10% сумарної величини (Щербак, 2002).

Характеристику вагомості окремих видів в альгоугрупованні встановлювали за частотою трапляння (Девяткин, Митропольская, 2002). Назви таксонів наводили згідно (Разнообразие..., 2000; Царенко, Петлеванный, 2001).

Для оцінки подібності видового складу застосовували коефіцієнт видової подібності (K_s) (Sorensen, 1948). Для інтегральної оцінки різноманіття фітомікробентосу використовували індекс Шеннона (Одум, 1986).

Екологічне різноманіття фітомікробентосу КДД визначали згідно літературних джерел (Корнева, 2000; Барінова, Белоус, Царенко, 2019). Залежність якісних та кількісних характеристик бентосних водоростей від характеру ґрунту проводили згідно (Романенко, 2001). За гідрологічними характеристиками виділяли водотоки з різною швидкістю течії (Методи..., 2006). Солоність води у місцях відбору альгологічних проб вимірювали за допомогою кондуктометра «HANNA HI 9835»¹.

Продукційні показники фітомікробентосу отримані експериментально-розрахунковим методом. Визначено натурну біомасу фітомікробентосу та використано питому продукцію (Р/В-коефіцієнти) домінуючих видів – типових представників альгофлори європейських континентальних водойм, отриманих методом авторадіографії (Щербак, 1993, 1998).

Ресурсом метеорологічної та гідрохімічної інформації за 2010–2013, 2015, 2017 роки слугували дані Дунайської гідрометеорологічної обсерваторії (Научно-технический отчет, 2010–2013, 2015, 2017 pp.) та архіву Центральної геофізичної обсерваторії (Державний водний кадастр, 2010–2013, 2015 pp.).

Результати досліджень статистично опрацьовували з використанням стандартного пакету комп'ютерних програм Microsoft Office Excel 2007, BioDiversityPro, PAST.

ТАКСОНОМІЧНИЙ СКЛАД, ФЛОРИСТИЧНИЙ СПЕКТР І ЕКОЛОГІЧНЕ РІЗНОМАНІТТЯ ФІТОМІКРОБЕНТОСУ КІЛІЙСЬКОЇ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

У фітомікробентосі водойм та водотоків КДД виявлено 353 види, представлені 389 внутрішньовидовими таксонами з номенклатурним типом виду включно (в. в. т.), що належать до 8 відділів, 13 класів, 30 порядків, 110 родів. Домінуючими визначено Bacillariophyta – 200 видів (233 в. в. т.) – 60% від загальної кількості видів, Chlorophyta складала 19%, Cyanophyta – 9%, Euglenophyta – 7%. Cryptophyta, Chrysophyta, Dinophyta та Xanthophyta представлені поодинокими видами і не перевищували 1–2%.

Ядро альгофлори водних об'єктів КДД формували 8 таксономічно значимих порядків, видове різноманіття яких в суммі складало 72% (Naviculales – 71 в. в. т. (18%), Chlorococcales – 47 (12%), Bacillariales – 40 (10%), Cymbellales – 35 (9%), Eugleales – 29 (7%), Oscillatoriales 21 – (6%), Surirellales – 21 (6%), Fragilariales – 16 (4%).

¹ Висловлюємо глибоку вдячність к. б. н., с. н. с. відділу іхтіології та екології річкових систем К.С. Зоріній-Сахаровій за люб'язне надання даних щодо значень солоності води, та можливість використовувати ці матеріали для написання роботи.

В прісноводних водоймах визначено 233 види (264 в. в. т.), які належать до 8 відділів, 13 класів, 27 порядків та 85 родів. Найбільшим видовим багатством характеризувались Bacillariophyta – 150 видів (175 в. в. т., 66%) та Chlorophyta – 41 вид (43 в. в. т.; 16%), Cyanophyta – 21 в. в. т. (8%) та Euglenophyta – 15 в. в. т. (6%). Більшість таксонів належить до Bacillariophyceae з перевагою 4 таксономічно значимих порядків, видове багатство яких у сумі складає 52%: Naviculales – 50 в.в.т. (19%), Bacillariales – 32 (12%), Chlorococcales – 29 (11%) та Cymbellales – 28 (10%). Домінували *Nitzschia* Hassall – 25 в. в. т, *Navicula* Bory – 22, *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont – 12, *Surirella* Turpin – 11, *Gomphonema* Ehrenberg – 10, *Cymbella* Agardh – 9.

При порівняльному аналізі видового складу фітомікробентосу за коефіцієнтом Серенсена встановлено, що затоки Бистрий та Потапів Кути мають високі риси подібності ($K_s=0,58$).

В солонуватоводних водоймах КДД виявлено 224 види водоростей, представлених 239 в. в. т., що належать до 8 відділів, 13 класів, 27 порядків та 91 роду. Найбільшим видовим багатством характеризувались Bacillariophyta – 128 видів (141 в. в. т., 59%) та Chlorophyta – 45 видів (47 в. в. т., 20%). Cyanophyta були представлені 21 в. в. т. (9%), водорості решти відділів нараховували від 1 до 14 таксонів (1–5% відповідно).

Провідну роль мали порядки, видове багатство яких у сумі складало 48% від загального: Naviculales – 53 в. в. т. (22%), Chlorococcales – 32 (14%), Bacillariales – 28 (12%). Домінантами виступали *Navicula* (24 в. в. т.), *Nitzschia* (17), *Tryblionella* W.Smith (9), *Oscillatoria* (9).

Порівняльний аналіз фітомікробентосу за коефіцієнтом Серенсена показав, що затоки Шабош і Солоний Кути досить схожі ($K_s=0,60$), що вказує на близькість їх екологічних умов. В окремий кластер виділено фітомікробентос затоки Бадика кут, що вказує на особливості вегетації водоростей цієї водойми. В данній затоці відбувається зміна морфологічного профілю за рахунок утворення нових молодих відрогів, які характеризуються наявністю різноманітних біотопів.

У водотоках КДД знайдено 153 види, представлені 173 в. в. т., із 8 відділів, 13 класів, 24 порядків та 65 родів. Найбільшим видовим багатством характеризувались Bacillariophyta – 106 видів (125 в. в. т., 72%), Chlorophyta нараховували 24 в. в. т. (13%), Cyanophyta – 14 в. в. т. (8%). Провідна роль належала класу Bacillariophyceae – 104 в. в. т. (60%), меншою кількістю видів характеризувались Chlorophyceae – 21 (12%), Hormogoniophyceae – 12 (7%), Coscinodiscophyceae – 11 (6%), Fragilariophyceae – 10 (5%).

Провідна роль у формуванні флористичного складу фітомікробентосу належала 4 порядкам, видове багатство яких у сумі складало 56%: Naviculales – 32 в. в. т. (18%), Bacillariales – 26 (15%), Cymbellales – 22 (13%). Chlorococcales – 18 (10%). Перевагу становили роди *Nitzschia* – 18 в. в. т., *Navicula* – 15, *Oscillatoria* – 8. Значною видовою насиченістю (від 4 до 7 в. в. т.) виділялись роди *Cymbella*, *Gomphonema*, *Surirella*, *Pinnularia* Ehrenberg, *Diatoma* Bory emend. Heiberg, *Desmodesmus* (Chodat) S.S.An, T.Friedl et E.Hegewald.

Порівняльний аналіз водотоків КДД за коефіцієнтом Серенсена дозволив встановити ділянки зі схожими екологічними умовами та показав, що найбільш подібними являються донні угруповання водоростей рукавів Бистрий, Восточний та Очаківський ($K_s=0,59$ та $K_s=0,56$, відповідно), що визначається значною швидкістю течії.

