

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Ministry of Education and Science of Ukraine

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Odessa State Environmental University

**У К Р А Ї Н С Ь К И Й
Г І Д Р О М Е Т Е О Р О Л О Г І Ч Н И Й
Ж У Р Н А Л**

Ukraïns'kij Gidrometeorologičnij Žurnal

Ukrainian Hydrometeorological journal

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Scientific Journal

Друкується 2 рази на рік

Issued: 2 times a year

Заснований у 2005 р.

Founded in 2005 y.

№ 27, 2021

- Лукашов Д. В., Хохлова Л. К. Оцінка седиментаційної ролі популяції молюсків роду *Dreissena* у контролі якості води Каховського магістрального каналу (Херсонська область)
- 76 *Lukashov D. V., Khokhlova L. K. Evaluation of sedimentation role of *Dreissena* molluscs' population in the process of water quality control in Kakhovka Main Channel (Kherson Region)*
- Сафранов Т. А., Шанина Т. П., Приходько В. Ю. Передумови формування і реалізації регіонального плану управління твердими муніципальними відходами в Одеській області
- 86 *Safranov T. A., Shanina T. P., Prykhodko V. Yu. Prerequisites for formation and implementation of a municipal solid waste management plan in Odessa Region*
- Тесьолкіна Т. С., Лукашов Д. В. Роль зелених насаджень в міграції та фіксації важких металів (на прикладі національного природного парку «Голосіївський», м. Київ)
- 97 *Tesolkina T. S., Lukashov D. V. Role of green spaces for migration and setting of heavy metals (as illustrated by Holosiivskiy National Nature Park, Kyiv)*
- Юрасов С. М., Караулов В. Д., Перченко М. Г., Юдина Е. О., Грєбко Н. В. Іригаційні властивості вод Кучурганського і Барабойського водосховищ
- 106 *Yurasov S. M., Karaulov V. D., Perchenko M. H., Yudina E. O., Hrabko N. V. Irrigation properties of Kuchurgan and Baraboi Water Reservoirs*

УДК 594.1, 628.353, 631.67

ОЦІНКА СЕДИМЕНТАЦІЙНОЇ РОЛІ ПОПУЛЯЦІЇ МОЛЮСКІВ РОДУ *DREISSENA* У КОНТРОЛІ ЯКОСТІ ВОДИ КАХОВСЬКОГО МАГІСТРАЛЬНОГО КАНАЛУ (ХЕРСОНСЬКА ОБЛАСТЬ)

Д. В. Лукашов, Л. К. Хохлова

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
вул. Володимирська, 60, 01033, Київ, Україна, ecologyknu@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1375-0447>

Україна має унікальний природно-ресурсний потенціал і за якісним складом ґрунтів та біопродуктивністю угідь є однією з найбагатших аграрних держав світу. Понад 2/5 сільськогосподарських угідь припадає на степову зону – зону нестійкого і недостатнього зволоження. У посушливих умовах виробництво сільськогосподарської продукції значною мірою залежить від вирішення проблеми штучного зрошення сільгоспугідь. У зв'язку з цим, починаючи з 60-х років ХХ ст. на півдні України було розпочато великомасштабне спорудження меліоративних об'єктів, зокрема побудовано Каховське водосховище і найбільшу в Європі Каховську зрошувальну систему. Якість води, призначеної для зрошування, залежить від джерела надходження та внутрішніх фізико-хімічних та біологічних процесів у меліоративній системі. Важливим біотичним компонентом гідромеліоративних систем є прикріплені двостулкові молюски, що утворюють щільні поселення на твердих штучних субстратах і зазвичай розглядаються як джерело біологічних перешкод, з якими проводять постійну боротьбу. Проте їх фільтраційна та седиментаційна роль може впливати на процеси самоочищення води. Метою роботи була оцінка ролі обростань молюсків-фільтраторів у очищенні зрошувальних вод від зависів та виведенні з товщі води деяких важких металів. Робота ґрунтується на матеріалах польових досліджень процесів осідання зависів з водної товщі за допомогою седиментаційних пасток на 5 станціях вздовж Каховського магістрального каналу. Встановлено, що загальна біомаса поселень прикріплених двостулкових молюсків *Dreissena polymorpha* (Pall., 1771) та *Dreissena bugensis* (Andr., 1897) в каналі становить 370 – 463 т, які протягом літніх місяців осаджують до донних відкладів 11,6 – 27,5 т зависів, що проявляється у зменшенні концентрації зависів у воді вздовж течії каналу. Разом із зависами до донних відкладів щомісяця осаджується 1,8 – 3,9 кг Сг, 0,3 – 0,6 кг Ні, 0,09 – 0,24 кг Со, 0,08 – 0,18 кг Рб, 0,088 – 0,144 кг Сд. Таким чином поселення прикріплених молюсків на гідротехнічних спорудах можуть розглядатися як біологічні меліоратори, функціонування яких сприяє покращенню якості зрошувальних вод.

