

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут гідробіології

На правах рукопису

ЯКУШИН Володимир Михайлович

**РОЛЬ БАКТЕРІОПЛАНКТОНУ І
БАКТЕРІОПЕРИФІТОНУ В ДЕСТРУКЦІЇ
ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ В ЛОТИЧНИХ
ЕКОСИСТЕМАХ**

03.00.18 - гідробіологія

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора біологічних наук

Київ-1997



Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті гідробіології НАН України

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор
А.Ф.Антипчук,
доктор біологічних наук, професор
П.І.Гвоздяк,
доктор біологічних наук О.О.Протасов

Провідна установа: Львівський державний університет
ім. Івана Франка.

Захист відбудеться « 20 » червня 1997 р. о 10 год. на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.77.01 при Інституті
гідробіології НАН України за адресою : 254210, м.Київ-210,
проспект Героїв Сталінграду, 12.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту
гідробіології НАН України.

Автореферат розісланий « 20 » травня 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої
вченої ради, к.б.н.

Н.М.Смирнова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Стан водних екосистем та їх функціонування визначаються процесами перетворення речовини і енергії в умовах дії чинників різної природи. Роль бактеріального населення в цих процесах дуже велика, особливо в аспекті кругообігу речовин, самоочищення води, контролю за антропогенним забрудненням.

Під впливом бактерій відбувається трансформування складних органічних сполук до мономерів, зміна хімічного складу води, газового режиму, потоку біогенних речовин. Діяльність бактеріального населення є одним із ключових чинників, які визначають рівень збалансованості процесів первинного продукування і деструкції органічної речовини в водних екосистемах. Важливим, але ще недостатньо вивченим напрямком в екології водних мікрорганізмів є кількісна оцінка реакції бактеріальних угруповань *in situ* на дію різних факторів, таких як гідрологічний режим водного об'єкту, концентрація і якісний склад органічної речовини автохтонного та алохтонного походження, антропогенний вплив (включаючи гідротехнічне будівництво, яке приводить до техногенної трансформації водного об'єкту) та інш. Для пізнання закономірностей функціонування водних екосистем очевидна актуальність глибокого вивчення характеру зв'язків між бактеріальною трансформацією органічної речовини і факторами, що впливають на цей процес, встановлення кількісних параметрів даних залежностей.

Процеси деструкції органічної речовини бактеріо-планктоном в озерах і водосховищах вивчені досить повно, в лотичних екосистемах - річках і каналах - менш глибоко, а нерідко і фрагментарно. Особливо це стосується впливу різних чинників на інтенсивність та спрямованість вказаних процесів,

оцінки значення бактеріального розкладу органічної речовини різного складу і походження, визначення ролі бактеріопланктону у функціонуванні екосистем водотоків.

На сьогодні помітною прогалиною у вивченні бактеріального населення лотичних екосистем залишається бактеріоперифітон на вищих водяних рослинах. Бактеріоперифітон багато в чому визначає роль біоценозів вищих водяних рослин в водних екосистемах, стійкість останніх до антропогенного впливу, самоочисний потенціал. Отже, кількісна оцінка його ролі у процесах деструкції органічної речовини, особливо в умовах глобального забруднення водотоків, набуває важливого значення.

Одним із перспективних напрямків, що базуються на глибокому вивченні лотичних екосистем з зарегульованим водним режимом, є аналіз та кількісна оцінка можливого впливу абіотичних (в т. ч. техногенних) чинників на окремі ланцюги біотичного кругообігу речовин, а саме - на бактеріальні процеси деструкції органічної речовини. Це дає змогу розробити шляхи до оптимізації природоохоронних заходів та використання водних і біологічних ресурсів.

Мета роботи: встановити закономірності деструкції органічної речовини бактеріопланктоном і бактеріоперифітоном в лотичних екосистемах, вивчити основні фактори та визначити кількісні параметри їх впливу на інтенсивність даного процесу і, таким чином, виявити роль бактеріопланктону і бактеріоперифітону у функціонуванні лотичних екосистем.

Завдання досліджень включали:

- аналіз структури і активності функціонування бактеріопланктону та бактеріоперифітону в річках і каналах;
- визначення параметрів та кількісних зв'язків деструкційної активності бактеріальних угруповань з дією основних екологічних факторів;

- кількісну оцінку участі бактеріопланктону та бактеріоперифітону в процесах деструкції органічної речовини різного складу і походження у водотоках в залежності від екологічних умов;
- використання структурно-функціональних показників бактеріопланктону для оцінки стану водних екосистем, їх стійкості до антропогенного впливу;
- застосування кількісних критеріїв бактеріальної деструкції органічної речовини для одержання прогнозних даних щодо функціонування техногенно трансформованих (гідротехнічним будівництвом) водних екосистем.

На захист виносяться слідуєчі основні положення. Виявлена різниця структурно-функціональних характеристик бактеріопланктону в природних та штучних лотичних екосистемах. Кількісні показники бактеріопланктону та його активність щодо деструкції органічної речовини визначаються режимом водного стоку і антропогенним забрудненням. Водний режим зумовлює мутність води, концентрацію і якісний склад органічної речовини. Вказані чинники впливають на чисельність бактеріопланктону, її зміни в просторі і часі. Компонентний склад бактеріопланктону, вміст окремих груп бактерій, визначається в більшій мірі антропогенним забрудненням, вплив якого зростає у періоди низької водності рік і підвищення температури води.

В штучних водотоках - каналах, чисельність бактеріопланктону, її сезонна динаміка, функціональна активність визначаються джерелом водопостачання та внутрішньоводойними факторами і процесами, притаманними цьому типу лотичних екосистем. Режим експлуатації каналів, розвиток і трансформація в них первиннопродуцентів, головним чином, фітопланктону, впливають на концентрацію завислих та роз-

чинених органічних речовин і обумовлюють рівень чисельності та особливості розподілу бактерій по трасі водотоків.

Вивчені вміст, закономірності функціонування бактеріоперифітону на вищих водяних рослинах та його роль в деструкції органічної речовини в лотичних екосистемах. Встановлено, що формування, кількісний розвиток та активність метаболізму бактеріоперифітону визначаються вмістом у воді завислих та розчинених органічних сполук, екологічним угрупованням вищих водяних рослин. Бактеріоперифітон, як і бактеріопланктон, зазнає впливу експлуатаційних параметрів штучних водотоків.

Доведено, що бактеріопланктон та бактеріоперифітон відіграють провідну роль в деструкції органічної речовини у воді досліджених річок і каналів. Частка бактеріопланктону в загальній деструкції органічної речовини планктоном в річках і каналах складає 70-100%. Між інтенсивністю деструкційних процесів та вмістом бактеріопланктону, концентрацією органічної речовини, температурою води виявлено тісний позитивний зв'язок. Внесок бактеріоперифітону в деструкцію органічної речовини перифітонним угрупованням сягає 80-87% і залежить від концентрації перифітону, вмісту у воді лабільних органічних сполук, гідродинамічного чинника. Частка бактеріоперифітону в загальній деструкції органічної речовини біотичними угрупованнями в екосистемах водотоків досягає 11-19%.

Для характеристики активності деструкції органічної речовини бактеріопланктоном і бактеріоперифітоном запропоновано кількісний критерій - коефіцієнт бактеріальної деструкції; встановлено закономірності його динаміки та кількісно оцінена залежність від різних екологічних чинників (насамперед, гідрологічного режиму, складу органічних речовин, густоти заростей вищих водяних рослин тощо).

Запропоновано використання властивості бактеріопланктону швидко адаптуватись до змін середовища шляхом перебудови його структурно-функціональної організації, як чутливого індикатора стану екосистеми водотоку, стійкості в умовах антропогенного забруднення.

Встановлені закономірності бактеріальної деструкції органічної речовини в лотичних екосистемах, кількісні параметри і характер зв'язків цього процесу з екологічними чинниками, що впливають на нього, використані як вихідна база даних для розробки прогнозів стану і функціонування техногенно трансформованих лотичних екосистем.

Наукова новизна і теоретичне значення роботи. Встановлені основні екологічні чинники, що визначають розвиток, просторову та часову динаміку бактеріопланктону і деяких еколого-трофічних груп бактерій в різних лотичних екосистемах. На цій основі вперше виконано поівняння цих параметрів та процесів у природних і штучних водотоках - річках і каналах. Дано характеристику процесу окислення органічної речовини бактеріопланктоном в екосистемах різних водотоків.

Вперше вивчено та встановлено закономірності формування бактеріоперифітону на вищих водяних рослинах в водотоках. Кількісно оцінена деструкція органічної речовини бактеріоперифітоном, отримані коефіцієнти, що характеризують інтенсивність даного процесу в залежності від ступеня розвитку перифітону, концентрації лабільної органічної речовини, гідодинамічного чинника.

За допомогою методу "доза-реакція" виявлена можливість використання таких мікробіологічних показників, як динаміка чисельності бактеріопланктону, співвідношення деяких еколого-трофічних груп бактерій, інтенсивність дихання, енергетичний коефіцієнт та інш. для ранньої діагностики змін в екосистемі водотоку в результаті антропогенної дії, оцінки стійкості еко-

системи до різного за ступенем та складом антропогенного навантаження.

На основі встановлених закономірностей деструкції органічної речовини сформульовано теоретичні засади впливу на даний процес та намічені підходи до управління бактеріальними процесами самоочищення води в лотичних екосистемах.

Практична цінність роботи. Отримані матеріали є необхідною основою для розв'язання таких практичних завдань природоохоронного та господарського значення: організації гідроекологічного моніторингу, мікробіологічної індикації стану та стійкості водних екосистем; розробки заходів щодо захисту водних об'єктів від забруднення з використанням екологічних механізмів (наприклад, застосування біоплато); розробки науково обґрунтованих прогнозів функціонування екосистем водотоків при проектуванні та реалізації гідротехнічного будівництва.

Матеріали роботи увійшли до гідроекологічного прогнозу будівництва каналу Дніпро-Донбас, використані при розробці експериментального водоохоронного комплексу на даному каналі. Результати досліджень використані в екологічній оцінці проектів гідротехнічного будівництва в басейні р. Кубань та перекриття Дніпровсько-Бузького лиману морезагороджувальною греблею.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались на VI та VII наукових конференціях молодих вчених Інституту гідробіології НАН України (Київ, 1981, 1982); на V і VI Всесоюзних лімнологічних нарадах (Лиственничное на Байкале, 1981, 1985); на VII Всесоюзному симпозиумі по сучасним проблемам прогнозування, контролю якості води та озонування (Таллін, 1985); на XIX конференції по біологічним основам рибного господарства водойм Середньої Азії і Казахстану (Ашхабад, 1986); на VII з'їзді Українського

мікробіологічного товариства (Чернівці, 1989); на науково-методичній екологічній конференції по методам дослідження та використання гідросистем (Рига, 1991).

Результати роботи також були представлені на 25-й робочій нараді Міжнародного товариства по дослідженню Дунаю (Братіслава, 1985); на IV Міжнародному симпозиумі по гідромікробіології (Братіслава, 1987); на 27 і 31 Міжнародних конференціях лімнологів придунайських країн (Нови Сад, 1989; Байя, 1996).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 42 роботи, в тому числі колективні монографія "Гидробиология каналов Украинской ССР" (Київ, 1990) і брошура "Управление состоянием экосистемы и качеством воды в устьевом участке Днепра" (Київ, 1996).