В прісноводних затоках, на відміну від солонуватоводних та водотоків, зростала частка крупноклітинних (Bacillariales, Surirellales, Thalassiosirales), а також Chlorophyta (Desmidiales) та Cyanophyta (Oscillatoriales). В солонуватоводних затоках найбільш різноманітно представлені Naviculales, Chlorococcales, Chroococcales та Cryptomonadales. В рукавах спостерігалась мінімальна кількість еугленових водоростей (Euglenales). На рівні родів в солонуватоводних затоках збільшувався розвиток *Navicula*, *Tryblionella*, *Gyrosigma* Hassall, *Cryptomonas* Ehrenberg; в прісноводних затоках та рукавах – *Gomphonema*, *Cymbella*. Найбільший розвиток донних водоростей з родів *Nitzschia*, *Surirella*, *Cymatopleura* W.Smith, *Synedra* Ehrenberg, *Trachelomonas* Ehrenberg, *Oscillatoria* спостерігався в прісноводних затоках.

Значна частина фітомікробентосу (близько 80% видового багатства) представлені видами, які мають низьку частоту трапляння. Така екологічна різнохарактерність бентосних водоростей свідчить про зростання їх різноманіття, також є специфічною ознакою їх приналежності до різних типів водойм.

Для з'ясування особливостей екологічного різноманіття фітомікробентосу різнотипних водних об'єктів КДД проведено аналіз, який виявив 365 (або 94% від загальної кількості видів) таксонів, які є індикаторами певних екологічних умов, відносно біотопічної приуроченості (90%), температурного режиму (18%), реофільності (44%), галобності (76%), рН середовища (58%), географічного розповсюдження (85%) та сапробності (75%). Разом з тим, фітомікробентос водойм і водотоків КДД є багатокомпонентним екологічним угрупованням, яке включає бентосні (41%), планктонні (16), планктонно-бентосні (31) і перифітонні форми (12).

Встановлені широкі межі коливання індексу Шеннона за чисельністю і біомасою фітомікробентосу для солонуватоводних заток: 2,81–3,95 біт/екз., 1,33–3,89 біт/г; для прісноводних заток: 1,50–4,80 біт/екз., 2,20–4,60 біт/г; для рукавів: 0,47–4,10 біт/екз., 0,84–4,44 біт/г відповідно. Це свідчить про перехід від монодомінантної структури донних водоростей до полідомінантної і навпаки, що визначається низкою абіотичних чинників.

Сапробіологічний аналіз якості води за індикаторними організмами фітомікробентосу показав, що серед знайдених форм переважна більшість належала до бета-мезосапробів та ксено-олігосапробів, зустрічались також альфа-мезосапроби. В той же час, в 40-х–50-х роках минулого століття (Владимирова, 1961) в рукавах представники α -мезосапробів були відсутні. Отже, сучасна сапробіологічна ситуація річки зазнала змін в бік підвищення рівня сапробності внаслідок антропогенного впливу на річкову екосистему.

ДИНАМІКА КІЛЬКІСНОГО РОЗВИТКУ ФІТОМІКРОБЕНТОСУ ПРІСНОВОДНИХ ЗАТОК

Затока Бистрий Кут. У новоутвореній, відкритій водоймі за чисельністю, яка змінювалась від 2616 до 20853 тис. кл/10см², домінували Cyanophyta та Bacillariophyta. Біомасу з межами коливань від 1,94 до 16,35 мг/10см², визначали Cyanophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta та Dinophyta.

Максимальні кількісні показники розвитку донних водоростей реєструвались в багатоводному 2010 р. з домінуванням *Melosira* C.Agardh, *Stephanodiscus* Ehrenberg, *Surirella*, *Oscillatoria*; мінімальні – в маловодних 2012–2013 рр. з домінуванням *Cyclotella kuetzingiana* Thwaites, *Stephanodiscus hantzschii* Grunow. in Cl. et Grunow, *Oscillatoria amphibia* C.Agardh ex Gomont. Збільшення кількісних показників розвитку фітомікробентосу в багатоводні роки відбувалось за рахунок привнесення аллохтонних водоростей із вище розташованих ділянок рукава Бистрий.

Аналіз сезонної динаміки кількісного розвитку фітомікробентосу дозволив виявити літній максимум з подальшим зниженням кількісних показників водоростей восени.

В залежності від типу ґрунту, середні значення чисельності фітомікробентосу коливались від 6158±996 (сірий мул) до 9334±1142 тис. кл/10см² (замулений пісок) та біомаси – від 7,41±1,99 (замулений пісок) до 9,89±2,43 мг/10см² (сірий мул) (рис. 1).

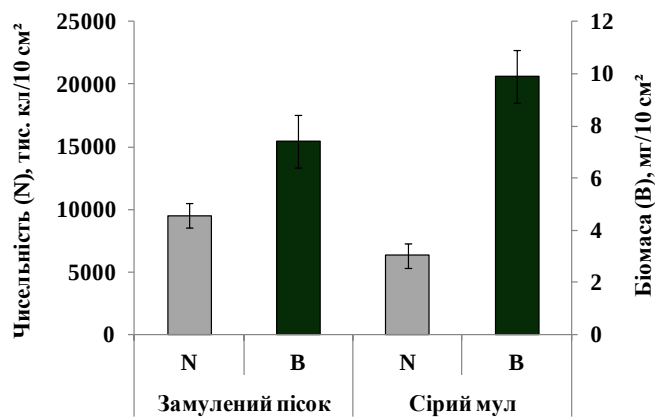


Рис. 1. Чисельність і біомаса фітомікробентосу затоки Бистрий Кут на різних типах ґрунту

Затока Потапів Кут. Водойма частково ізольована від моря та рукавів, має відкладення чорних, детритних мулів. Чисельність фітомікробентосу визначали роди *Oscillatoria*, *Cyclotella* Kütz., *Diatoma*, *Fragilaria* Lingb., *Navicula*), вона коливалась в межах 5225–15324 тис. кл/10см². За біомасою домінували роди *Diatoma*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Gyrosigma*, *Navicula*, *Pinnularia*, *Cosmarium* Corda ex Ralfs з межами коливань 5,51–15,36 мг/10см². Максимум розвитку фітомікробентосу припадав на весну та літо з подальшим скороченням восени.

Озеро Ананькін Кут. Водойма ізольована від моря та має потужні відкладення високопродуктивних чорних мулів. Кількісні показники

фітомікробентосу коливались в широких межах (рис. 2). Максимальні реєструвались навесні та влітку. Чисельність визначали види родів *Oscillatoria*, *Cyclotella*, *Fragilariforma* (Ralfs) Williams et Round, *Stephanodiscus*, *Desmodesmus*, *Pediastrum* Meyen, *Anabaena* Bory ex Born. et Flach, *Aphanizomenon* Morr. ex Born. et Flach. У формуванні біомаси пріоритетну роль відігравали дрібноклітинні та крупноклітинні *C. kuetzingiana*, *S. hantzschii*, *Fragilariforma virescens* (Ralfs) D.M.Williams et Round, *Pinnularia major* (Kützing) Rabenhorst, *Surirella robusta* Ehrenberg.

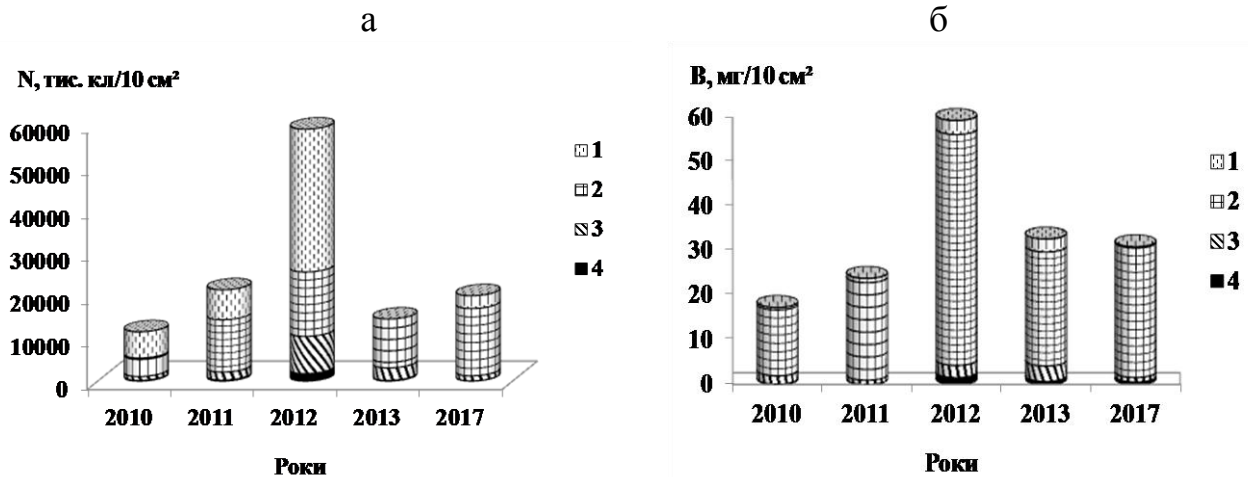


Рис. 2. Багаторічна динаміка чисельності (а) і біомаси (б) та структура фітомікробентосу озера Ананькін Кут: 1 – Cyanophyta, 2 – Bacillariophyta, 3 – Chlorophyta, 4 – інші.