Ключові слова: меліоративні зрошувальні системи; двостулкові молюски; седиментація; важкі метали.

1. ВСТУП

Найбільша частина сільськогосподарських угідь України припадає на зону нестійкого і недостатнього зволоження – 48% орних земель розташовано в Південному регіоні держави, де спостерігаються періодичні засухи. У посушливих умовах виробництво сільськогосподарської продукції значною мірою залежить від вирішення проблеми штучного зрошення сільгоспугідь. У зв'язку з цим, починаючи з 60-х років ХХ ст. на півдні України було розпочато великомасштабне спорудження меліоративних об'єктів, побудовано Каховське водосховище на р. Дніпро і найбільшу в Європі – Каховську зрошувальну систему, сумарна протяжність каналів якої становить 520 км. Найбільшим водогосподарським об'єктом системи є Каховський магістральний

канал (далі КМК) протяжністю 132 км, який забезпечує розподіл води для зрошування сільськогосподарських угідь та водопостачання сільських населених пунктів Херсонської і Запорізької областей.

Територія, через яку прокладено магістральний та розподільчі канали, характеризується складними кліматичними умовами, значні бездошові періоди сприяють виникненню атмосферних засух і суховіїв. Клімат помірно-континентальний із порівняно м'якою зимою (середні температури зимових місяців $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $3\text{ }^{\circ}\text{C}$) та спекотним і довгим літом (середні температури $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$, максимальні – понад $40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Середня багаторічна кількість опадів складає близько 300–400 мм. Переважна кількість опадів випадає влітку у вигляді злив, взим-

ку сніговий покрив нестійкий, існує кілька десятків днів. Таким чином, основним джерелом живлення зрошувальної системи виступає Каховське водосховище, з якого за допомогою Головної насосної станції (ГНС) здійснюється забір води в обсягах до 530 м³/с на висоту 25 м.

Зарегулювання р. Дніпро та інтенсивне водоспоживання у сільському господарстві змінило його гідрологічний режим, що проявилось у зменшенні швидкості течії та інтенсивності турбулентного перемішування, зменшенні водообміну. Тип кругообігу речовин і енергії у Каховському водосховищі перетворився з транзитного на замкнутий, домінуючої ролі набули внутрішньо водоймові процеси. Трансформація гідрологічного режиму неминуче призвела до зміни хімічного складу дніпровської води. Акваторія пониззя Дніпра стала частковим акумулятором твердого стоку та хімічних речовин, які змиваються зі всього басейну [1]

Якість зрошувальних вод залежить від процесів, що відбуваються у Каховському водосховищі. Незважаючи на те, що якість води в контрольному створі КМК (127 км, с. Червоноармійське) відповідає нормативам екологічної безпеки для зрошення та питного водопостачання (за винятком БСК5, ХСК), в цілому відмічено поступове погіршення санітарного стану вод як у водосховищі, так і в магістральному каналі [2]. Проте, в процесі транспортування води по КМК відбувається трансформація її показників якості внаслідок внутрішньоводоймищних фізико-хімічних та біологічних процесів.