Об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, шести глав, висновків та списку літератури. Робота викладена на 230 сторінках машинописного тексту, ілюстрована 50 таблицями та 68 малюнками. Список літератури налічує 303 найменування. Загальний об'єм рукопису складає 348 сторінок.

ЗМІСТ РОБОТИ

1. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ.

В основу дисертації покладені матеріали польових та лабораторних досліджень, виконаних автором за період з 1974 по 1996 рр. в Інституті гідробіології НАН України. Об'єкти досліджень: ріки Кубань та її притоки (Аксаут, Великий і Малий Зеленчуки), Дунай, Сіверський Донець; канали Північно-Кримський, Дніпро-Кривий Ріг, Дніпро-Донбас, Дунай-Сасик та деякі інші водні об'єкти.

Основний масив польових даних одержано у ході проведення 43-х комплексних експедицій, з яких дві були міжнародними - по Дунаю (березень 1988, вересень 1990 р.).

Експериментальні роботи виконувались в лабораторії Інституту гідробіології НАН України з використанням лабораторних моделей водотоків та в умовах польових стаціонарів.

При виконанні роботи були використані методи водної мікробіології, гідробіології та гідрохімії.

Загальну чисельність бактерій у воді і донних відкладах визначали за загально прийнятими методами (Родина, 1965), в перифітоні - в змивах з макрофітів на мембранних фільтрах Синпор N 6. Диференційований кількісний облік агрегованого бактеріопланктону (бактеріальних мікроколоній та бактерій, асоційованих з завислими у воді речовинами) проводили за методом Л.П.Спіглазова (1983). Функціональні показники бактеріопланктону - константу швидкості розмноження бактерій, їх час генерації - визначали за Д.З.Гак (1975). Для обліку сапрофітних бактерій використовували метод глибинного посіву на МПА і молочний агар (Родина, 1965; Олійник та інш., 1972). Одночасно на молочному агарі підраховували бактерії з протеолітичними властивостями. Облік амілолітичних бактерій проводили на крохмальному агарі. Кількість нітрифікуючих бактерій I-ї фази визначали методом титрів на середовищі Виноградського (Родина, 1965), денітрифікуючих - на агаризованому середовищі Гільтая (Романенко, Кузнецов, 1974). Олігокарбофільні (оліготрофні) бактерії підраховували на голодному агарі, бактерії групи кишкової палички (БГКП) - на мембранних фільтрах, які пророщували на середовищі Ендо (Унифицированные методы изучения качества воды, 1977).

Каталазну активність перифітону і донних відкладів визначали перманганатометричним методом (Аристовская и др., 1962).

Загальну і бактеріальну деструкцію органічної речовини у воді вивчали склянковим кисневим методом (Романенко, Кузнецов, 1974; Дрбкова, 1981). Виконано серію експериментів по модифікації та відпрацюванню методичних прийомів щодо вивчення деструкції органічної речовини бактеріоперифітоном.

Визначення мінеральних форм азоту і фосфору, перманганатної та біхроматної окислюваності води, концентрації розчиненого кисню, БСК проводили за стандартними методами (Унифицированные методы анализа вод, 1971).

Для кількісної оцінки ролі бактеріопланктону і бактеріоперифітому в деструкції органічної речовини різного складу і походження (в т.ч. вищих водяних рослин) крім натурних дослідів виконано три серії експериментів на лабораторних моделях водотоків. Вплив бактеріального розкладу вищих водяних рослин на вміст у воді органічної речовини вивчали також в акваріумах та герметично закритих склянках; проведено 10 серій дослідів.

Гетеротрофну асиміляцію CO_2 у воді при розкладі макрофітів визначали за методом В.І.Романенка і С.І.Кузнецова (1974), бактеріоперифітоном - за В.М.Кудрявцевим (1983). Оптичну щільність води вимірювали на спектрофотометрі Specord UV VIS в ультрафіолетовій частині спектру при довжині хвиль 240-330 нм.

При аналізі одержаних даних застосовували методи біологічної статистики (Плохинский, 1970; Рокицкий, 1973).

2. МОРФОМЕТРИЯ, ГІДРОЛОГІЯ ТА ГІДРОХІМІЯ ДОСЛІДЖЕНИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

У главі викладено літературні та власні дані щодо основних морфометричних, гідрофізичних і гідрохімічних характеристик досліджених рік та каналів як абіотичної

складової, що впливає на формування та діяльність бактеріопланктону і бактеріоперифітону.

3. ЗАКОНОМІРНОСТІ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ БАКТЕРІОПЛАНКТОНУ І БАКТЕРІО-ПЕРИФІТОНУ В ЛОТИЧНИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Структурні і функціональні характеристики бактеріального населення в екосистемах різних лотичних водних об'єктів мають як загальні закономірності, так і свої особливості, що обумовлені типом водного об'єкту, дією зовнішніх та внутрішньоводійомних чинників.

3.1. Бактеріопланктон

На вміст, розподіл та метаболізм бактеріопланктону в водотоках суттєво впливають особливості їх водного режиму, внутрішньоводійомні процеси, антропогенне забруднення.

В річках Кубані та її притоках сезонні коливання загальної чисельності бактеріопланктону (0,9-29,5 млн. кл/мл) визначаються фазою водності, яка зумовлює мутність води. Максимальні значення бактеріопланктону реєструються в період паводку (липень), під час надходження з теригенним стоком великої кількості алохтонної мікрофлори. В цей час 34-84% бактеріопланктону знаходиться в асоціаціях з завислими речовинами. Мінімальні показники бактеріопланктону в Кубані і Малому Зеленчуці відмічаються в осінню межень (вересень) - 2,6-8,6 млн. кл/мл, в Аксауті та Великому Зеленчуці - після закінчення зимової межені (квітень), складаючи 0,9-3,4 млн. кл/мл. У квітні на ріках розпочинається повінь, охоплюючи спочатку більш низькі ділянки Кубані і Малого Зеленчука, і обумовлює зниження прозорості води в них до 5-40 см (за диском Секкі); в цей час процес танення снігу ще не охоплює

високогірські ділянки Ансауту і Великого Зеленчука і в них ще зберігається висока прозорість води - до дна (табл. 1).

Таблиця 1

Чисельність бактеріопланктону в досліджених ріках

Ріка, рік	Загальна чисельність бактерій, млн. кл/мл			Сапрофітні бактерії (на МПА), тис. Кл/мл			БГКП, тис. кл/л		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Кубань, 1989-1990	10,0	17,2	5,5	5,8	2,5	3,7	20	8	13
Аксаут, - " -	1,8	8,1	2,3	0,7	1,8	0,5	7	8	4
Малий Зеленчук, - " -	5,9	17,2	5,4	2,3	3,5	1,5	19	12	5
Великий Зеленчук, - " -	2,4	4,2	3,8	1,0	1,3	0,9	15	7	8
Дунай, 1988, 1990	4,8	-	2,4	5,4	-	44,6	71	-	67
Сіверський Донець, 1989	5,0	2,8	2,9	1,8	3,1	1,8	9	22	-

Примітка: 1 - весна, 2 - літо, 3 - осінь.

Сезонна динаміка чисельності сапрофітних бактерій в річках (0,3-11,6 тис. кл/мл) дещо інша, ніж бактеріопланктону в цілому. У притоках Кубані вона досягає максимуму в паводок (0,9-4,0 тис. кл/мл), мінімуму - в осінню межень (0,3-2,4 тис. кл/мл). У водах Кубані чисельність сапрофітних бактерій найменша в паводок, помітно зростає в осінню межень і досягає максимуму навесні. Отже в Кубані восени і навесні в умовах більш низької, ніж в паводок, водності виразно проявляється дія антропогенного чинника, який і обумовлює підвищення вмісту сапрофітних бактерій. В цей час помітних величин в річці досягає також кількість БГКП - 18-25 тис. кл/л.

З фазою водності рік тісно пов'язаний і вміст в їх водах органічної речовини (ОР). Велике значення для розвитку бактерій має якісний склад ОР, зокрема концентрація

біохімічно активної, показником якої може бути БСК_{повн} (Драбкова, 1981; Марголина, 1989; Олейник, 1989). В Кубані та її притоках виявлено чітку позитивну залежність чисельності бактеріопланктону і сапрофітних бактерій від величини БСК_{повн}.

Загальна деструкція ОР у водах Кубані і її приток за вивчений період коливалась в межах 0,05-1,80 мг О₂/лдобу. Найбільш високі показники реєструвались в Кубані, найменші - в Аксауті. В сезонному аспекті деструкція ОР в річках досягала максимуму в літній (паводковий) період, мінімуму - навесні. Виявлено позитивний зв'язок між деструкцією і кількістю бактеріопланктону ($r = 0,62$), а також між деструкцією і БСК_{повн} ($r = 0,63$). Процеси розкладу ОР у воді річок пов'язані, головним чином, з діяльністю бактеріопланктону, частка якого становить 97-100% загального споживання кисню планктонним угрупованням.

У р. Дунай чисельність бактеріопланктону та її сезонні зміни пов'язані, як і в р. Кубань, з режимом водного стоку, а через нього - з мутністю води. Під час весняного паводку (березень) мутність води в Дунаї була, в середньому, в 3, а загальна чисельність бактерій (2,7-8,8 млн. кл/мл) - в 2 рази більшою, ніж в осінню (вересень) межень (1,6-4,5 млн. кл/мл) (див. табл. 1). Мутність води впливає також на структуру бактеріопланктону, його агрегований компонент, включаючи бактерії на завислих речовинах. Чисельність агрегованих бактерій в паводок становила 38-65, у межень - 12-27% загальної кількості бактеріопланктону. На просторовий розподіл бактеріопланктону впливає швидкісний режим потоку, який в Дунаї досить нерівномірний. На ділянках з уповільненою течією води, зокрема у водосховищі Джердап-1, внаслідок часткової седиментації завислих речовин, чисельність бактеріопланктону помітно зменшується.

На вміст сапрофітних бактерій у воді Дунаю суттєво впливають антропогенне забруднення, фаза водного режиму, температура води. В весняний паводок їх чисельність (в середньому, 5,4 тис. кл/мл) була майже на порядок меншою, ніж в осінню межень. Восени, в умовах низької водності ріки і значно вищої температури води (13-21°C), ніж навесні (3-6°C), дія антропогенного чинника на кількість сапрофітних бактерій значно посилюється. Незалежно від сезону розподіл сапрофітних бактерій по довжині ріки характеризується високою амплітудою коливань, значним локальним підвищенням їх кількості (до 23-234 тис. кл/мл) на ділянках біля великих міст. Про наявність постійного у часі і сильного антропогенного впливу на ріку свідчать також показники індексів лактозопозитивних кишкових паличок (ЛКП) і *Escherichia coli*, які досягають 240-700 тис. кл/л (Бей и др., 1993).