Встановлені значні відмінності в розмірно-морфологічних показниках фітомікробентосу, представлених як дрібноклітинними, так і крупноклітинними формами, що, на наш погляд, є важливою адаптаційною здатністю угруповань донних водоростей. При цьому кількість видів, чисельність та біомаса зростали при збільшенні замулення донного субстрату та переході від замулених пісків до сірих та чорних мулів.

ОСОБЛИВОСТІ ФІТОМІКРОБЕНТОСУ СОЛОНУВАТОВОДНИХ ЗАТОК

Солонуватоводні затоки розташовані в північній частині дельти, відкриті зі сторони моря.

Затока Бадика Кут. Морфометричною особливістю затоки є п'ять відрогів, в яких по мірі віддалення від моря солоність води зменшувалася від 8,00‰ до 2,00‰. Відповідно, чисельність фітомікробентосу, яку визначали Cyanophyta, Bacillariophyta та Chlorophyta, змінювалася від 1214,0 тис. кл./10см² (S= 6,00‰–8,00‰) до 22455,0 тис. кл./10см² (S=2,00‰–5,00‰).

У формуванні біомаси пріоритетна роль належала Bacillariophyta, з мінімальними значеннями (S=8‰) – 1,6 мг/10см² і максимальними (S=2,00‰) – 37,0 мг/10см². При переході від моря до середини водойми спостерігалось зростання біомаси фітомікробентосу, з середини до вершини – її подальше підвищення за рахунок крупноклітинних *Gyrosigma strigile* (W. Smith) Cleve,

Caloneis amphisbaena (Bory) Cleve, *Pinnularia lata* (Brébisson) W.Smith, *Tryblionella circumsuta* (Bailey) Ralfs in Pritchard.

Затока Солоний Кут. Чисельність фітомікробентосу, яку формували Cyanophyta, Bacillariophyta та Chlorophyta, коливалася від 1782,0 тис. кл/10см² при солоності 6,00‰ до 5880,0 тис. кл/10см² при солоності води 2,00‰. Висока чисельність фітомікробентосу (5365,0 тис. кл/10см²) відзначалася і на виході до моря, де солоність води досягала 9,00‰. Біомаса фітомікробентосу, яку визначали: *Tryblionella hungarica* (Grunow) Frenguelli, *T. circumsuta*, *G. strigile*, *G. attenuatum* (Kützing) Rabenhorst, *P. major*, змінювалась від 6,8 до 25,4 мг/10см². Її просторовий розподіл був подібний чисельності.

Встановлено, що при солоності води 6,00–8,00‰ спостерігається падіння чисельності та біомаси донних мікроводоростей, тобто цей діапазон солоності не сприятливий для розвитку фітомікробентосу, як зазначали і інші дослідники (Хлебович, 1974, 2012; Аладин, 2017).

Затока Шабош Кут. Максимальна чисельність фітомікробентосу (2225,0 тис. кл./10см²) відзначалася при солоності води 12,00‰ за рахунок домінування водоростей родів *Aulacoseira* Thwaites, *Nitzschia*, *Stephanodiscus*, *Oscillatoria*, *Schroederia* Lemmermann. Мінімальна чисельність (773,0 тис. кл/10см²) зафіксована при солоності 8,00‰. Максимальні біомаси (6,02–15,81 мг/10см²), формувалися за рахунок родів *Gyrosigma*, *Tryblionella*, *Stephanodiscus*, *Amphora* Ehrenberg ex Kützing, *Peridinium* Ehrenberg і спостерігалися при солоності 10,00–12,00‰, а при 8,00‰ – знижувалися до 1,76–2,21 мг/10см².

В солонуватоводних затоках максимальні показники чисельності та біомаси реєструвались в весняний та літній періоди.

Статистичне опрацювання натурних даних дозволило виявити залежність інтенсивності розвитку донних мікроводоростей від солоності води (рис. 3). Така залежність простежувалась як за чисельністю, так і біомасою організмів (рис. 4).

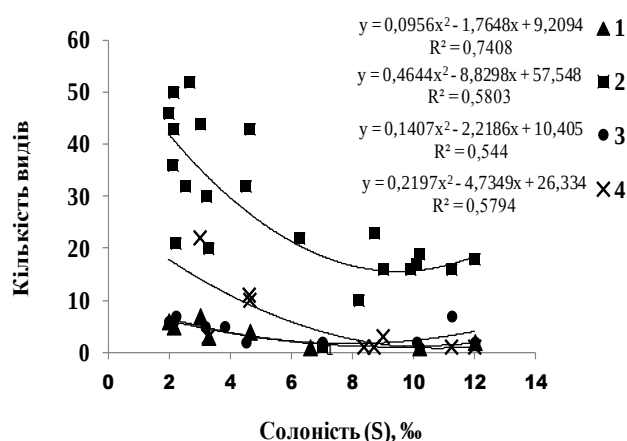


Рис. 3. Видове багатство фітомікробентосу солонуватоводних заток в залежності від солоності води: 1 – Cyanophyta; 2 – Bacillariophyta; 3 – Chlorophyta; 4 – інші

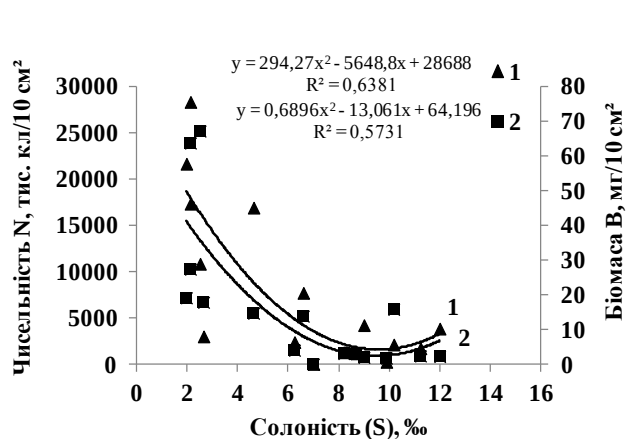


Рис. 4. Чисельність N (1) і біомаса В (2) фітомікробентосу солонуватоводних заток в залежності від солоності води

Таким чином, результати натурних досліджень фітомікробентосу у водах з різною солоністю – від 2,00‰ до 12,00‰ показують, що мінімальні величини видового багатства, чисельності, біомаси фіксувалися в діапазоні солоності води 6,00–8,00‰, ймовірно, внаслідок дії ефекту «критичної солоності» (Хлебович, 1974, 2012). У градієнті значень від 8,00‰ до 12,00‰, видове багатство фітомікробентосу в основному представляли солонуватоводні і морські форми, чисельність і біомаса зростали. У зоні солоності води 2,00–5,00‰ відзначено максимальні показники видового багатства, чисельності і біомаси в основному за рахунок розвитку прісноводних форм водоростей різних відділів.

ФІТОМІКРОБЕНТОС ВОДОТОКІВ КЛІЙСЬКОЇ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

Рукав Бистрий. В рукаві швидкість течії води була найвищою серед досліджуємих водотоків і коливалася в межах від 0,9 м/с до 2,0 м/с.