Важливим біотичним компонентом гідромеліоративних систем Півдня України є поселення двостулкових молюсків роду *Dreissena*, що як представники понто-каспійської фауни до зарегулювання Дніпра існували у Дніпровсько-Бугському лимані. Але після будівництва каскаду водосховищ та пов'язаних з ними систем каналів, почали активне розселення [3]. Цьому сприяла наявність великої площі штучних твердих субстратів гідротехнічних споруд, на яких молюски утворюють поселення, щільність яких досягає десятків тисяч особин на м² за біомаси 20-50 кг/м². У технічному аспекті молюски роду *Dreissena* в зрошувальних каналах виступають чинником біологічних перешкоди в експлуатації штучних водотоків, ускладнює прохід води і вимагає постійної чистки від обростання [4]. Проте, залишається недооціненою роль молюсків-фільтраторів у формуванні якості води у меліоративних системах.

Тому метою представленої роботи було оцінити роль обростань молюсків-фільтраторів у

очищенні зрошувальних вод від зависів та виведенні з товщі води деяких високотоксичних важких металів Cr, Ni, Co, Pb та Cd.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Загальну седиментаційну активність угруповань *Dreissena* було оцінено для 3 ділянок каналу: I – 1-55 км від ГНС, II – 55-128 км, III – 128-132 км з врахуванням загальних запасів молюсків на момент проведення досліджень (рис. 1). Отримані величини було екстрапольовано на весь період вегетаційного сезону, що дозволило оцінити вплив угруповань двостулкових молюсків КМК на процеси очищення води від зависів.

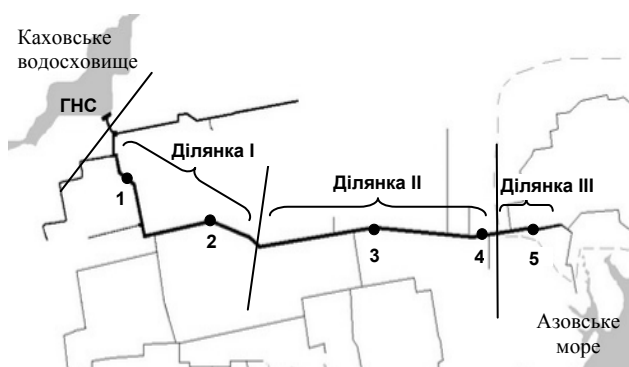


Рис. 1 - Схема розташування станцій спостереження на ділянках Каховського магістрального каналу

Fig. 1 – The plan of research stations on sections of the Kakhovka Main canal

Основним методом оцінки седиментаційної активності двостулкових молюсків, який використовують більшість дослідників, є лабораторний експеримент із застосуванням акваріумних систем, в яких розміщуються молюски та додається певна кількість зависів для створення визначеної концентрації [5-7]. Незважаючи на контрольованість умов лабораторного експерименту, невизначеність окремих факторів впливає на значну мінливість оцінки седиментаційної активності молюсків навіть у межах одного експерименту. Крім того, отримані величини седиментаційної активності не дозволяють екстрапольовувати результати на реальні умови, оскільки для природної екосистеми характерні коливання температури, освітленості, течій та хвиль, складна розмірна структура поселень молюсків тощо.

Тому для оцінки реальних величин седиментаційної активності успішно використовують метод польового експерименту із застосуванням седиментаційних пасток [8-10]. Було використано скляні лійки В-150-230 зовнішнім діаметром 150 мм, висотою до стебла 120 мм. Для збору осаду на кінець стебла прикріплювали склянку