З фазою водності ріки та сезоном року пов'язані суттєві відмінності і у швидкості розмноження бактерій в дунайських водах. Під час весняного паводку в умовах низької температури води час генерації бактерій змінювався від 21 до 281 години (становлячи, в середньому 62 год). В цілому, швидкість розмноження бактерій була меншою на верхній ділянці Дунаю (від Відня до водосховища Джердап-1), де внаслідок активного розвитку паводку у воду надходила велика кількість малоактивної мікрофлори. В осінню межень час генерації бактерій складав 11-30 год. (в середньому, 17 год.). Більш тривалим він був, як і навесні, у верхній ділянці ріки, де відмічались найбільш високі показники чисельності та біомаси фітопланктону, головним чином діатомових водоростей, які могли інгібувати розмноження бактерій ($r = - 0,53$).

Серед чинників, що впливають на інтенсивність деструкційних процесів у воді Дунаю, суттєве значення мають чисельність бактеріопланктону, температура води і вміст

біохімічно лабільної ОР. Так, в осінню межень між показниками загальної деструкції ОР (0,14-1,58 мг O_2 /лдобу) і БСК_{повн} виявляється сильний позитивний зв'язок ($r = 0,89$). Залежність між деструкцією і загальною кількістю бактерій була значно слабшою ($r = 0,31$), оскільки на інтенсивність деструкції на різних ділянках ріки впливали коливання температури води.

В р.Сіверський Донець чисельність бактеріопланктону на протязі вегетаційного періоду знаходилась в межах 1,8-7,5 млн. кл/мл) (див. табл.1). Рівень його вмісту був обумовлений режимом водності ріки; в період весняної повені відмічались максимальні показники. Антропогенне забруднення спричиняло високу загальну чисельність бактерій на ділянках ріки нижче промислових центрів. Кількість і просторовий розподіл сапрофітних бактерій (0,2-8,7 тис.кл/мл) та БГКП (0,2-83,0 тис.кл/л) обумовлювались антропогенним забрудненням ріки та її температурним режимом. Комплексний вплив вказаних чинників сприяє максимальному розвитку сапрофітних бактерій і БГКП влітку. Стічні води, що надходять в річку, є основною причиною нерівномірності просторового розподілу цих мікроорганізмів, локального підвищення їх чисельності на ділянках біля міст.

На протязі вегетаційного періоду час генерації бактеріопланктону у Сіверському Дінці становив 15-52 год. Найбільш довготривалим він був в осінній період, коли температура води суттєво зменшувалась.

В умовах слабого розвитку фіто- і зоопланктону провідна роль в деструкції ОР у воді Сіверського Дінця належить бактекріопланктону. Його внесок в загальну деструкцію ОР планктонним угрупованням сягає 94-99%. Сезонна динаміка показників деструкції (0,3-2,4 мг O_2 /лдобу) пов'язана з температурним режимом та антропогенним забрудненням ріки. Максимуму вона досягала влітку, мінімуму - восени. На

нижній, найбільш забрудненій ділянці ріки в усі сезони відмічались найвищі значення деструкції. Висока концентрація у воді фосфатів, як один із наслідків антропогенного забруднення ріки, може гальмувати деструкційні процеси. Виявлено, що з підвищенням у воді Сіверського Дінця вмісту фосфатів деструкція ОР знижується.

В каналах чисельність та сезонна динаміка бактеріопланктону визначаються його вмістом у воді, що надходить із джерел водопостачання - річок і водосховищ. З річок в канали найбільш висока кількість бактеріопланктону надходить навесні, в період паводку. Наприклад, в канал Сіверський Донець-Донбас з р. Сіверського Дінця навесні вноситься 5,3-16,4 млн. кл/мл бактерій, а в канали, що беруть початок із водосховищ, в 2-8 разів менше. Однак, влітку в канали водосховищного живлення, при значному розвитку в водоймах фітопланктону, надходить в 3,5-5 разів більше бактерій, ніж навесні. Сезонна динаміка чисельності сапрофітних бактерій у воді, що надходить в канали із рік та водосховищ, має літній максимум та весняний і осінній мінімуми. Наприклад, влітку в канал Сіверський Донець-Донбас надходить 1,0-4,8, Дніпро-Кривий Ріг - 1,6-3,6 тис. кл/мл. Навесні і восени їх чисельність знижується в 3-4 рази. В літній період кількісному розвитку сапрофітних бактерій сприяють оптимальна температура води та її збагачення на лабільну ОР.

На вміст і розподіл бактеріопланктону по трасі каналів суттєво впливають внутрішньоводоймні чинники, серед яких одним із провідних є фітопланктон. В каналах річкового живлення вплив фітопланктону на чисельність і функціонування бактеріопланктону виразно виявляється ранньою весною і пізньої осені, в періоди масового розвитку діатомових водоростей. Фізіологічно активні водорості пригнічують розмноження бактеріопланктону, а їх відмирання та розклад, навпаки

сприяють збільшенню кількості бактерій. В каналах, що живляться з водосховищ, вплив фітопланктону на вміст і розподіл бактеріопланктону найбільш відчутний влітку, в періоди надходження із водню великих мас синьозелених водоростей. Під дією насосних станцій та зростаючої швидкої течії води фітопланктон в каналах пошкоджується, осідає на дно і піддається розкладу уже на початкових ділянках. Внаслідок цього далі по трасі підвищується концентрація ОР і зростає чисельність бактеріопланктону.

Бактеріопланктону в каналах належить провідна роль у деструкції ОР в воді (70-98% загальної деструкції планктоном). Лише в періоди масового розвитку фітопланктону величини добового дихання водоростей та бактерій приблизно однакові. Бактеріальна деструкція залежить від температури води і вмісту в ній ОР. Ранньою весною вона, як правило, мінімальна - 0,1-0,3 мг O_2 /лдобу. Влітку, з підвищенням температури води споживання кисню зростає до 0,3-0,8 мг O_2 /лдобу, а при надходженні в канали із водосховищ фітопланктону - збільшується до 1,5 мг O_2 /лдобу.

3.2. Бактеріоперифітон на вищих водяних рослинах.

Дослідження прісноводного перифітону, в тому числі на вищих водяних рослинах, проводяться уже тривалий час, за який з'явилися узагальнюючі праці (Протасов, 1984, 1994); однак лише незначна частина робіт присвячена вивченню чисельності та метаболізму перифітонних бактерій (Антипчук, 1974; Кудрявцев, 1978, 1983; Hossell, Baker, 1979; Allen, Ocevski, 1982; Инкина, 1983 та інш.).

В каналах України на формування та вміст бактеріоперифітону впливають чинники, що мають значення для розвитку бактеріального населення штучних водотоків в цілому: вид джерела живлення (водосховище, ріка), особливості

процесів, що протікають в самих каналах. Бактеріоперифітон пов'язаний з субстратом-рослиною, вид та фізіологічний стан якої впливають на вміст та метаболізм бактерій.

В каналах водосховищного живлення, наприклад, Північно-Кримському, чисельність бактеріоперифітону на вищих водяних рослинах різних видів (очереті, рогозі, рдеснику) в літній період становила 195,2-399,6 млн. кл/г вологої маси рослини і не мала вираженої залежності від виду макрофіта. Кількість сапрофітних бактерій у перифітоні повітряно-водяних рослин складала 0,4-1,3 млн. кл/г і була в 1,7-5 разів вищою, ніж у занурених. В сезонній динаміці бактеріоперифітону (на прикладі очерета звичайного) відзначається підвищенням його загальної чисельності влітку та деяке зниження весною і восени. Динаміка сапрофітних, в т.ч. протеолітичних та амілолітичних бактерій характеризується статистично достовірним підвищенням їх кількості від весни до осені. Літній підйом вмісту вказаних мікроорганізмів обумовлювався підвищенням температури води, осінній максимум - початком відмирання та розкладу рослин.

В каналі Дніпро-Кривий Ріг, що також живиться з водосховища, загальна чисельність бактерій в перифітоні рослин різних видів влітку становила 221,4-441,2 млн. кл/г. Більш високою була вона у перифітоні занурених рослин (рдесника, куширя), в порівнянні з повітряно-водяними (очеретом, рогозом). Вміст сапрофітних бактерій складав 2,6-44,6 млн. кл/г. Як і в Північно-Кримському каналі, кількість цих бактерій на занурених рослинах була значно нижча, ніж на повітряно-водяних.

В каналах річкового живлення, наприклад, у каналі Сіверський Донець-Донбас, навесні на чисельність бактеріоперифітону впливає висока мутність води, яка обумовлена надходженням паводкових вод із ріки. Загальна кількість

бактерій на поверхні рослин досягала 2360 млн. кл/г. Влітку вона утримувалась на рівні 610,0-1583,1 млн. кл/г, восени, при значному зниженні температури води, зменшувалась до 127,0-441,2 млн. кл/г. На сезонну динаміку кількості сапрофітних бактерій впливають мутність і температура води, фізіологічний стан рослин. Весною і влітку їх вміст в перифітоні рослин різних видів змінювався в межах 0,5-60,8 млн. кл/г і характеризувався більш високими показниками, ніж восени. Амілолітичні бактерії досягали максимальної кількості влітку - 0,1-1,1 млн. кл/г. Влітку і восени загальна чисельність бактерій була, як правило, вища на занурених рослинах, а кількість сапрофітних та амілолітичних бактерій - на повітряно-водяних, що, як уже відмічалось, було характерно і для каналів водосховищного живлення.

Порівняльний аналіз вмісту бактеріоперифітону в каналах в літній період на основі узагальнення значень для трьох макрофітів (очерет, рогоз, рдесник), показує, що різниця в загальній чисельності бактерій між водотоками складає 3-13, кількості сапрофітних бактерій - 5-9 разів і обумовлена, головним чином, неоднаковим вмістом у воді каналів завислих речовин автохтонного та алохтонного походження.

Підсумовуючи результати досліджень бактеріоперифітону в каналах, слід зазначити, що вплив виду рослини на загальну чисельність перифітонних бактерій не завжди чітко виявляється. Більш високий вміст бактеріоперифітону притаманний зануреним рослинам, які затримують на своїй поверхні багато завислих речовин. Чисельність сапрофітних і амілолітичних бактерій в більшій мірі визначаються видом рослини, або належністю її до певного екологічного угруповання. В каналах виявляється закономірність більш високого їх вмісту в перифітоні повітряно-водяних рослин, в порівнянні з зануреними. Однією з причин меншої чисельності бактерій на занурених

рослинах може бути пригнічення бактерій водоростями, які більш інтенсивно розвиваються в перифітоні цих макрофітів. Бактерицидні властивості водоростей щодо гетеротрофної мікрофлори води (Винберг, Сивко, 1956; Телитченко, Федоров, 1962) очевидно притаманні і альгоперифітону рослин. Належність рослини до певного екологічного угруповання позначається і на чисельності в перифітоні БГКП. Так, в каналі Дніпро-Кривий Ріг влітку кількість БГКП в перифітоні очерета і рогоза (80-1350 кл/г) була на 2-3 порядки меншою, ніж у перифітоні рдесника і водопериці; деякі рослини зокрема, очерет, можуть виділяти метаболіти, які інгібують розвиток БГКП (Seidel, 1969, 1971; Zimmermann, 1973).