Аналіз сезонної динаміки кількісного розвитку фітомікробентосу дозволив виявити весняний та літній піки вегетації, які різнилися структурою домінуючого комплексу видів. У формуванні біомаси, яка коливалася від 0,44 до 12,89 мг/10см², пріоритетна роль належала Bacillariophyta, основу чисельності, з межами коливань 228–4506 тис. кл/10см², значною мірою обумовлювали Cyanophyta. Характеристика розвитку донних мікроводоростей в міжрічному аспекті показала, що найменших показників чисельності і біомаси вони досягали у багатоводний 2010 рік, найбільших – в маловодні 2011–2012 роки.

Рукав Восточний. В рукаві Восточний зі швидкістю течії води 0,6–1,2 м/с, в кількісному розвитку фітомікробентосу спостерігались два піки – навесні та влітку. Чисельність коливалась від 533 до 12496 тис. кл/10см², біомаса змінювалась від 0,33 до 10,02 мг/10см².

Мінімальні кількісні показники донних водоростей відмічались в багатоводному 2010 р. (рис. 5).

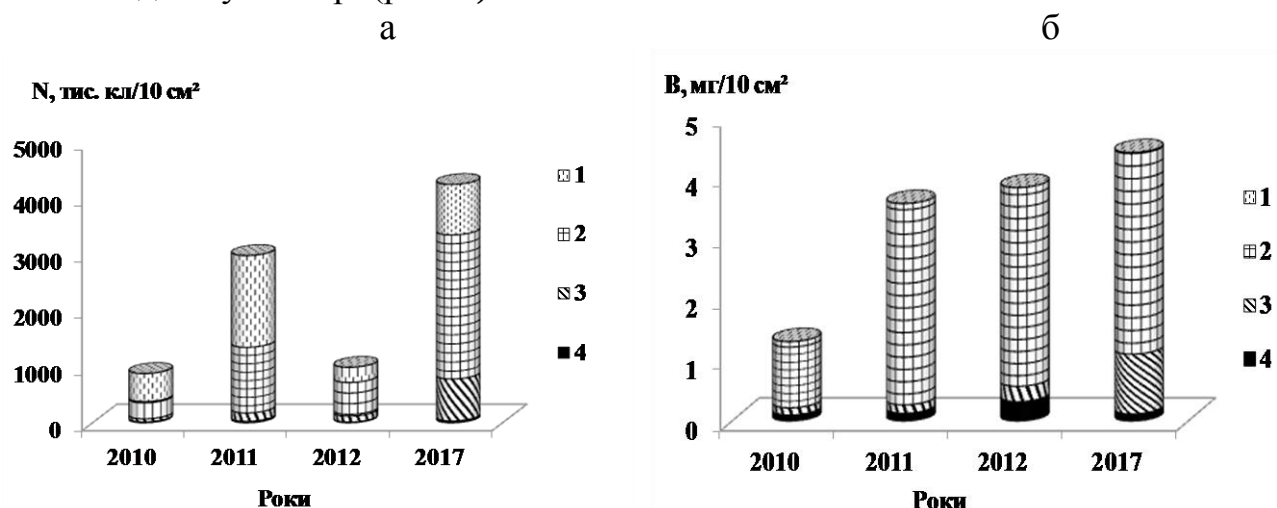


Рис. 5. Багаторічні показники чисельності (а) і біомаси (б) фітомікробентосу рукава Восточний: 1 – Cyanophyta; 2 – Bacillariophyta; 3 – Chlorophyta; 4 – інші.

Максимального розвитку фітомікробентос досягав у маловодні роки, коли за чисельністю переважали представники Cyanophyta, за біомасою – Bacillariophyta. Весною в фітомікробентосі рукава за чисельністю домінантами виступали *Melosira varians* C.Agardh і *Oscillatoria tenuis* C.Agardh ex Gomont, а за біомасою – *M. varians*. Влітку за біомасою домінували *Surirella tenera* W.Gregory, за чисельністю – *C. kuetzingiana* і *O. amphibia*. Восени провідна роль належала *M. varians* (за біомасою) та *C. kuetzingiana* (за чисельністю). В 2017 р. зросла інтенсивність Chlorophyta за рахунок *Binuclearia lauterbornii* (Schmidle) Proschkina-Lavrenko та *Cosmarium dentiferum* Corda ex Nordstedt.

При аналізі кількісного розвитку фітомікробентосу у просторовому аспекті встановлено, що чисельність та біомаса донних водоростей збільшувалась від витoku до гирла водотоку, де швидкість течії води уповільнювалась (табл. 1), при цьому відбувалися зміни у домінуючому комплексі.

Основу чисельності на витoku рукава складали *O. amphibia*, *B. lauterbornii*, *C. kuetzingiana*, *S. hantzschii*, біомаси – *M. varians*, *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg, *S. tenera*, *S. hantzschii*. У гирлі водотоку домінували *O. agardhii* Gomont, *O. amphibia*, *O. limnetica* Lemmermann, *O. tenuis*, *F. virescens* (чисельність), за біомасою превалювали *M. varians*, *S. ulna*, *Nitzschia vermicularis* (Kützing) Hantzsch in Rabenhorst, *S. hantzschii*, *O. irrigua* Kützing ex Gomont.

Таблиця 1

**Кількісний розвиток фітомікробентосу рукава Восточний
в просторовому аспекті**

Показник	Виток рукава Восточний	Гирло рукава Восточний
Швидкість течії води, м/с	0,90–1,20	0,60–0,98
Чисельність, N, тис. кл/10см ²	<u>533–4335</u> 2209	<u>1168–12496</u> 4096
Біомаса, B, мг/10см ²	<u>0,33–3,99</u> 2,50	<u>1,10–10,02</u> 4,32

Примітка. Над рискою – межі коливань показників; під рискою – середні значення показників

Рукав Очаківський. В Очаківському рукаві швидкість течії складала 0,80–1,00 м/с.

За чисельністю (533–4496 тис. кл/10см²) у фітомікробентосі рукава домінували Bacillariophyta і Cyanophyta, за біомасою (0,33–5,02 мг/10см²) – Bacillariophyta. В сезонній динаміці спостерігався, в основному, літній максимум з домінуванням представників родів *Fragilariforma*, *Navicula*, *Surirella*, *Stephanodiscus*, *Oscillatoria*. Найнижчий кількісний розвиток фітомікробентосу зафіксовано у багатоводному 2010 році, найвищий – у маловодні роки.

Рукави Білгородський та Отножний. Ці рукави є водотоками з низькою швидкістю течії (до 0,20–0,30 м/с).

В рукаві Білгородський за чисельністю (396–17415 тис. кл/10см²) домінантами виступали роди *Oscillatoria* та *Cyclotella*, за біомасою (0,416–11,43 мг/10см²) – роди *Cymbella*, *Cyclotella*, *Caloneis* Cleve, *Gomphonema*, *Nitzschia*, *Surirella*.

В рукаві-стариці Отножний виявлено, що за чисельністю, межі коливань якої складали 3575–7438 тис. кл/10см², домінували Bacillariophyta та Cyanophyta, а накопичення біомаси (13,92–15,24 мг/10см²) відбувалось в основному за рахунок крупноклітинних Bacillariophyta.

Аналіз сезонної динаміки чисельності та біомаси показав, що в рукавах Білгородський та Отножний фіксувався літній пік вегетації донних водоростей, зростання кількісних показників фітомікробентосу спостерігалось в маловодні роки, в багатоводні – чисельність та біомаса знижувались.

Загальна характеристика розвитку фітомікробентосу водотоків. Мінімальні значення кількісного розвитку донних водоростей спостерігались в рукавах Бистрий та Восточний (швидкість течії 0,9–2,0 м/с і 0,6–1,2 м/с), максимальні – в рукавах Отножний та Білгородський, де швидкість течії води складала 0,2–0,3 м/с.

Різні швидкості водних потоків визначають особливості структурної організації фітомікробентосу. При зниженні швидкості течії спочатку відмічалось збільшення якісних та кількісних показників фітомікробентосу, а надалі біомаса продовжувала зростати, а чисельність зменшувалась. Важливо підкреслити, що при швидкості течії води понад 1,5 м/с кількість видів є мінімальною, водночас при зменшенні швидкості течії до 1,0 м/с і нижче кількість видів починає зростати (рис. 6; 7).