об'ємом 100 мл. Молюсків розміщували на пластикову круглу сітку діаметром 80 мм з вічком 10×10 мм на висоті 80 мм, що перешкоджала потраплянню молюсків до збірної склянки, але не затримувала проходження осаду. На відміну від дослідів інших авторів, де на сітку розміщували поодинокі особини *Dreissena* після їх відокремлення від субстрату, ми розташовували фрагмент нативного поселення молюсків разом із субстратом або окрему друзу після її ретельного промивання. Відбір поселень проводили безпосередньо в місці розташування седиментаційних пасток. Це дозволило досягти 100% виживання молюсків в експериментальних групах при збереженні природного співвідношення видів та розмірно частотної структури їх поселень. Відібрані групи молюсків просушували фільтрувальним папером та зважували з точність до 0,1 г. За наявності субстрату – зважування проводили разом з ним без руйнування поселення. Після розміщення молюсків, пастки залишали відкритими (склянку до стебла не приєднували) на період 5 діб для адаптації та контролю виживання молюсків. Після закінчення експерименту групи молюсків зважували вдруге для оцінки приросту маси. За наявності субстрату його зважування проводили в кінці експерименту та віднімали від початкової та кінцевої маси, що дозволяло оцінити масу поселення молюсків.

Для оцінки величини пасивного гравітаційного осадження зависів одночасно поряд з експериментальними лійками розташовували контрольну седиментаційну пастку, яка являла собою порожню лійку з аналогічно розташованою сіткою, на яку розміщували відповідну кількість закритих порожніх черепашки *Dreissena* та субстрат (у разі його використання). Контрольні седиментаційні пастки використовували для оцінки гравітаційного осідання зависів.

На кожній станції на глибині 1,0-1,5 м було змонтовано по чотири седиментаційні пастки – три експериментальні та одна – контрольна. Період експозиції становив 4 доби. Подібний період (4-7 діб) був використаний іншими авторами [8]. Скорочення періоду експозиції в нашому випадку було викликано намаганням запобігти вторинній реседиментації осаду при заповненні пасток. Крім того, в умовах закритого скляного накопичувача осаду за умов прогрівання води прискорюються мікробіологічні процеси, що можуть змінити масу осаду. Дослідження проводили протягом серпня 2018 р. на 5 станціях та червня-серпня 2020 р. – на трьох. Загальна тривалість експозиції становила у серпні 2018 р. – 14 днів; у 2020 р. – 33 дні.

Після відповідної експозиції седиментаційні пастки обережно виймали, воду разом з осадом з лійки та скляного накопичувача фільтрували на місці через попередньо висушений при температурі 60 °С протягом однієї доби та зважений з точність до 0,001 г паперовий фільтр «біла стрічка». Після промивки молюсків пастки розміщували у тому ж місці для наступного етапу експозиції. Фільтр висувували при температурі 60 °С та зважували з точність до 0,001 г. Від отриманої величини віднімали початкову масу фільтру, що давало оцінку кількості відфільтрованого осаду. Величину седиментаційної активності розраховували за формулою:

$$SA = (ST - SG) / \left(\frac{M_0 + M_d}{2} \right) \times d,$$

де: *SA* – седиментаційна активність молюсків, мг/г × доба; *ST* – маса осаду, що накопичилася в седиментаційних пастках з молюсками, г; *SG* – маса осаду, що накопичилася в седиментаційних пастках без молюсків, г; *M₀* – жива маса молюсків на початок експозиції, г; *M_d* – жива маса молюсків на кінець експозиції, г; *d* – кількість днів експозиції, доба.

Біомасу молюсків було оцінено шляхом відбору кількісних проб обростань з поверхні субстрату за допомогою гідробіологічного шкребка (ширина леза – 10 см), перефітонних рамок розміром 10 × 10 см або 20 × 20 см з глибини 1,0-3,0 м відповідно раніше опублікованих даних [11]. Концентрацію важких металів в осадах визначали за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометру С115-М1 з комп'ютерно-аналітичним комплексом КАС-101.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На всіх досліджених ділянках КМК було відмічено наявність змішаних поселень двох видів прикріплених двостулкових молюсків *D. polymorpha* та *D. bugensis*, що займали тверді штучні субстрати – бетонні плити облицювання та водовипусків, кам'яні відсіпки. У поселеннях більшості досліджених станцій переважали особини *D. bugensis* (в середньому 60%). Лише у відділеній частині КМК частка особин *D. polymorpha* сягала 64-70%. Оцінки заселеної площі субстратів за визначеними ділянками КМК дали величини для ділянки I – 36,9 га; II – 35,7 га; III – 2,1 га. У серпні 2018 р. на ділянках I та II середня біомаса поселень молюсків коливалася в межах 427 – 531 г/м². У серпні 2020 р. на