Загальна чисельність бактерій в перифітоні макрофітів нерідко сягає величин, які реєструються в донних відкладах, що вказує на високу потенційну роль бактеріоперифітону в продукційно-деструкційних процесах у водних об'єктах. Про це також свідчить каталазна активність перифітону рослин. В каналах України її величини визначаються належністю макрофіта до певного екологічного угруповання і пов'язані з співвідношенням автотрофного і гетеротрофного компонентів перифітону в різні сезони. Каталазна активність перифітону занурених рослин (6,5-15,9 мг H_2O_2 /ггод.), який характеризується більш високою чисельністю бактерій і водоростей, вища за властиву перифітону повітряно-водяних макрофітів (1,0-10,1 мг H_2O_2 /ггод.). Навесні та восени між загальною кількістю бактерій в перифітоні та його каталазною активністю виявлено сильний позитивний зв'язок ($r = 0,60-0,80$); влітку він значно слабший ($r = 0,25-0,58$), бо ферментативна активність в значній мірі визначається іншими компонентами перифітону. Для порівняння зазначимо, що в донних відкладах каналів з чисельністю бактерій 2,7-31,0 млрд. кл/г вологого ґрунту каталазна активність становила 4,0-22,0 мг H_2O_2 /ггод. Отже є підстава

стверджувати, що окислювальні процеси в перифітоні рослин протікають не менш активно, ніж в донних відкладах каналів.

4. БАКТЕРІАЛЬНА ДЕСТРУКЦІЯ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ В РІКАХ ТА КАНАЛАХ

4.1. Деструкція органічної речовини у воді відкритих ділянок водотоків

Загальне споживання кисню планктоном (наприклад, за добу) - це сума дихання бактеріо-, фіто- і зоопланктону. Питоме дихання бактеріопланктону можна визначити у воді, профільтованій через попередній фільтр (відокремивши фіто- і зоопланктон), що дає можливість подальше розрахувати витрати кисню на дихання всього бактеріопланктону в натуральній, нефільтрованій воді (Драбкова, 1981). Внесок фіто- і зоопланктону в загальне дихання планктонного угруповання розраховується за їх питомими показниками дихання, що наводяться в літературі (Приймаченко, 1978, 1981; Галковская, 1980; Сущеня, 1972; Оксик, Стольберг, 1986). Загальне дихання планктону, одержане прямим визначенням у водоймі, може виявитись значно вищим, ніж деструкція, розрахована підсумованням витрат кисню на дихання бактеріо-, фіто- і зоопланктону, одержаних за їх питомими показниками. Трапляються і такі випадки, коли при прямих вимірах загальне дихання бактеріопланктону у фільтрованій воді значно перевищує споживання кисню усім планктонним угрупованням в натуральній (Олейник, Якушин, 1983; Потапова, 1993; Башмакова, 1985). На основі власних матеріалів дається аналіз причин таких розходжень, міркування щодо реальної і потенційної деструкції ОР бактеріопланктоном.

При високій концентрації у воді ОР (БСК₅ 3,5-6,5 мг O₂/л), значному вмісті завислих речовин та бактеріопланктону (в

середньому, 8,6 млн.кл/мл), як це спостерігалось влітку в каналі Дунай-Сасик, величина загальної деструкції ОР планктоном, одержана прямим вимірюванням, становила, в середньому, 2,9 мг O_2 /лдобу. Дихання однієї бактеріальної клітини у фільтрованій воді дорівнювало $0,22 \cdot 10^{-9}$ мг O_2 /добу. При такому питомому споживанні кисню весь бактеріопланктон (в натуральній воді) витрачав за добу, в середньому, 1,63 мг O_2 /л, що складало близько 57% загального споживання кисню планктоном, одержаного прямим вимірюванням. Розрахунковим методом встановлено, що внесок фіто- і зоопланктону в загальне споживання кисню планктонним угрупованням становив 8 і 2%. Сума витрат кисню бактеріо-, фіто- і зоопланктоном дорівнювала 1,93 мг O_2 /лдобу, що було на 33% менше, величин, зареєстрованих прямим вимірюванням витрат O_2 в натуральній воді. На наш погляд, в суммі витрат кисню на дихання різних груп організмів занижено внесок бактеріопланктону, який було одержано, виходячи із питомого дихання бактерій у фільтрованій воді, звільненій від мікроорганізмів, асоційованих з завислими речовинами. Питоме дихання останніх, яке могло бути значно вищим, ніж у вільнозанурених бактерій, не враховувалось при оцінці внеску бактеріопланктону в деструкцію ОР.

При незначній мутності води і концентрації лабільної ОР в межах БСК₅ 1,0-3,2 мг O_2 /л, чисельності бактеріопланктону близько 4 млн. кл/мл, як це спостерігалось на протязі літнього сезону в каналі Дніпро-Донбас, загальна деструкція ОР планктоном, одержана прямим вимірюванням, становила 0,78-0,90 мг O_2 /лдобу. Споживання кисню однією бактеріальною клітиною складало $0,14-0,35 \cdot 10^{-9}$ мг O_2 /добу, а величина добового споживання O_2 бактеріопланктоном в натуральній воді дорівнювала 80-90% загальної.

Слід нагадати, що в наведених матеріалах оцінка внеску бактеріопланктону в загальну деструкцію ОР планктонним угрупованням базувалась на прямому визначенні інтенсивності дихання бактерій у воді водотоків з використанням склянкового кисневого методу (Драбкова, 1981), в якому приймається, що питоме дихання бактерій у воді, звільненій від фіто- і зоопланктону, і натуральній однакове. Прийняття такої умови в деяких випадках викликає сумнів, що можна проілюструвати на прикладі результатів досліджень бактеріальної деструкції в р. Дунай. В Дунаї в осінню межень (1990 р.) в умовах дуже низької водності, при концентрації ОР 0,7-4,3 мг O_2 /л (за БСК₅), вмісті бактеріопланктону, в середньому, 2,4 млн. кл/мл величина загальної деструкції ОР планктоном, одержана прямим вимірюванням, складала, в середньому, 0,53 мг O_2 /лдобу. Витрати кисню на дихання бактеріопланктону у воді, профільтрованої через попередній фільтр (з діаметром пор 4 мкм) зростали майже в 4 рази і становили, в середньому, 2,05 мг O_2 /лдобу. Питоме дихання бактерій дорівнювало, в середньому, $0,56 \cdot 10^{-9}$ мг O_2 /клдобу, а споживання кисню бактеріопланктоном в натуральній воді, одержане на основі питомих показників, становило, в середньому, 1,47 мг O_2 /лдобу. Внесок фітопланктону складав, в середньому, 0,1 мг O_2 /лдобу). Диханням зоопланктону, із-за малого його вмісту в дунайській воді можна знехтувати (Парчук, 1993). Таким чином, сума витрат кисню на добове дихання бактерій і водоростей становила 1,57 мг O_2 /лдобу, що, в середньому, в 3 рази вище величини, отриманої прямим вимірюванням загальної деструкції ОР в натуральній воді Дунаю. Очевидно, споживання кисню бактеріопланктоном у фільтрованої воді (загальне і питоме) відображувало потенційну інтенсивність дихання бактерій. Уяву про реальне споживання кисню бактеріопланктоном в натуральній воді можна одержати по різниці між

загальною деструкцією ОР планктоном, одержаною прямим вимірюванням і диханням фітопланктону, визначеним розрахунковим способом; в цьому випадку внесок бактеріопланктону в загальну деструкцію становить 83, а фітопланктону - 17 %.

Потенційна активність дихання бактерій у фільтрованих пробах дунайської води обумовлюється, на нашу думку, комплексом чинників: зниженням інгібування бактерій фітопланктоном (що мало місце в Дунаї в цей час) і токсикантами на завислих речовинах; донасиченням води киснем під час фільтрування проб, в яких був дефіцит O_2 ; збагаченням води лабільними ОР внаслідок пошкодження клітин водоростей і безхребетних на фільтрах. Не виключено, що в склянках з фільтрованою водою переважного розвитку набували сапрофітні бактерії, чисельність яких у воді Дунаю восени була дуже високою (близько 2% загальної кількості бактерій). Тож ця група мікроорганізмів з високою швидкістю росту могла бути основним споживачем кисню. Відомо, що інтенсивність дихання сапрофітних бактерій може досягати $0,8 \cdot 10^{-9}$, а молодих, швидко зростаючих клітин в культурі - $7,2 \cdot 10^{-9}$ мг O_2 /клдобу (Беяцкая-Потаенко, 1962), що значно вище питомого дихання бактеріопланктону в цілому - переважно, $0,2 \cdot 10^{-9}$ мг O_2 /клдобу (Гак, 1975).

Для оцінки активності деструкції ОР в залежності від дії екологічних чинників нами було застосовано коефіцієнт, який представляє собою величину відношення добової бактеріальної деструкції ОР до $BCK_{повн}$:

$$K_{15} = \frac{R_{15}}{BCK_{повн}},$$

де k_{16} - коефіцієнт деструкції ОР бактеріопланктоном, доба⁻¹; R_{16} - бактеріальна деструкція у воді, мг O_2 /лдобу.

Встановлено, що в лотичних екосистемах значення k_{16} знаходяться в прямій експоненційній залежності від мутності

води і зворотній - від концентрації лабільної ОР. Експоненційний характер зв'язку обумовлений тим, що коливання вмісту лабільної ОР і мутності води не викликають адекватних змін у величині бактеріальної деструкції. В гірських річках, з підвищенням мутності води від 8 до 200 мг/л (при БСК_{повн} у воді в межах 3-5 мг O₂/л) показники k_{16} зростали від 0,15 до 0,5 добу⁻¹. В каналах, з підвищенням БСК_{повн} від 2 до 14 мг O₂/л, значення k_{16} знижувались від 0,4 до 0,08 добу⁻¹.

Коефіцієнт k_{16} був застосований при розрахунках біотичного кругообігу речовин в каналах (Оксиюк и др., 1990).

4.2. Значення бактеріопланктону та бактеріоперифітону в процесах деструкції органічної речовини в заростях вищих водяних рослин

Наявність водообміну між заростями вищих водяних рослин і відкритими ділянками водотоку не дозволяє (в натурних умовах) адекватно оцінити бактеріальні процеси деструкції ОР в зонах заростей.