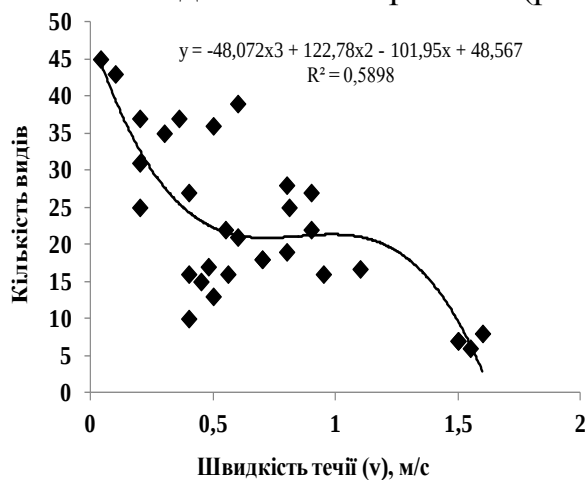


Рис. 6. Динаміка видового багатства фітомікробентосу водотоків в залежності від швидкості течії води

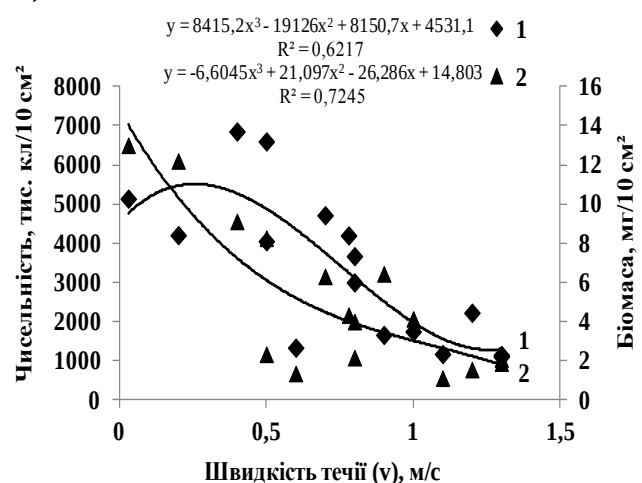


Рис. 7. Чисельність (1) і біомаса (2) фітомікробентосу водотоків в залежності від швидкості течії води

Встановлено, що в структурно-функціональній організації фітомікробентосу рукавів КДД, більшу частку видового багатства, чисельності та біомаси складала діатомові водорості. Водночас на показники чисельності фітомікробентосу суттєво впливали синьозелені водорості. Іноді відмічались незначні коливання інтенсивності розвитку зелених водоростей. При

збільшенні швидкості течії в рукавах у домінуючому комплексі зростає частка видів з родів *Stephanodiscus*, *Cyclotella*, *Oscillatoria*, *Phormidium* Kützing ex Gomont, а при зменшенні течії провідна роль переходить до крупноклітинних видів з родів *Melosira*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Gyrosigma*, *Surirella*.

Спостерігалась тенденція до збільшення різноманіття донних мікроводоростей зі зменшенням швидкості течії та зростанням замулення в рукавах. Так, найбільші кількісні показники характерні для фітомікробентосу затухаючого Білгородського рукава та стариці Отножний, найменші – рукавів Бистрий та Восточний, які відрізняються великими глибинами, високою швидкістю течії, значною каламутністю води.

Отже, при зниженні швидкості течії спостерігалось зростання біомаси, а чисельність бентосних мікроводоростей могла зменшуватись внаслідок зміни дрібноклітинних форм на крупноклітинні, в основному Bacillariophyta.

ПРОДУКЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФІТОМІКРОБЕНТОСУ КІЛІЙСЬКОЇ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

Згідно проведених досліджень гідроекосистем КДД інтенсивність первинної продукції в різні сезони змінювались від 0,2 до 16,8 г O₂/м² × добу.

Встановлено, що в водоймах при переході від приморської частини та акваторій солонуватоводних заток до внутрішньодельтових прісноводних заток первинна продукція збільшувалась. Найбільш продуктивними (10,7–16,8 г O₂/м² × добу) були прісноводні затоки, де в бентосі переважали чорні мули (Ананькін Кут). Мінімум первинної продукції фітомікробентосу (4,31–15,0 г O₂/м² × добу) спостерігався в солонуватоводних затоках, де в донних відкладеннях переважали піски (Шaboш Кут).

Аналіз сезонної динаміки первинної продукції виявив, що її максимальна інтенсивність реєструвалась в літній період та зменшувалась в осінній. В різних водних екосистемах, де у фітомікробентосі домінантами виступали крупноклітинні види Bacillariophyta, яким притаманна низька фотосинтетична активність, первинна продукція падала. Наприклад, це спостерігалось при домінуванні *Gyrosigma acuminatum* (Kützing) Rabenhorst, *G. spenceri* (W.Smith) Griffith et Henfrey, *Navicula viridula* (Kützing) Ehrenberg, *Nitzschia linearis* W.Smith, *N. sigmoidea* (Nitzsch) W.Smith, *S. tenera*, *Cymatopleura solea* (Brébisson) W.Smith, *O. tenuis*, *P. major*. В той же час, при домінуванні дрібноклітинних форм (*Phormidium subfuscum* Kützing ex Gomont, *S. hantzschii*, *C. kuetzingiana*, *O. amphibia*, *Merismopedia punctata* Meyen, *Monoraphidium irregulare* (G.M.Smith) Komárková-Legnerová) інтенсивність первинної продукції збільшувалась.

В рукавах при зменшенні швидкості течії та збільшенні замулення продуктивність бентосних водоростей зростала. Найбільш продуктивним (6,5–14,9 г O₂/м² × добу) виявився фітомікробентос затухаючого Білгородського рукава та стариці Отножний, найменш продуктивним – фітомікробентос рукава Бистрий (1,9–2,3 г O₂/м² × добу).

Визначено, що між динамікою первинної продукції та біомасою простежувався позитивний зв'язок. Максимальна продуктивність реєструвалась на початку масового входження видів в домінуючий комплекс

фітомікробентосу, з накопиченням біомаси продуктивність видів знижувалась (рис. 8). При цьому, незалежно від систематичної належності виду, зі зменшенням розмірів його клітин інтенсивність продукції збільшувалась. Підтвердженням цих закономірностей для різнотипних водойм та водотоків КДД є розраховані високі коефіцієнти достовірності.