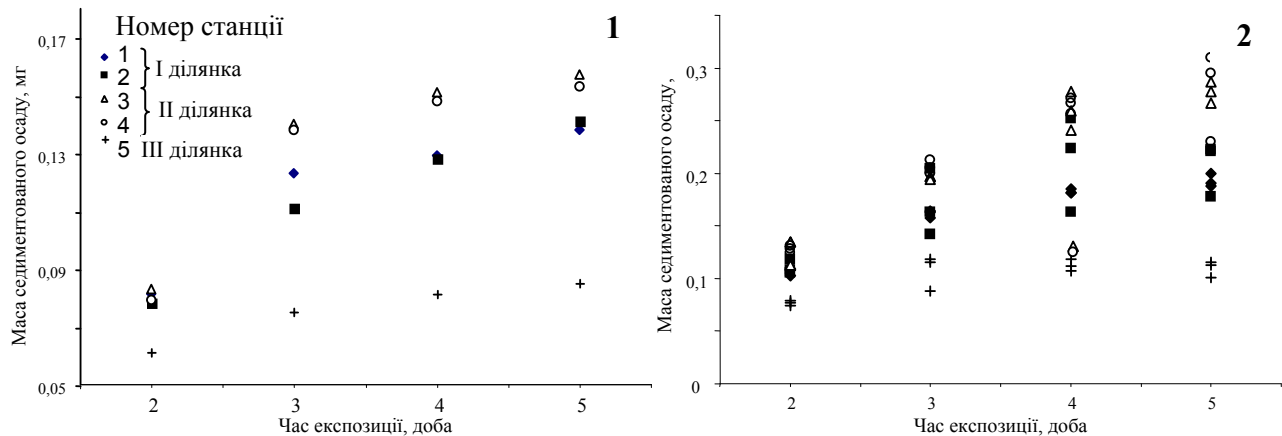


Рис. 2. – Динаміка процесів накопичення осаду в седиментаційних пастках: 1 - контрольні (без молюсків); 2 – експериментальні (з живими молюсками)

Fig. 2. – Dynamics of sediment accumulation processes in sedimentation traps: 1 - control (without mollusks); 2 - experimental (with live mollusks)

ділянках I та II відбулося зростання біомаси поселень на 15-28%. При цьому між ділянками стали помітними відмінності – середня біомаса поселень молюсків на початковій ділянці відповідала діапазону 505 – 619 г/м², а на центральній – 653 – 743 г/м². Протягом всіх років спостережень біомаса молюсків на дистальній частині каналу продемонструвала стабільні показники у діапазоні 266 – 298 г/м².

Процеси гравітаційного осадження водних зависів відрізнялися на досліджених ділянках магістрального каналу (рис. 2). Найбільші обсяги зависів та швидкість накопичення у пастках були характерні для II ділянки, найменші – для III ділянки, що відповідає величині концентрації зависів у воді даних ділянок – найвища концентрація зависів протягом всього періоду дослідження була характерна для центральної ділянки каналу (6-7 мг/л), а найменші – для найвіддаленішої його частини (1,9-2,1 мг/л). Подібна тенденція була характерна і для експериментальних седиментаційних пасток з молюсками, коли найменша інтенсивність накопичення осадів була виявлена для дистальної ділянки каналу.