З метою вивчення впливу біоценозів вищих водяних рослин (та їх компонентів - бактеріопланктону і бактеріоперифітону) на деструкцію ОР різного складу і походження були проведені експерименти на лабораторних моделях водотоків - лотках. Контролем правив лоток без рослин, в дослідному вегетували очерет звичайний, комиш озерний, рогіз вузьколистий, ряска мала. В першій серії експериментів у лотки вносили синьозелені водорості з розрахунку 22-28 мг/л ОР. В процесі їх розкладу в присутності угруповань макрофітів у воді зберігався більш сприятливий кисневий режим, максимальні величини БСК₅ були в 1,3-2,5, кількість сапрофітних бактерій і БГКП - в 1,5-4,6 разів нижча, ніж в контролі; їх значення знижувались до фонових у більш короткий строк. Вміст азоту нітратів, як одного із кінцевих

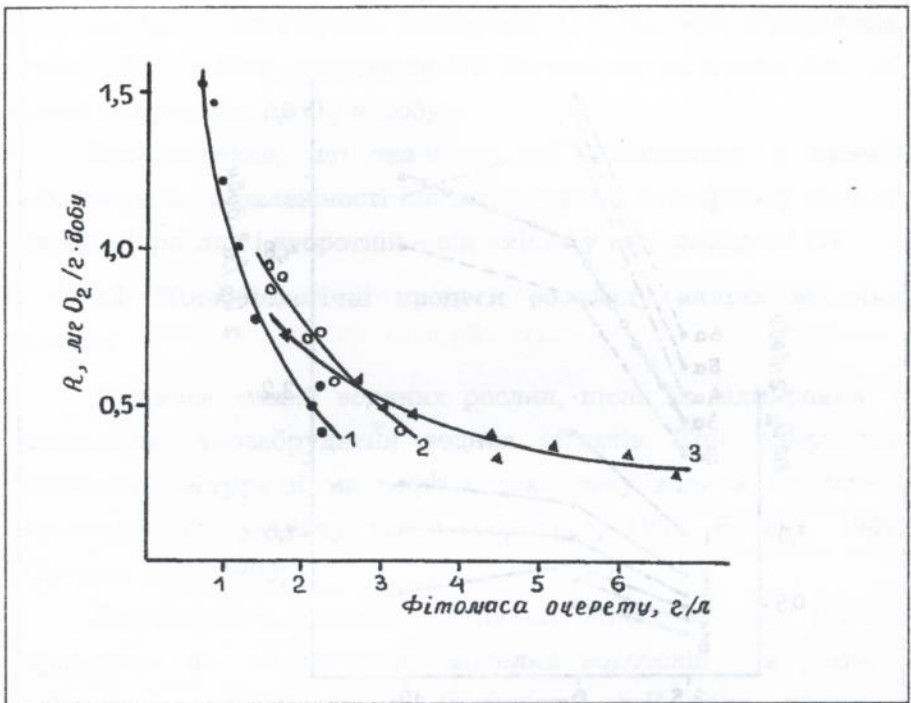
продуктів мінералізації ОР водоростей, у лотку без рослин досягав 6,4 мг N/л, в дослідному - не перевищував 2,4 мг N/л, внаслідок його асиміляції рослинами. Процес розкладу синьо-зелених водоростей - це деструкція завислих і розчинених ОР. Завислі речовини досить швидко осаджувались макрофітами, що сприяло активній діяльності бактеріоперифітону.

Для оцінки значення бактеріоперифітону в деструкції розчиненої ОР в одній серії експериментів в лотки вносили органо-мінеральну суміш (по 50 мг петону і цукру, 20 мг KH_2PO_4 на 1 л води), яка імітувала антропогенне забруднення; в другій - водяну витяжку із сухих синьозелених водоростей (30 мг/л ОР водоростей). При розкладі органо-мінеральної суміші максимальна чисельність сапрофітних бактерій і БГКП у воді лотків реєструвалась вже через добу після внесення субстрату. В наступній дві доби в присутності макрофітів кількість мікроорганізмів знижувалась в 23-50 разів, в контролі - лише в 9-25 разів. Подібні результати були одержані при розкладі ОР витяжки синьозелених водоростей. Зниження у воді числа сапрофітних бактерій до фонового рівня в дослідному лотку відбувалось через 3, в контрольному - через 6 діб після початку експерименту; кількість БГКП на протязі перших 6 діб в лотку з рослинами була в 1,5-7 разів меншою, ніж в контрольному. Більш активна деструкція ОР в дослідному лотку підтверджувалась також динамікою BSK_5 . Отже, в присутності вищих водяних рослин процес деструкції ОР інтенсифікується за рахунок сумісної дії бактеріопланктону та бактеріоперифітону, що призводить до швидкого зниження у воді концентрації ОР та чисельності бактерій. Процеси деструкції ОР в заростях макрофітів в значній мірі локалізуються в просторі, а їх угруповання можна розглядати як природні біофільтри.

Для одержання кількісної оцінки участі перифітону (і його бактеріального компоненту) на вищих водяних рослинах в процесах деструкції ОР вирішувався ряд завдань, в т.ч. методичного характеру: визначення виду залежності деструкції від вмісту перифітону та концентрації ОР у воді заростей рослин; оцінка впливу течії (перемішування) води на інтенсивність деструкції; визначення внеску бактерій в розклад ОР перифітонним угрупованням. Робота проводилась на каналах та річках.

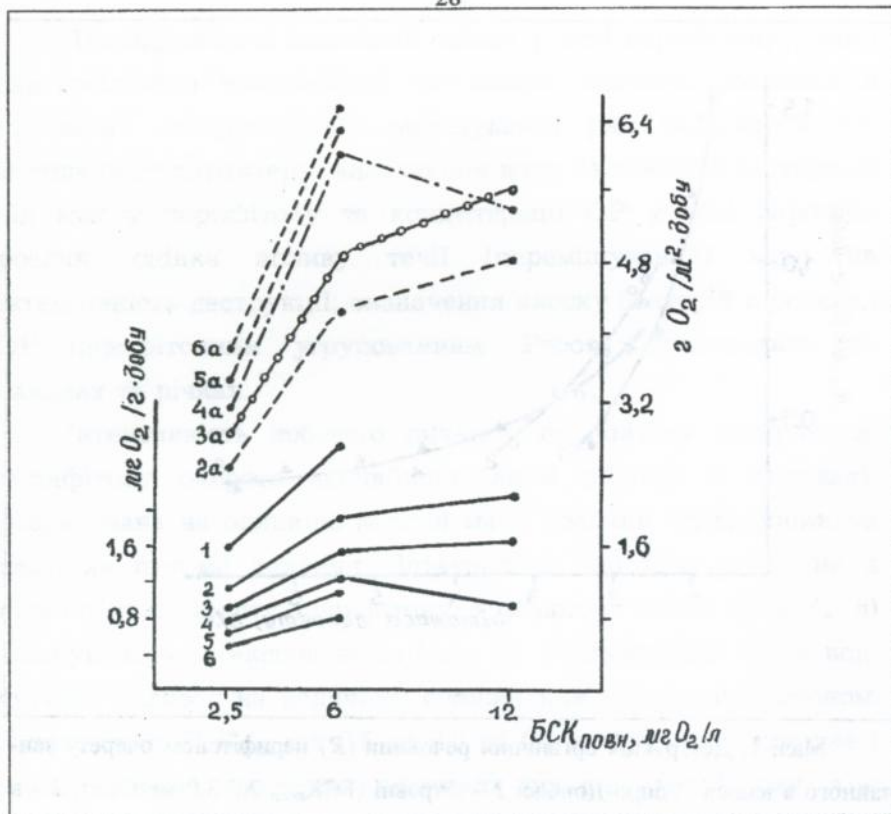
Інтенсивність добового дихання перифітону (наприклад, перифітону очерета звичайного, який домінує в каналах), розрахована на одиницю вологої маси рослини, була прийнята нами як питоме дихання. Встановлено, що його величина з підвищенням вмісту перифітону в заданому об'ємі води (1 л) знижувалась за експонентою (мал. 1). Концентрація ОР у воді суттєво впливає на величину споживання кисню перифітоном. Підвищення БСК_{повн} від 2,5 до 6,0 мг O₂/л обумовлює швидке і майже лінійне зростання питомого дихання перифітону, а в інтервалі від 6 до 12 мг O₂/л - більш повільне. Вплив концентрації ОР на величину питомого дихання послаблюється з підвищенням вмісту перифітону в пробах води (мал. 2). Встановлено також, що при перемішуванні води в порівнянні з статичними умовами величини добового дихання перифітону очерета та інших видів рослин зростають в 1,4-2,6 разів.

Одержані залежності були використані для розрахунку деструкції ОР перифітоном в каналах на 1 м² заростей очерету з різною густотою (фітомасою). У каналі Дніпро-Донбас при вологій масі очерету 8-10 кг/м², його зануреної частини - 2-4 кг/м² і середній глибині 1 м, витрати кисню на дихання перифітону складали 2,4-6,0 г O₂/м²добу, в залежності від вмісту у воді ОР (див. мал. 2). При такій фітомасі рослин основна частина кисню - до 87% витрачається на бактеріальну



Мал. 1. Деструкція органічної речовини (R) перифітоном очерету звичайного в каналі Дніпро-Донбас: 1 - у травні (БСК_{повн} 2.2-3.0 мг O₂/л); 2 - в липні (БПК_{повн} 2.9 мг O₂/л); 3 - в серпні (БСК_{повн} 2.0-2.6 мг O₂/л).

деструкцію; при збільшенні фітомаси макрофітів (вмісту перифітону) на 1 м², частка бактеріоперифітону у загальних витратах кисню зменшується до 43-63%, а його решта йде на дихання водоростей та безхребетних перифітону. Внесок бактеріоперифітону в загальне споживання кисню біотичними угрупованнями (включаючи планктон, перифітон і бентос), сягає: в заростях макрофітів - 60-74%, в екосистемі каналу в цілому - 11-19% і кількісно близький до внеску в деструкційні процеси бактеріобентосу, або фітопланктону (Оксиук и др., 1990). Отже, в лотичних екосистемах з добре розвинутою



Мал. 2. Залежність величини добового дихання перифітону на очереті звичайному від концентрації органічної речовини у воді (за $BPK_{повн}$): 1 - 6 - інтенсивність дихання перифітону ($mg\ O_2/g \cdot добу$) при фітомасі очерету, відповідно від 1 до 6 г/л; 2а - 6а - дихання перифітону на $1\ m^2$ заростей очерету ($г\ O_2/m^2 \cdot добу$) при його фітомасі, відповідно від 2 до 6 $кг/m^2$.

вищою водяною рослинністю бактеріоперифітон є одним із провідних чинників, що обумовлюють процеси самоочищення.

Кількісним показником самоочисної здатності бактеріоперифітону є коефіцієнт k_{36} , який розраховується аналогічно^{к₁₅} за формулою:

$$k_{36} = \frac{R_{36}}{BCK_{повн}},$$

де k_{36} - коефіцієнт деструкції ОР бактеріоперифітном, доба⁻¹; R_{36} - добова деструкція ОР бактеріоперифітоном під 1 м² заростей рослин, мг O₂/м²добу.

Встановлено, що значення k_{36} знаходяться в прямій експоненційній залежності від концентрації перифітону на 1 м² заростей рослин і зворотній - від вмісту у воді лабільної ОР.

4.3. Мікробіологічні процеси розкладу вищих водяних рослин

Фітомаса вищих водяних рослин, після їх відмирання, є джерелом самозабруднення водних об'єктів. Тож з'ясування значення деструкції макрофітів для стану водних екосистем привертає безсумнівну увагу (Горбунов, 1953; Белова, 1989; Оксикюк и др., 1990).

Дослідження процесів деструкції вищих водяних рослин проводили на лабораторних моделях водотоків - в умовах, наближених до природних (наявність течії води, розвиток первиннопродуцентів). В досліджах використовували рослини різних видів, відібрані в кінці вегетації: очерет звичайний і водоперицю колосову у концентраціях 3 г/л вологої, або відповідно, 1,96 і 0,22 г/л сухої маси рослин. Близькі до них питомі концентрації вказаних макрофітів в їх заростях реєструються в каналах України.