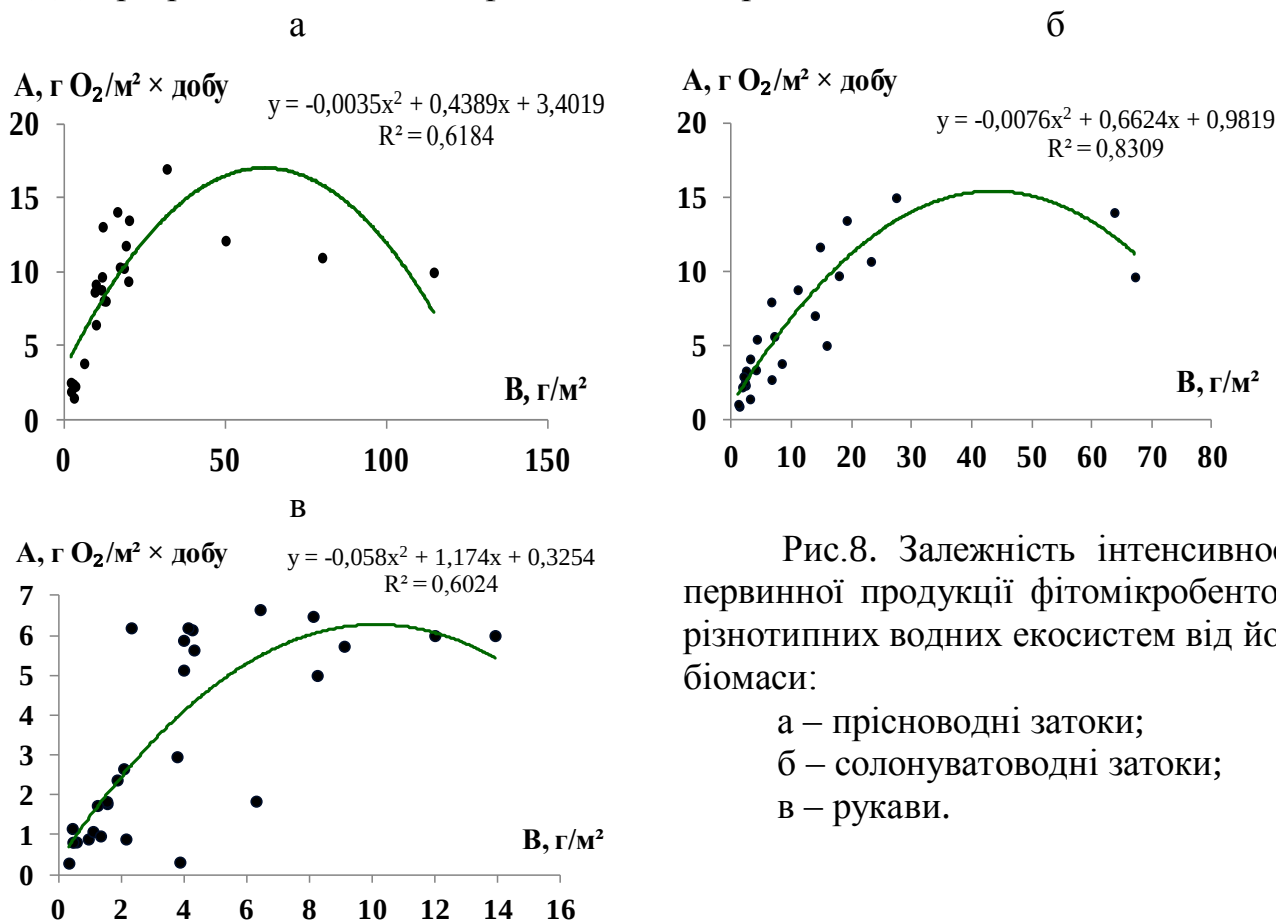


Рис.8. Залежність інтенсивності первинної продукції фітомікробентосу різнотипних водних екосистем від його біомаси:

- а – прісноводні затоки;
- б – солонуватоводні затоки;
- в – рукави.

Таким чином, фітомікробентос – важливий біологічний компонент первинної автотрофної ланки, формує потоки енергії, створює органічні речовини, приймає участь в насиченні водної товщі водойм та водотоків киснем, при цьому його доля в первинній продукції може досягати суттєвих показників, що забезпечує життєдіяльність гідробіонтів вищих трофічних рівнів.

ВИСНОВКИ

На підставі аналізу натурних даних багаторічної динаміки таксономічного складу, екологічного різноманіття та кількісних показників фітомікробентосу різнотипних водних об'єктів Кілійської дельти Дунаю встановлено закономірності його формування, продукційні характеристики та залежність від низки абіотичних чинників: солоності води, типу донних відкладень, швидкості течії води.

1. У фітомікробентосі різнотипних водойм та водотоків Кілійської дельти Дунаю виявлено 353 види водоростей (389 внутрішньовидових таксонів) з 8 відділів, 13 класів, 30 порядків, 110 родів. Вищим видовим і таксономічним

багатством характеризуються донні мікрководорості заток дельти, порівняно з рукавами (371 і 173 в. в. т. відповідно). Значна частина фітомікробентосу (близько 80% видового багатства) представлені видами, які мають низьку частоту трапляння, що є специфічною ознакою їх приналежності до різних типів водойм.

2. За таксономічним різноманіттям домінуючими визначено Bacillariophyta (60%). Chlorophyta складала 19%, Cyanophyta – 9%, Euglenophyta – 7%. Cryptophyta, Chrysophyta, Dinophyta та Xanthophyta представлені поодинокими видами і не перевищували 1–2%.

3. За біотопічною приуроченістю найбільшу частку складали бентосні (41%), планктонно-бентосні (31%), планктонні (16%) та перифітонні форми (12%). Висока біотопічна багатокомпонентність сприяє реалізації адаптивних можливостей бентосних угруповань за дії різних абіотичних чинників.

4. В солонуватоводних затоках найбільші видове багатство, чисельність і біомаса фітомікробентосу зареєстровано на ділянках з сольовим діапазоном 2,00–5,00‰, збільшення кількісних показників донних водоростевих угруповань спостерігалось при підвищенні солоності від 10,00 до 12,00‰, а мінімальні показники реєструвались в градієнті солоності 6,00–8,00‰ внаслідок впливу зони «критичної солоності».

5. В затоках якісні та кількісні характеристики фітомікробентосу змінювались в залежності від типу донних відкладень: від мінімальних величин на чистих та замулених пісках до максимальних показників на сірих і чорних мулах.

6. Встановлено, що в залежності від швидкості течії води в дельтових рукавах формуються різні бентосні угруповання водоростей: мінімальна кількість видів, чисельність і біомаса спостерігаються за швидкості течії 1,0–2,0 м/с, зниження швидкості течії до 0,2–0,8 м/с супроводжується зростанням видового багатства та кількісних показників фітомікробентосу.

7. При збільшенні швидкості течії у річкових рукавах Кілійської дельти Дунаю в домінуючому комплексі фітомікробентосу зростає частка дрібноклітинних форм з родів *Stephanodiscus*, *Cyclotella*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, а при зменшенні швидкості течії провідна роль переходить до крупноклітинних форм з родів *Melosira*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Gyrosigma*, *Surirella*; мінімальних значень чисельність і біомаса фітомікробентосу досягали в багатоводні роки, максимальних – в маловодні.

8. Аналіз подібності видового складу фітомікробентосу за коефіцієнтом Серенсена показав, що формування кластерів визначалось впливом екологічних чинників, основними з яких є солоність води, тип донних відкладень, швидкість течії води. Кластери диференціювались на групи зі схожими ($K_s=0,58–0,60$) та відмінними ($K_s=0,26–0,42$) екологічними умовами навколишнього середовища.

9. Інтенсивність первинної продукції фітомікробентосу водойм та водотоків Кілійської дельти Дунаю в літній період змінювалася від 0,20 до 16,80 г $O_2/m^2 \times \text{добу}$. Найбільша продуктивність характерна для прісноводних заток, де в ґрунтових відкладеннях переважали чорні мули, мінімум первинної продукції

спостерігався в солонуватоводних затоках, де в донних відкладеннях переважали піски. В рукавах відмічено тенденцію збільшення продуктивності донних мікробіот зменшенням швидкості течії та збільшенням замулення.

10. Встановлено просторову поліноміальну залежність між інтенсивністю первинної продукції і біомасою фітомікробентосу з коефіцієнтами детермінації в прісноводних та солонуватоводних затоках $R^2 = 0,6986$ і $R^2 = 0,8309$ відповідно, а в рукавах – $R^2 = 0,5826$.

11. Спільною ознакою для різних типів водних об'єктів Кілійської дельти Дунаю є той факт, що максимальна продуктивність фітомікробентосу реєструвалась за присутністю в домінуючому комплексі дрібноклітинних видів (*Phormidium subfuscum*, *Oscillatoria amphibia*, *Merismopedia punctata*, *Monoraphidium irregulare*), а з появою крупноклітинних форм (*Gyrosigma spenceri*, *Nitzschia linearis*, *Surirella tenera*, *Cymatopleura solea*, *Oscillatoria tenuis*) продуктивність фітомікробентосу знижувалась.