Протягом всього періоду спостереження максимальні показники седиментації були характерні для поселень *Dreissena* на середній ділянці каналу, які показали двократне зростання у липні-серпні з 1,095±0,169 мг/г×доба до 2,300-2,407 мг/г×доба (табл. 1). При цьому на початковій та дистальній ділянках каналу відмінності виявилися несуттєвими і в червні знаходилися у діапазоні 0,520-0,640 мг/г×доба, а у липні-серпні – 1,326-1,852 мг/г×доба (за виключенням серпня 2018 р., коли на ділянці

III була відмічена висока седиментаційна активність, яка статистично значимо не відрізнялася від серпня 2020 р.). Зазначені відмінності у седиментаційній активності молюсків з різних ділянок КМК на нашу думку пов'язані зі змінами у концентрації зависів у воді. Зокрема стабільні величини були характерні для початкової ділянки каналу, куди надходить вода з Каховського водосховища, концентрація зависів в якому на початку червня 2020 р. становила 2,2-2,3 мг/л і суттєво не змінювалася вздовж каналу. У липні-серпні ситуація кардинально змінюється. Вода на початковій ділянці каналу стає менш прозорою, що відображає процеси цвітіння води в Каховському водосховищі, а концентрація зависів становить 5,5 мг/л. При просуванні водних мас вздовж каналу на середній ділянці інтенсивність цвітіння води зростає і у серпні 2020 р. концентрація зависів сягає 6-7 мг/л. Проте на віддалених ділянках каналу спостерігається різке зменшення концентрації зависів до 1,9-2,1 мг/л.

Оцінка загальної біомаси молюсків показала, що більша частина поселень зосереджена в центральній частині КМК, запаси яких станом на серпень становили 187,4 – 249,9 т. Початкова ділянка каналу, незважаючи на близькі величини площі заселених субстратів, характеризувалася нижчими величинами запасів поселень молюсків, що становили 166,0 – 187,4 т. Найменші запаси були характерні для найвіддаленішої частини каналу, що становили всього 16,6 – 20,7 т.

Для перевірки статистичної значимості відмінностей середніх величин застосовували критерій *U*-критерій Манна-Уїтні за рівнем значимості $p < 0,05$.

Таблиця 1 - Седиментаційна активність молюсків роду *Dreissena* на різних ділянках Каховського магістрального каналу (червень-серпень 2020 р.)**Table 1** – Sedimentation activity of molluscs of the genus *Dreissena* in different sections of the Kakhovka main canal (June-August 2020)

Ділянка	Рік	Місяць	Седиментаційна активність, мг/г×доба		Біомаса поселень молюсків, т	Обсяг седиментованого молюсками осаду, т		Обсяг гравітаційної седиментації, т	
			\bar{X}	SD		\bar{X}	SD	\bar{X}	SD
I	2018	серпень	1,431	0,410	166,0	7,1	2,0	26,2	2,5
		червень	0,529	0,105	191,8	3,0	0,6	8,6	1,0
	липень	1,326	0,287	7,6		1,7	27,7	7,4	
	серпень	1,450	0,233	8,3		1,3	35,5	0,2	
II	2018	серпень	1,734	0,795	187,4	9,7	4,5	21,0	5,6
		червень	1,095	0,169	249,9	8,2	1,3	12,6	1,9
	липень	2,300	0,302	17,2		2,3	43,6	2,5	
	серпень	2,407	0,185	18,0		1,4	45,0	1,1	
III	2018	серпень	2,536	0,330	16,6	1,3	0,2	1,3	0,8
		червень	0,640	0,167	20,7	0,4	0,1	0,8	0,1
	липень	1,359	0,307	0,8		0,2	1,3	0,2	
	серпень	1,852	0,578	1,1		0,4	1,4	0,1	

Аналіз кількості седиментованого осаду показав, що максимальна седиментаційна активність поселень молюсків спостерігається у середній частині каналу, де протягом літніх місяців молюсками з товщі води осаджується від $8,2 \pm 1,3$ т/міс. до $18,0 \pm 1,4$ т/міс. зависів, що пояснюється як найбільшою біомасою молюсків на цій ділянці, так і високими показниками седиментаційної активності (1,095-2,407 мг/г×доба). Максимальний обсяг седиментованих зависів припадав на серпень 2020 р. (18,0 т/міс.), що відображує високу каламутність води у цей період. Водночас у серпні 2018 р. обсяг седиментованих зависів виявився майже у 2 рази нижчим (9,7 т/міс.). Концентрація зависів у воді в цей період виявилася дещо нижчою і становила 6,0 мг/л. Також значні обсяги седиментованих зависів поселеннями молюсків були характерні для початкової ділянки каналу, що відповідали діапазону $3,0 \pm 0,6$ т – $8,3 \pm 1,3$ т. Найнижчі обсяги седиментованого осаду були характерні для червня 2020 р. У липні-серпні обсяги седиментації виявилися близькими для 2018 р. та 2020 р. і становили 7,1-8,3 т/міс.