Розклад очерету на протязі перших 10 діб супроводжувався збільшенням у воді загальної чисельності бактерій в 1,7-2,3 разів, сапрофітних і БГКП - на порядок, в порівнянні з фоновими величинами, що обумовлено надходженням у воду розчиненої ОР із рослинного матеріалу. Через 27 діб після початку дослідження загальна кількість бактерій, включаючи сапрофітні, наближувалась до фонових показників. Чисельність амілолітичних бактерій досягала максимуму на 83 добу (830 кл/мл). Інтенсивно розвивались бактерії на рослинних

залишках. Максимум їх вмісту спостерігався на протязі перших 27 діб, коли відбувалась мінералізація лабільної ОР: загальна чисельність бактерій становила сотні, сапрофітних - десятки і сотні млн. кл/г вологої маси рослини, вміст БГКП досягав 5,6-7,6 млн. кл/г. Другий підйом відбувався на 41-83 добу, в період активного розкладу рослинних тканин. В цей час найбільших значень досягали амілолітичні бактерії - 1,8-5,3 млн./г. Через 267 діб розкладу втрати сухої маси очерету складали близько 52% початкової.

При розкладі водопериці найбільш суттєве зростання чисельності бактерій у воді відбувалось в перші 15 діб: загальної кількості бактерій - в 1,5-8 разів, сапрофітних, в т.ч. з амілолітичними властивостями, та БГКП - на 2-3 порядки в порівнянні з фоновими величинами, після чого їх вміст досить швидко знижувався. На рослинних залишках загальна чисельність бактерій, а також сапрофітних - досягала сотень млн. кл/г, амілолітичних - близько 3 млн. кл/г, БГКП - 1,4 млн. кл/г. Динаміка гетеротрофної асиміляції CO_2 бактеріопланктоном і бактеріоперифітоном в цілому відповідала змінам їх чисельності. У воді вона коливалась в межах 0,52-3,43 мкг С/л, на рослинних залишках - досягала 14,5 мкг С/г. Через 56 діб втрати сухої маси рослин становили близько 95% початкової.

Аналіз одержаних результатів свідчить про те, що розклад очерету та водопериці проходить в декілька стадій. Перша - обумовлена вимиванням із рослинного матеріалу розчинених у воді органічних та мінеральних сполук (Ваксман, 1929; Кудрявцев, Кудрявцева, 1982; Bastardo, 1979). Судячи по динаміці чисельності бактеріопланктону і бактеріоперифітону, БСК₅, найбільш інтенсивно процес вимивання протікає в перші 3-10 діб. В цей час важлива роль в утилізації лабільної ОР рослин належить сапрофітним бактеріям. Друга стадія визначається активізацією бактеріальних процесів розкладу

рослинної маси, важливу роль в яких виконує бактеріоперифітон. Її тривалість у очерета - до 100 діб, у водопериці - майже до повного розкладу. Третя стадія пов'язана з розкладом важкодоступної ОР і характеризується відносно низькими значеннями і малими коливаннями в часі чисельності бактерій на поверхні рослинних залишків і у воді. Різний хімічний склад використаних в дослідках макрофітів позначався на часі і повноті їх розкладу і визначав різний кількісний розвиток бактерій у воді і на рослинних залишках.

4.4. Вплив розкладу вищих водних рослин на вміст органічної речовини у воді

Розклад фітомаси макрофітів обумовлює підвищення вмісту ОР у воді, погіршення якості води. Дослідами з очеретом, водоперецею, рдесником, проведеними в акваріумах та склянках, встановлено, що при розкладі макрофітів приріст концентрації ОР у воді визначається фітомасою і хімічним складом рослин. Розклад ОР різко гальмується у мікроаерофільних та анаеробних умовах. Приріст БСК₂₀ від розкладу 1 мг очерету, в залежності від екологічних умов його зростання, становив 0,043-0,108, а водопериці і рдесника - 0,20 мг O₂/л. На основі одержаних даних визначили, що в натурних умовах, наприклад в каналі Дніпро-Донбас, розклад повітряно-водних рослин при фітомасі 1108,2 т на 160 км траси може обумовити приріст БСК_{повн} у воді до 0,14, а при максимальній фітомасі - до 0,43 мг O₂/л. Деструкція занурених рослин могла обумовити приріст БСК_{повн} до 0,42 мг O₂/л (Оксюк и др., 1990).

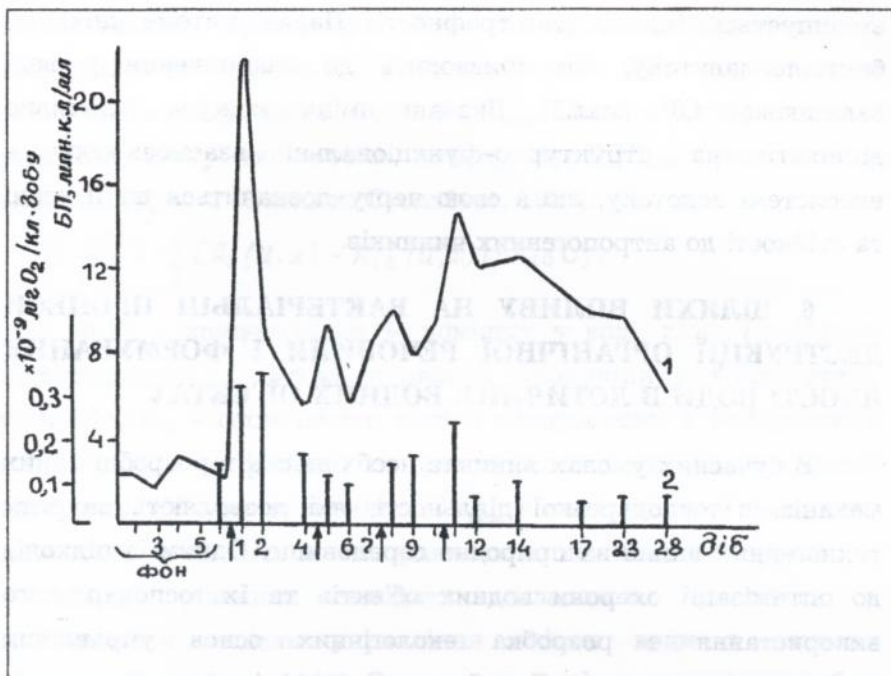
Отримані коефіцієнти можуть бути використані для розрахунків приросту БСК_{повн} при деструкції макрофітів в інших водних об'єктах.

5. ОЦІНКА СТАНУ ТА СТІЙКОСТІ ЛОТИЧНИХ ЕКОСИСТЕМ ЗА МІКРОБІОЛОГІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Зростаючий антропогенний вплив спричинює зміни у стані водних екосистем; порушується їх внутрішня динамічна рівновага, яка підтримується постійною функціональною саморегуляцією її компонентів. Оцінка змін, що відбуваються під дією антропогенних чинників, необхідна для розробки критеріїв їх стійкості, визначення критичних антропогенних навантажень. Така оцінка може бути одержана на основі вивчення реакції найбільш чутливих до антропогенного впливу компонентів біоценозів, зокрема бактеріального.

Методом "доза-реакція" на лабораторних моделях водотоків досліджували реакцію бактеріопланктону на різні концентрації ОР при одно- і багаторазовому її надходженні в систему. Відгук бактеріопланктону на навантаження оцінювали за кінетикою чисельності бактеріопланктону; динамікою кількості та співвідношенням бактерій різних еколого-трофічних груп; питомим диханням бактеріопланктону. Антропогенне забруднення системи імітували концентраціями ОР (мертвих синьозелених водоростей), що дорівнювали 60 і 500 мг/л при одноразовому внесенні в моделі водотоків; по 40 мг/л - при 4-х разовому внесенні з інтервалом у 4 доби.

Невелика одноразова порція ОР спричинює коливання чисельності бактерій з великою амплітудою і коротким періодом. Структурні та функціональні показники бактеріопланктону досить швидко стабілізуються і угруповання виходить на рівень, властивий системі до дії забруднення. Великі дози ОР при одноразовому надходженні в систему обумовлюють велику амплітуду і розтягнутий період коливань чисельності бактеріопланктону. В його складі різко змінюється співвідношення бактерій різних еколого-трофічних груп. Порушується



Мал. 3. Динаміка чисельності бактеріопланктону (БП, 1) і питомого дихання бактерій (2) при 4-х разовому внесенні 40 мг/л органічної речовини (вказано стрілками).

функціонування бактеріопланктону, зокрема знижується його питоме дихання; рівень деструкції не знижується, але темп даного процесу уповільнюється. Через деякий час угруповання бактеріопланктону набуває рівноваги на рівні, близькому до фонового. Однак, на протязі тривалого часу (30 діб після забруднення водотоків) спостерігаються деякі відхилення, зокрема чисельність сапрофітних бактерій значно перевищує фонову.

Найбільш небезпечно навантаження системи дозами ОР (навіть невеликими), що надходять регулярно. При цьому відбуваються стійкі у часі зміни структурно-функціональних показників бактеріопланктону. Посилюється розвиток евтрофних форм і знижується кількість оліготрофних бактерій,

зменшується індекс оліготрофності. Падає питоме дихання бактеріопланктону, що призводить до накопичення у воді залишкової ОР (мал.3). Вказані зміни можуть негативно впливати на структурно-функціональні взаємозв'язки в екосистемі водотоку, що в свою чергу позначиться на її стані та стійкості до антропогенних чинників.

6. ШЛЯХИ ВПЛИВУ НА БАКТЕРІАЛЬНІ ПРОЦЕСИ ДЕСТРУКЦІЇ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ І ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ В ЛОТИЧНИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ

В сучасних умовах виникає необхідність в розробці таких механізмів господарської діяльності, які дозволяють знизити техногенний вплив на природне середовище. Одним із підходів до оптимізації охорони водних об'єктів та їх господарського використання є розробка екологічних основ управління водними екосистемами. Даний напрямок вирішується в рамках інженерної гідробіології (Хендерсон-Селлерс, 1984; Petts, 1984; Йоргенсен, 1985; Окснюк, Стольберг, 1986; Окснюк и др., 1990; Окснюк и др., 1996) і базується на глибокому вивченні механізмів функціонування водних екосистем в умовах дії техногенних чинників.

Розглянемо деякі аспекти управління якістю води в каналах і річках та значення в даному процесі угруповань бактеріопланктону та бактеріоперифітону.