12. Порівняльний аналіз отриманих сучасних даних з ретроспективними за другу половину XX століття показав, що фітомікробентос був і є важливим компонентом автотрофної ланки гідроекосистем Кілійської дельти Дунаю, а збільшення кількості β -мезосапробів, поява α -мезосапробів вказує на зростання антропогенного впливу на водні об'єкти.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових наукових виданнях

1. **Козійчук Е. Ш.**, Щербак В. І. Фітомікробентос різнотипних водойм та водотоків Кілійської дельти Дунаю. *Наук. зап. Тернопіль. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка*. Серія: Біологія. 2010. 2 (43). С. 266–269. (Відбір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті).
2. **Козійчук Е. Ш.** Продукційні характеристики фітомікробентосу водойм та водотоків Кілійської дельти Дунаю. *Наук. зап. Тернопіль. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка*. Серія: Біологія. 2015. № 3–4 (64). С. 328–331.
3. Shcherbak V. I., **Koziychuk E. Sh.** Phytomicrobenthos dynamics in water bodies of various types in the Kiliya delta of the Danube river depending on some ecological factors. *Hydrobiological Journal*. 2016. Vol. 52, № 3. P. 3–14. (Відбір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті).
4. **Koziychuk E. Sh.**, Shcherbak V. I. Phytomicrobenthos of Brackishwater Bays of the Kiliya Delta of the Danube River. *Hydrobiological Journal*. 2017. Vol. 53, № 4. P. 22–35. (Відбір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті).
5. **Козійчук Е. Ш.** Особливості розвитку фітомікробентосу прісноводних водойм Кілійської дельти Дунаю. *Біоресурси і природокористування*. 2017. Т. 9, № 5–6. С. 26–33.
6. **Козійчук Е. Ш.** Еколого-географічне різноманіття фітомікробентосу водойм та водотоків Кілійської дельти Дунаю. *Наукові доповіді НУБіП України*, [S.1], п. 2(78), кві. 2019. URL:

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/12618>

(дата

звернення: 02.12.2019).

7. **Koziychuk E. Sh.** Phytomicrobenthos Diversity in Watercourses of the Kiliya Delta of the Danube River. *Hydrobiological Journal*. 2019. Vol. 55, № 5. P. 44–56.

Тези та матеріали конференцій

1. **Козійчук Е. Ш., Щербак В. І.** Характеристика якості водного середовища різнотипних водойм та водотоків Кілійської дельти Дунаю. *Екологія міст та рекреаційних зон: наук.-практ. конф. Тези докл. та вист. / За загальною редакцією В. М. Небрат. Одеса: Іннов.-інф. центр «ІНВАЦ», 2010 р. С.174–177. (Відбір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті).*
2. **Козійчук Е. Ш., Щербак В. І.** Сучасний розвиток фітомікрообентосу водотоків Дунайського біосферного заповідника на різних типах ґрунту. *Екологія міст та рекреаційних зон: Всеукр. наук.-практ. конф. Докл. та статті / За заг. ред В.М.Небрат Одеса : Іннов.-інф. центр «ІНВАЦ», 2011 р. С. 322–324. (Відбір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті).*
3. **Козійчук Е. Ш.** Різноманіття фітомікрообентосу водойм Кілійської дельти Дунаю з різним ступенем солоності води. *Збірник наукових праць. Фальцфейнівські читання. Херсон: ПП Вишемирський, 2011 р. С. 67–68.*
4. **Щербак В. І., Козийчук Э. Ш.** Особенности развития фитомикробентоса водных объектов Килийской дельты Дуная с разной степенью антропогенной загрузки. *Международный экологический форум Чистый город. Чистая река. Чистая планета. м. Херсон. 17–18 ноября 2011 г. С. 218–222. (Відбір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті).*
5. **Козійчук Е. Ш.** Критерії оцінки екологічного стану транскордонних водних об'єктів за біологічними показниками. *«Современные проблемы гидроэкологии. Перспективы, пути и методы решений»:* Материалы III Международной научной конференции. Херсон, ПП Вишемирский В.С., г. Херсон, 2012г. С. 68–70.
6. **Козійчук Е. Ш.** Фітомікрообентос – біотичний індикатор якості водного середовища. *«Вода: проблемы и решения»:* материалы X науч.-практ. конф. г. Днепропетровск, Д.: Издавничо-творчий центр «Гамалія», 2012 г. С. 104–107.
7. **Козійчук Е. Ш.** Фітомікрообентос озера Лебедине (Кілійська дельта Дунаю). *Актуальні проблеми сучасної гідроекології: збірник матеріалів науково-практичної конференції, присвяченої 95-річчю заснування Національної академії наук України. Київ, 2013. С. 43–44.*
8. **Козійчук Е. Ш., Щербак В. І.** Структурно-функціональне та екологічне різноманіття фітомікрообентосу Кілійської дельти Дунаю. *Екологія водно-болотних угідь і торфовищ (збірник наукових статей) / Головний редактор В. В. Коніщук. Київ: ТОВ «НВП «Інтерсервіс» , 2014. С. 134–137. (Відбір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті).*
9. **Козійчук Е. Ш., Задорожна Г. М.** Оцінка якості води різнотипних водойм за водоростевими угрупованнями. *Інтегроване управління водними ресурсами:*

наук. збірник / відпов. ред. В.І.Щербак. 2014. С. 59–65. (*Відбір та обробка матеріалу, аналіз даних та участь у написанні статті*).

10. **Козійчук Е. Ш.** Сезонні зміни структури фітомікробентосу Кілійської дельти Дунаю (на прикладі затоки Бистрий кут). *Збірник наукових праць*. Житомир: ПП «Рута», 2017. С.124–126.

11. **Козійчук Е. Ш.** Оцінка якості води прісноводних водойм Кілійської дельти Дунаю за індикаторними організмами фітомікробентосу. *«Природа для води»*: матеріали міжн. науч.-практ. конф. м Київ К.: Інст. вод. пробл. і меліор. НААНУ 2018. С. 106–107.

12. **Козійчук Е. Ш.** Різноманіття фітомікробентосу рукавів Білгородський та Отножний Кілійської дельти Дунаю: *збірник матеріалів VIII з'їзду Гідроекологіч. тов-ва Укр, присвяч. 110-річчю заснув. Дніпр. біол. ст.* Київ, 2019. С. 49–51.

Подяка

Автор висловлює щирі вдячність науковому керівнику к. б. н., проф. В. І. Щербаку, к. б. н. Н. Є. Семенюк, к. б. н. А. В. Ляшенко, к. б. н. К. Є. Зорінній-Сахаровій за цінні поради, консультації та допомогу при проведенні спільних досліджень, а також співробітникам Інституту гідробіології, рідним та друзям за всебічну підтримку.

Анотація

Козійчук Е. Ш. Фітомікробентос Кілійської дельти Дунаю. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) зі спеціальності 03.00.17 – гідробіологія. – Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2020.

Встановлено особливості формування видового багатства, таксономічного складу, сезонної динаміки чисельності та біомаси, інформаційного різноманіття, домінуючого комплексу, інтенсивності первинної продукції та екологічного різноманіття фітомікробентосу різнотипних водних екосистем Кілійської дельти Дунаю (річкових рукавів, прісноводних та солонуватоводних заток); виявлено основні екологічні чинники (солоність, тип донних відкладів, швидкість течії води), які впливають на його розвиток.

У фітомікробентосі різнотипних водойм та водотоків Кілійської дельти Дунаю виявлено 353 види (389 внутрішньовидових таксонів), з 8 відділів, 13 класів, 30 порядків, 110 родів. Видове і таксономічне багатство донних мікроводоростей у затоках дельти вище, ніж у рукавах (371 і 173 в. в. т. відповідно).

В солонуватоводних затоках Кілійської дельти Дунаю інтенсивність розвитку донних мікроводоростей залежить від солоності води і відрізняється в зонах з діапазоном солоності: 2,00–5,00‰; 6,00–8,00‰; 9,00–12,00‰.

Визначено, що в затоках якісні та кількісні характеристики фітомікробентосу змінювались в залежності від типу донних відкладень – з

мінімальних величин на чистих та замулених пісках і до максимальних показників – на сірих і чорних мулах.

В дельтових рукавах формування бентосних угруповань водоростей залежить від швидкості течії води – при швидкостях 1,0–2,0 м/с чисельність та біомаса мінімальні, але зростають при зменшенні швидкості до 0,2–0,8 м/с. Водночас кількість видів фітомікробентосу мінімальна при швидкості течії понад 1,5 м/с і зростає при зменшенні швидкості течії до 1,0 м/с і нижче.