В основі управління якістю води в каналах лежить кількісна оцінка взаємозв'язків абіотичних та біотичних складових їх екосистем, які є засобами управління і параметрами, що управляються (Окснюк и др., 1990). Засобами управління є конструктивні та технологічні параметри каналів, а також інші компоненти абіотичної частини екосистем (швидкість течії, температура, мутність води). Засоби управління дозволяють суттєво впливати на структурно-

функціональну організацію біоти та процеси трансформації забруднюючих домішок, в тому числі ОР, нормативним показником якої може бути $BCK_{\text{повн}}$. В загальному вигляді рівняння стану екосистеми каналу за $BCK_{\text{повн}}$ подається у слідуючій формі (Оксиук, Стольберг, 1986):

$$V \frac{dC_j}{dx} = \sum_i [A_i(u, x) - R_{iB}(u, x)] - k_{iB} C_j,$$

де C_j - концентрація j - домішку у воді, $г/м^3$; i - індекс підсистеми; A_i - валова первинна продукція в i -підсистемі, $г O_2/м^3 \cdot с$; R_{iB} - споживання кисню водоростями в i -підсистемі, $г O_2/м^3 \cdot с$; k_{iB} - коефіцієнт, що описує залежність бактеріальної деструкції ОР від величини $BCK_{\text{повн}}$ в каналі, $1/с$; V - середня швидкість течії, $м/с$; x - координата по довжині каналу, $м$.

Дане рівняння входить складовою частиною в математичну модель управління якістю води в каналах (Оксиук, Стольберг, 1986). Зазначимо, що k_{iB} репрезентує собою коефіцієнт бактеріальної деструкції в i -підсистемі. Зв'язок k_{iB} з чисельністю бактеріопланктону і бактеріоперифітону, концентрацією ОР та деякими іншими чинниками (вид залежності та її кількісна оцінка) викладено нами раніше. Доречно нагадати, що основними агентами деструкції ОР в планктонній підсистемі та підсистемі вищих водяних рослин є бактеріопланктон і бактеріоперифітон, тому у наведеному вище рівнянні k_{iB} є одним із ключових коефіцієнтів щодо визначення стану екосистеми каналу. Управління впливом на екосистему водоток у періоди погіршення якості води реалізується через пригнічення продукційних та активізації деструкційних процесів в його підсистемах шляхом регулювання його технологічного режиму (режиму водоподачі, швидкісного та глибинного). Зокрема, підвищення швидкості води, а отже і її мутності, спричинює зростання показників k_{iB} і k_{36} (бактеріальної деструкції ОР); водно—час пригнічуються

процеси первинного продукування. В екосистемі каналу в цілому активізуються процеси самоочищення.

Прикладом впливу на функціонування екосистем річок та в їх складі окремих угруповань (зокрема бактеріопланктону і бактеріоперифітону) за допомогою інженерних засобів може бути гирлова ділянка Дніпра, яка розташована нижче греблі Каховської ГЕС. В гирловій ділянці нерідко погіршується якість води внаслідок її "цвітіння". В період літньої межени БСК_{повн} може досягати 10-15 мг О₂/л. Динаміка БСК_{повн}, як одного із інтегральних показників стану екосистеми визначається балансом продукційно-деструкційних процесів, які в свою чергу залежать від режиму скидів води через Каховську ГЕС. Доведено, що за допомогою регулювання об'ємів скидів води можна впливати на інтенсивність деструкції ОР бактеріопланктоном і бактеріоперифітоном, співвідношення первинної продукції і деструкції в кожній із підсистем гирлової ділянки (Оксиук и др., 1966). Розрахункові дані свідчать, що із зменшенням скидів води нижче 470 м³/с сумарний приріст ОР у воді гирлової ділянки різко зростає, головним чином, за рахунок посилення процесу її самозабруднення органічною речовиною.

Регулювання об'ємів скидів води із Каховського водосховища в нижній Дніпро може бути одним із ефективних засобів впливу на бактеріальні процеси деструкції та якість води і в Дніпровсько-Бузькому лимані. Аналіз багаторічних даних щодо кисневого режиму, вмісту ОР, балансу продукційно-деструкційних процесів в воді лимана в екстремальний літній період (коли відбувається "цвітіння" води) свідчить про те, що вказані характеристики тісно пов'язані між собою. З іншого боку, виявлено тісний позитивний зв'язок між об'ємами скидів води через Каховську ГЕС та концентрацією кисню в лимані. Влітку, при малих об'ємах скидів (менше 500 м³/с) в товщі води лиману і, особливо, в її придонних шарах

виникає значний дефіцит кисню, який призводить до гальмування деструкції ОР і накопичення у воді залишкової ОР. Встановлення виду та кількісних характеристик залежності деструкції ОР (за $BCK_{\text{повн}}$) від концентрації кисню дозволило нам з'ясувати, що при малих об'ємах скидів води (менше $500 \text{ м}^3/\text{с}$) за рахунок погіршення кисневого режиму, в лимані може недоокислюватись 20-30% ОР, в порівнянні з періодами великих об'ємів скидів. Основна роль у деструкції ОР у воді лимана влітку належить бактеріопланктону - до 70% загальної (Жукинський и др., 1989). Отже, за допомогою регулювання об'ємів скидів води можна впливати на бактеріальні процеси деструкції ОР і формування якості води в лимані.

Одержані результати послуговували вихідною базою даних для створення математичної моделі кисневого режиму та $BCK_{\text{повн}}$, як розрахункової основи для прогнозування та управління якістю води в лимані (Романенко и др., 1990).

ВИСНОВКИ

1. Структурні та функціональні показники бактеріопланктону в ріках визначаються їх водним режимом, антропогенним забрудненням і температурою води. Основним чинником, що впливає на загальну чисельність бактерій, її сезонну динаміку та бактеріальну деструкцію органічної речовини (ОР) є мутність води, яка обумовлюється фазою водного режиму. Компонентний склад бактеріопланктону, вміст окремих груп бактерій визначається в значній мірі антропогенним забрудненням, вплив якого зростає у періоди низької водності рік і підвищення температури води.

2. Просторовий розподіл бактерій у воді рік характеризується, як правило, збільшенням їх кількості вниз за течією і обумовлюється сумарної дією поверхневого стоку, включаючи антропогенну складову.

3. Вміст та сезонна динаміка бактеріопланктону в каналах визначаються впливом джерела водопостачання, внутрішньоводоймними чинниками і процесами. В каналах річкового живлення загальна кількість бактерій досягає максимуму навесні, в період повені на річках; в каналах водосховищного постачання - влітку, внаслідок надходження із водосховищ фітопланктону і його відмирання в водотоках. Чисельність сапрофітних бактерій, її сезонна динаміка та бактеріальна деструкція ОР тісно пов'язані з концентрацією у воді органічних сполук і температурним режимом каналів.

4. Розподіл бактерій у воді по трасі каналів визначається режимом експлуатації водотоків, розвитком і трансформацією в них первиннопродуцентів.

5. Основним агентом деструкції ОР у воді рік та каналів є бактеріопланктон. Його внесок в загальну деструкцію ОР планктонним угрупованням в ріках становить 87-100, в каналах - 70-98%. Інтенсивність деструкційних процесів у воді лотичних екосистем знаходиться в позитивній залежності від чисельності бактеріопланктону, концентрації лабільної ОР, температури води.

6. Кількісним показником впливу екологічних чинників на інтенсивність деструкції ОР бактеріопланктоном в лотичних екосистемах є коефіцієнт k_{16} , чисельно рівний величині відношення добової бактеріальної деструкції до БСК_{повн} у воді; встановлено, що значення k_{16} знаходяться в прямій експоненційній залежності від мутності води і зворотній - від концентрації лабільної ОР. В річках, з підвищенням мутності води від 8 до 200 мг/л, значення k_{16} зростають від 0,15 до 0,5 добу⁻¹. В каналах, із збільшенням БСК_{повн} від 2 до 14 мг O₂/л, показники k_{16} знижуються від 0,4 до 0,08 добу⁻¹.

7. Вміст бактеріоперифітону на вищих водяних рослинах в водотоках залежить від концентрації у воді завислих речовин,

належності субстрату-рослини до певного екологічного угруповання та її фізіологічного стану. На різних макрофітах загальна чисельність бактерій складає 42-2452 млн. кл/г вологої маси рослини, сапрофітних - 0,1-52,6 млн. кл/г, в т.ч. з протеолітичними властивостями - 0,2-35,0 млн. кл/г, амілолітичних - 7-5400 тис. кл/г.

8. Бактеріоперифітон є активним утилізатором ОР з води, внаслідок чого деструкційні процеси в заростях вищих водяних рослин протікають більш інтенсивно, ніж у воді відкритих ділянок водотоків. Між питомою деструкцією ОР перифітоном і вмістом останнього виявляється зворотня експоненційна залежність; показники деструкції зростають із збільшенням БСК_{повн} у воді серед заростей рослин. В умовах турбулентного перемішування води, в порівнянні з статичними, деструкція ОР перифітоном зростає в 1,4-2,6 разів. Внесок бактеріоперифітону в деструкцію ОР перифітонним угрупованням складає 80-87%, в загальну деструкцію ОР біотичними угрупованнями (включаючи планктон, перифітон, бентос) сягає: в заростях рослин - 60-74%, в екосистемі водотоку в цілому - 11-19%.

9. Кількісною характеристикою впливу екологічних чинників на активність деструкції ОР бактеріоперифітоном є коефіцієнт k_{36} , чисельно рівний величині відношення добової бактеріальної деструкції ОР до БСК_{повн}. Значення k_{36} знаходяться в прямій експоненційній залежності від концентрації перифітону на 1 м² заростей рослин і зворотній - від вмісту у воді лабільної ОР.

10. Масове відмирання вищих водяних рослин після закінчення періоду вегетації та їх розклад призводять до самозабруднення лотичних екосистем. Бактеріопланктон і бактеріоперифітон відіграють важливу роль у розкладі макрофітів, процесах самоочищення води. Бактеріальний розклад вищих водяних рослин (очерету звичайного і водопериці колосової)

відбувається в декілька стадій. Перша - тривалістю до 10 діб, обумовлена вимиванням із рослинного матеріалу розчинних у воді ОР і супроводжується найбільшою за період розкладу амплітудою коливань чисельності бактерій різних груп у воді і на поверхні рослин; друга - визначається активізацією мікробіальних процесів розкладу рослинної маси, тривалістю у очерета до 70-100 діб, у водопериці - майже до повного розкладу (56 діб); третя - пов'язана з деструкцією важкодоступної ОР і характеризується відносно низькими значеннями і малими коливаннями у часі кількості бактерій у воді і на рослинних залишках.

11. Приріст $BCK_{\text{повн}}$ у воді від розкладу 1 мг ОР очерету звичайного, в залежності від екологічних умов його вегетування, складає 0,043-0,108, водопериці колосової та рдесника пронизанолистого - 0,20 мг O_2 /л.

12. Бактеріопланктон виявляє високу чутливість та виразну реакцію на антропогенне забруднення екосистеми водотоку шляхом зміни своїх структурно-функціональних показників: загальної чисельності бактерій, співвідношення різних еколого-трофічних груп бактерій, питомого дихання, енергетичного коефіцієнту та інш. Кількісна оцінка цих змін може бути використана як індикатор стану та стійкості екосистеми до антропогенного забруднення.

13. Методом "доза-реакція" на моделях водотоків встановлено, що найбезпечнішим для екосистеми є хронічне навантаження, при якому відбуваються стійкі зміни структурно-функціональних показників бактеріопланктону, уповільнюються процеси деструкції і відбувається накопичення ОР у воді.

14. На основі встановлених закономірностей деструкції ОР бактеріопланктоном і бактеріоперифітоном, а також параметрів, що кількісно характеризують зв'язок між деструкцією і основними чинниками, що її визначають, запропоновані шляхи

впливу на бактеральні процеси самоочищення води в штучних і техногенно трансформованих природних лотичних екосистемах: каналах України та нижній ділянці Дніпра.

Основні роботи, що опубліковані по темі дисертації:

1. Гидробиология каналов Украинской ССР / Оксуюк О.П., Олейник Г.Н., Шевцова Л.В. и др.- К.: Наук. думка, 1990. - 240 с.
2. Управление состоянием экосистем и качеством воды в устьевом участке Днепра / Оксуюк О.П., Тимченко В.М., Полищук В.С. и др. - К.: Изд-е фирмы "Випол", 1996. - 63 с.
3. Якушин В.М. Развитие бактерий среди зарослей и в перифитоне тростника в Северокрымском канале // Гидробиол. журн. - 1978. - 14, N 4. - С. 36-40.
4. Олейник Г.Н., Якушин В.М. Численность бактерий кишечной группы на высших водных растениях каналов УССР // Гидробиол. журн. - 1979. - 15, N 1. - С. 60-63.
5. Якушин В.М. Бактериальная флора и каталазная активность обрастаний высших водных растений // Гидробиол. журн. - 1979. - 15, N 5. - С. 101-102.
6. Оксуюк О.П., Олейник Г.Н., Якушин В.М. Возможность применения биоплато для улучшения качества воды при разложении синезеленых водорослей // Гидробиол. журн. - 1979. - 15, N 5. - С. 49-52.
7. Якушин В.М. Численность бактерий и ферментативная активность грунтов в Северо-Крымском канале // Гидробиол. журн. - 1979. - 15, N 6. - С. 26-29.
8. Оксуюк О.П., Стольберг Ф.В., Олейник Г.Н., Сукач И.С., Якушин В.М., Гусак А.П. Биоплато и его применение на каналах//Гидротехника и мелиорация. - 1980. - N 8. - С. 66-70.
9. Мовчан В.А., Якушин В.М. Динамика численности бактерий и беспозвоночных при разложении урути колосистой в экспериментальных условиях // Гидробиологические исслед.

дования водоемов юго-западной части СССР. - К.: Наук. думка, 1982. - С. 82-84.

10. Олейник Г.Н., Якушин В.М. Изучение деструкции высших водных растений на лабораторных моделях водотоков // Гидробиол. журн. - 1985. - 21, N 1. - С. 20-27.

11. Olejnik G., Jakuschin W., Bakterielle Destruktion organischer Stoffe bei Blaualgen und höheren Wasserpflanzen // 25. Arbeitstagung der Intern. Arbeitsgemeinschaft Donauforschung. Bratislava, 1985. - S. 166-170.

12. Олейник Г.Н., Якушин В.М. Влияние характера ложа каналов на процессы деструкции органического вещества // Гидробиол. журн. - 1987. - 22, N 2. - С. 41-46.

13. Якушин В.М. Влияние высших водных растений на микробиологические показатели качества воды при деструкции растворенного органического вещества // Гидробиол. журн. - 1987. - 23, N 3. - 45-47.

14. Olejnik G., Jakuschin W. Destruktion des organischen Stoffs beim phytogenen Material // IV Intern. Symp. Hydromikrobiol. Bratislava, 1987. - S. 85-93.

15. Якушин В.М. Каталазная активность перифитона на высших водных растениях в каналах // Гидробиол. журн. - 1988. - 24, N 4. - С. 105-106.

16. Олейник Г.Н., Якушин В.М., Цаплина Е.Н. Влияние разложения высших водных растений на содержание органического вещества в воде // Вод. ресурсы.-1988.-N 2. - С. 135-143.

17. Якушин В.М. Численность бактерий и каталазная активность в ризосфере высших водных растений в канале Днепр-Донбасс // Биология внутр. вод. Информ. бюл. - 1988. - N 78. - С. 8-11.

18. Mikhailenko L.E., Yakuschin V.M., Kodner E.I. Bacterioplankton and its productive characteristics in the Danube

in spring // Water pollution control in the basin of the river Danube. - Novi Sad, Yugoslavia, 1989. - P. 385-391.

19. Олейник Г.Н., Якушин В.М. К методике определения деструкции органического вещества в донных отложениях // Гидробиол. журн. - 1989. - 25, N 4. - С. 83-86.

20. Michailenko L.E., Baschmakowa I.Ch., Jakuschin W.M. Die funktionelle Struktur des Bakterioplanktons der Donau // Ergebnisse der Donauexpedition 1988. - Wien, Eidenverlag der IAD, 1990. - S. 273-279.

21. Якушин В.М., Бей Т.В., Шмаргун Л.М. Оценка качества воды Дуная по санитарно-бактериологическим показателям // Гидробиол. журн. - 1991. - 27, N 2. - С. 41-48.

22. Михайленко Л.С., Якушин В.М., Коднер Е.І. Бактеріопланктон та його структурно-функціональні характеристики в річці Дунай // Доп. АН УРСР. - 1991. - Сер. А. - 1. - С. 131-134.

23. Якушин В.М., Гресько М.М. Бактериопланктон и деструкция органического вещества в Дунае в осенний период // Гидробиол. журн. - 1996. - 32, N 2. - С. 41-47.

24. Якушин В.М. Роль перифитона высших водных растений в деструкции органического вещества // Гидробиол. журн. - 1996. - 32, N 2. - С. 41-47.

25. Олейник Г.Н., Якушин В.М., Кабакова Т.Н. Реакция бактериопланктона как индикатор изменений в экосистеме водоемов в результате антропогенного загрязнения // Гидробиол. журн. - 1996. - 32, N 2. - С. 29-41.

26. Оксуюк О.П., Олейник Г.Н., Карпезо Ю.И., Якушин В.М., Кузько О.А., Цаплина Е.Н. Первичная продукция и деструкция органического вещества в канале Днепр-Донбасс как фактор формирования качества воды. - Киев, 1987. - 141 с. - Рукопись деп. в ВИНТИ, N 676-В 87.

27. Якушин В.М. Бактерии в перифитоне высших водных растений: численность, идентификация, функциональная

активность. - Киев, 1988. - 20 с. - Рукопись деп. в ВИНТИ, N 772-В 88.

28. Олейник Г.Н., Якушин В.М., Жданова Г.А. Бактериопланктон и деструкция органического вещества в канале Дунай-Сасык. - Киев, 1988. - 14 с. - Рукопись деп. в ВИНТИ, N 773-В 88.

29. Оксьюк О.П., Жукинский В.Н. ... Якушин В.М. и др. Оценка влияния попусков воды из Каховского водохранилища на эколого-санитарную ситуацию и биопродуктивность Днепровско-Бугской устьевой области. - Киев, 1988. - 144 с. - Рукопись деп. в ВИНТИ, N 4768-В 88.

30. Якушин В.М., Журавлева Л.А., Полищук В.С. Особенности кислородного режима и процессов самоочищения в Днепровско-Бугском лимане в летний период. - Киев, 1989. - 14 с. - Рукопись деп. в ВИНТИ, N 5094-В 89.

31. Оксьюк О.П., Якушин В.М., Шевцова Л.В. и др. Гидробиологическая характеристика р. Кубань и ее притоков в зоне влияния проектируемого Зеленчукского гидроузла. - Киев, 1991. - 109 с. - Рукопись деп. в ВИНТИ, N 3446-В 91.

32. Олейник Г.Н., Карпезо Ю.И., Якушин В.М. Количественная оценка процессов самоочищения и самозагрязнения в каналах // VII Всесоюз. симп. по соврем. проблемам прогнозирования, контроля качества воды водоемов и озонирования: Тез. докл. - Таллин, 1985. - С. 145-147.

33. Якушин В.М. Бактериальный перифитон на высших водных растениях как компонент кормовой базы для рыб // Биол. основы рыбного хоз-ва водоемов Средней Азии и Казахстана: Тез. докл. - Ашхабад: Ылым. - 1986. - С. 153-155.

34. Головки Т.В., Самойленко В.Н., Якушин В.М. Особенности бактериальных процессов в Днепровско-Бугском лимане в летний период // Методы исслед. и использ. гидросистем: Тез. докл. - Рига: ЛУ. - 1991. - С. 116.

35. Kortschak G.I., Jakuschyn W.M., Bej T.W., Schmargun L.M. Okologisch-hygienische Charakteristik der Selbstreinigungsprozesse in der Donau nach den mikrobiologischen Kennzifferen // Limnologische Berichte Donau 1996. - 1. - 31 Konfer. der IAD in Baya / Urgarn. - 1996. - S. 97-101.

АННОТАЦИЯ

Якушин В.М. Роль бактериопланктона и бактериоперифитона в деструкции органического вещества в лотических экосистемах.

Диссертация (рукопись) на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.00.18 - гидробиология, Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, 1997 г.

Защищается 42 научные работы, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований функционирования сообществ бактериопланктона и бактериоперифитона в экосистемах рек и каналов. Полученные данные позволили оценить вклад бактериопланктона и бактериоперифитона в процессы деструкции органического вещества, установить основные экологические факторы и количественно определить степень и направленность их влияния на эти процессы в естественных и искусственных водных объектах.

На основе установленных закономерностей деструкции органического вещества бактериопланктоном и бактериоперифитоном сформулированы теоретические принципы и намечены подходы к управлению бактериальными процессами самоочищения в лотических экосистемах.

Результаты исследований автора вошли в прогноз строительства канала Днепр - Донбасс и использованы при разработке экспериментального водоохранного комплекса на данном канале, а также вошли в экологическую оценку проекта перекрытия Днепровско-Бугского лимана морезаградительной плотиной.

ANNOTATION

Yakushin V.M. The Role of bacterioplankton and bacterioperiphiton in destruction of organic substance in lotic ecosystems.

Dissertation for competition on scientific degree of Doctor of biological sciences on the speciality 03.00.18 - hydrobiology. Institute of Hydrobiology Ukrainian NAS. Kiev, 1997.

Author uphold 42 scientific works, which contain results theoretical and experimental researches of functioning of bacterioplankton and bacterioperiphiton communities in ecosystems of the rivers and channels. Received data have allowed to evaluate the contribution of bacterioplankton and bacterioperiphiton in processes of organic substance destruction, to establish the main ecological factors and to determine quantitatively a degree and trends of their influence to these processes in natural and artificial water objects.

On the basis of established regularities of destruction of organic substance by bacterioplankton and bacterioperiphiton theoretical principles are formulated and approaches to management by bacterial processes of self-purification in lotic ecosystems are scheduled.

The results of author's researches have come in forecast of construction of the Dnieper-Donbas channel and are used at development of an experimental water-protectional complex on given channel, but also have come in ecological evaluation of the project of blocking of the Dnieper-Bug firth by a sea-barrier dam.

Ключові слова: бактеріопланктон, бактеріоперифітон, лотичні екосистеми, деструкція, органічна речовина, водний режим, антропогенне забруднення.

В. Якушин



АВ 37.844 44

СП "Різо-Принт"

Віддруковано на різнографі з готових оригіналів. Тираж 100 прим.
Адреса: м. Київ, вул. Дмитрівська, 30, тел./факс (044) 216 4298, 216 5431.