Аналіз сезонної динаміки чисельності і біомаси фітомікробентосу водойм та водотоків Кілійської дельти Дунаю дозволив виявити весняний і літній піки вегетації. Порівняльний аналіз розвитку донних мікроводоростей водотоків показав, що мінімальних кількісних показників фітомікробентос досягав в багатоводні роки, максимальних – у маловодні.

В літній період у водоймах та водотоках Кілійської дельти Дунаю збільшення інтенсивності первинної продукції відповідало збільшенню біомаси, однак максимальні їх значення не завжди співпадали. З'ясовано, що максимальна продуктивність реєструвалась на початку масової вегетації видів та їх входження в домінуючий комплекс фітомікробентосу, коли біомаса починала зростати; з накопиченням біомаси продуктивність видів знижувалась.

Ключові слова: фітомікробентос, Кілійська дельта Дунаю, водойми, водотоки, домінуючий комплекс, солоність води, донні відкладення, течія.

Аннотация

Козийчук Э. Ш. Фитомикробентос Килийской дельты Дуная. – Рукопись

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук (доктора философии) по специальности 03.00.17 – гидробиология. – Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, 2020.

Установлены особенности формирования видового богатства, таксономического состава, сезонной динамики численности и биомассы, информационного разнообразия, доминирующего комплекса, интенсивности первичной продукции и экологического разнообразия фитомикробентоса разнотипных водных экосистем Килийского дельты Дуная (речных рукавов, пресноводных и солоноватоводных заливов); выявлены основные экологические факторы (соленость, тип донных отложений, скорость течения воды), которые влияют на его развитие.

В фитомикробентосе разнотипных водоемов и водотоков Килийской дельты Дуная обнаружены 353 вида (389 внутривидовых таксонов), с 8 отделов, 13 классов, 30 порядков, 110 родов. Видовое и таксономическое богатство донных микроводорослей заливов дельты выше чем в рукавах (371 и 173 в. в. т. соответственно).

В солоноватоводных заливах Килийской дельты Дуная установлена зависимость интенсивности развития донных микроводорослей в зонах с разной соленостью воды: 2,00–5,00 ‰; 6,00–8,00 ‰; 9,00–12,00 ‰.

Определено, что в заливах качественные и количественные характеристики фитомикробентоса изменялись в зависимости от типа донных отложений – с минимальных величин на чистых и заиленных песках и до максимальных показателей – на серых и черных илах.

В зависимости от скорости течения воды в дельтовых рукавах формировались бентосные сообщества водорослей – с минимальной численностью и биомассой при скоростях течений 1,0–2,0 м/с, а при снижении до 0,2–0,8 м/с, регистрировалось рост количественных показателей фитомикробентоса; при скорости течения в водном потоке выше 1,5 м/с, количество видов фитомикробентоса является минимальным, в то же время, при уменьшении скорости течения до 1,0 м/с и ниже, количество видов увеличивается.

Анализ сезонной динамики численности и биомассы фитомикробентосу водоемов и водотоков Килийского дельты Дуная позволил выявить весенний и летний пики вегетации. Сравнительный анализ развития донных микроводорослей водотоков показал, что минимальных количественных показателей фитомикробентос достигал в многоводные годы, максимальных – в маловодные.

В летний период в водоемах и водотоках Килийского дельты Дуная подъемы интенсивности первичной продукции соответствовали подъемам биомассы, однако максимальные их значения не всегда совпадали. Установлено, что максимальная продуктивность регистрировалась в начале массовой вегетации видов и их вхождении в доминирующий комплекс фитомикробентоса, когда биомасса начинала расти, с накоплением биомассы производительность видов снижалась.

Ключевые слова: фитомикробентос, Килийская дельта Дуная, водоемы, водотоки, доминирующий комплекс, соленость воды, донные отложения, течение.

Summary

Koziichuk E. Sh. Phytobenthos in the Kiliya Delta of the Danube River. – Manuscript

Thesis for the degree of candidate of biological sciences (philosophy doctor) in the specialty 03.00.17 – Hydrobiology. – Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine, Kyiv, 2020

The paper deals with the patterns of phytobenthos species diversity, taxonomic composition, seasonal dynamics of cell count and biomass, informational diversity, dominant complex, primary production and ecological diversity in the various aquatic ecosystems of the Danube River Kiliya Delta (river arms, fresh-water and brackish-water bays), identifies the main ecological factors (salinity, bottom sediments type, current velocity) making effect upon phytobenthos.

Phytobenthos of the Kiliya Delta's various water bodies and streams comprises 353 species (389 infraspecific taxa) from 8 divisions, 13 classes, 30 orders and 110

genera. The bottom microalgae taxonomic richness in the delta bays is higher than in the river arms – 371 and 173 species and varieties respectively.

The intensity of bottom microalgae development in the Danube Kiliya Delta brackish bays depends upon the water salinity: 2,00–5,00‰; 6,00–8,00‰; 9,00–12,00‰. Within the salinity range 2,00–5,00‰ phyto-benthos species diversity, cell count and biomass were higher on account of freshwater oligohalobous species development, with the share of brackish-water mesohalobous species being smaller. Near the sea, with the salinity rising to 9,00–12,00‰ brackish-water and marine forms dominated, with the share of freshwater oligohalobous species being low, which caused the bottom algae species diversity, cell count and biomass to increase. Within the salinity range 6,00–8,00‰ the phyto-benthos qualitative and quantitative parameters were minimal due to “critical salinity” impact on bottom microalgae.

The phyto-benthos qualitative and quantitative parameters in the bays changed depending upon the bottom sediments type – from minimal values on pure and silted sands to maximal values on grey and black silts. On silted sands blue-green algae dominated the phyto-benthos cell count, and diatoms dominated the biomass. On grey silts diatoms prevailed in number, and blue-green algae, diatoms and dinophytes prevailed in biomass. On black silts blue-green algae and diatoms had the highest cell count, and diatoms and green algae had the highest biomass.

The phyto-benthos structural and functional organization in the arms of the Danube Kiliya Delta has been studied. The largest share of species richness, cell count and biomass in the streams was composed of diatoms. At the same time, small-sized blue-green algae, especially in case of intensive grows, made a significant effect upon the phyto-benthos cell count. Besides, sometimes we observed insignificant fluctuations (rises and falls) of green algae development.

Depending upon the current velocity different benthic communities formed in the delta arms. When the current velocity made up 1,0–2,0 m/s, the cell count and biomass were minimal. With the current velocity decreasing to 0,2–0,8 m/s, the phyto-benthos quantitative parameters tended to rise. When the stream current velocity exceeded 1,5 m/s the phyto-benthos species richness was minimal, and when the current velocity reduced to 1,0 m/s and lower, the species richness began to increase.

The approximation reliability indexes have been calculated for relationships between species diversity, cell count, biomass of the main algae divisions and water salinity and current velocity.

The seasonal dynamics of phyto-benthos cell count and biomass in water-bodies and streams of the Danube Kiliya Delta showed the spring and the summer peaks of phyto-benthos vegetation. The minimal quantitative parameters were observed in high-water years, and the maximal quantitative parameters – in low-water years.

The peaks in primary production corresponded to the peaks in biomass, however their maximal values did not always coincide. The maximal productivity was observed at the beginning of the mass vegetation of species and their dominance, when the biomass started to grow. When the biomass accumulated, the species productivity decreased. The highest productivity was recorded for freshwater bays,

were black silts prevailed, rich in organic substances available for bottom microalgae (Anankin Kut Bay). The minimal primary production was observed in brackish-water bays, where bottom deposits were represented by sand (Shabosh Kut Bay).

The phytobenthos primary production dynamics has been studied. In the Danube Kiliya Delta bays the bottom microalgae autumn photosynthesis was lower, which may be explained with decreasing temperature and solar radiation. Besides, in autumn large-cell diatoms increased in number, and they have low relative photosynthetic activity.

The phytobenthos primary production intensity depended upon its composition, vegetation period duration, several hydrochemical and hydrological factors, with the nutrient content, solar irradiation and water temperature being the most important. The primary production fluctuations were related to changes in the dominant complex structure of benthic algal communities.

Keywords: phytobenthos, the Kiliya Delta of the Danube River, water-bodies, streams, dominant complex, water salinity, bottom deposits, current velocity.