Найнижча кількість седиментованих зависів була характерна для дистальної ділянки каналу, де незважаючи на високі величини седиментаційної активності молюсків (0,640-2,536 мг/г×доба), їх кількість протягом місяця відповідала діапазону $0,4 \pm 0,1$ т/міс. –

$1,3 \pm 0,2$ т/міс., що відображує незначну біомасу молюсків на цій ділянці.

Порівняння седиментаційної активності молюсків з обсягами гравітаційної седиментації показало, що найбільш інтенсивно пасивне осідання зависів відбувається на першій ділянці. Поселення молюсків осаджують у 2,9-4,1 рази менше зависів, ніж в результаті гравітаційного осадження. В умовах центральної частини каналу роль поселень молюсків зростає – обсяг осаджених ними зависів у 1,5-2,5 рази менше, ніж обсяги гравітаційного осадження. Лише в умовах дистальної ділянки каналу роль молюсків є співставною з процесами гравітаційного осадження, що або відповідає ним (1,3 т у серпні 2018 р.), або є у 1,3-2,0 рази меншою.

Сумарна кількість зависів, вилучених з води поселеннями молюсків роду *Dreissena* у Каховському магістральному каналі, розрахована за окремими місяцями становить для серпня 2018 р. – 18,1 т, для червня 2020 р. – 11,6 т; для липня – 25,7 т; для серпня – 27,5 т. У цей же час гравітаційне осадження зависів забезпечувало накопичення у донних відкладах у серпні 2018 р. 48,5 т осаду, у червні 2020 р. – 22 т, у липні – 72,6 т, у серпні – 81,9 т. Таким чином, поселення молюсків-фільтраторів забезпечують прискорення очищення води від зависів на 53% протягом червня, та на 34-37% протягом липня-серпня.

Подібні обсяги седиментованих зависів описано для інших водойм. В умовах р. Маас в літні місяці популяція молюсків роду *Dreissena* седиментує 12,3% зависів [12]. Поселення *D. polymorpha* в Куршської затоки (Балтійське море) в залежності від сезону року забезпечують осадження 10-30% твердих зависів, що відповідає 176 тис. т. [13]. Оцінки седиментованих зависів молюсками роду *Dreissena* в озері Волкер-Зооммер (Нідерланди) протягом року дають величину 49% [14], а в оз. Ері – 40% [8]. Причому, слід враховувати, що осади, сформовані внаслідок седиментаційної активності молюсків, є більш стійкими до ресуспендування, у порівнянні з осадами гравітаційного осідання [15].

Оцінка концентрації важких металів в осадах різного походження виявила тенденції до збагачення седиментованого молюсками осаду на Cr

та Co, у меншому ступені – Ni (рис. 3). Так, концентрація Cr підвищувалася в середньому на 59,5%, або на 15,2-93,5 мг/кг у порівнянні з гравітаційно осадженими осадами. Концентрація Co підвищувалася на 55,9%, або на 0,6-5,7 мг/кг. Концентрація Ni підвищувалася на 46,4%, або на 5,2-12,2 мг/кг. Зростання концентрації Pb виявилось у більшості випадків статистично незначимим – на 12,6%, або на 23,6 мг/кг. Слабко, але статистично значимо збільшувалася концентрація Cd – на 4,3%, або на 0,39 мг/кг.

Аналогічне підвищення вмісту металів у седиментованих *Dreissena* осадах у порівнянні із їх концентрацією у зависях було відмічено для оз. Айзельмер (Нідерланди) [14]. Причому, найбільше збагачення осаду також було характерно для Cr – на 12,9%, або на 16,3 мг/кг. Також сут-

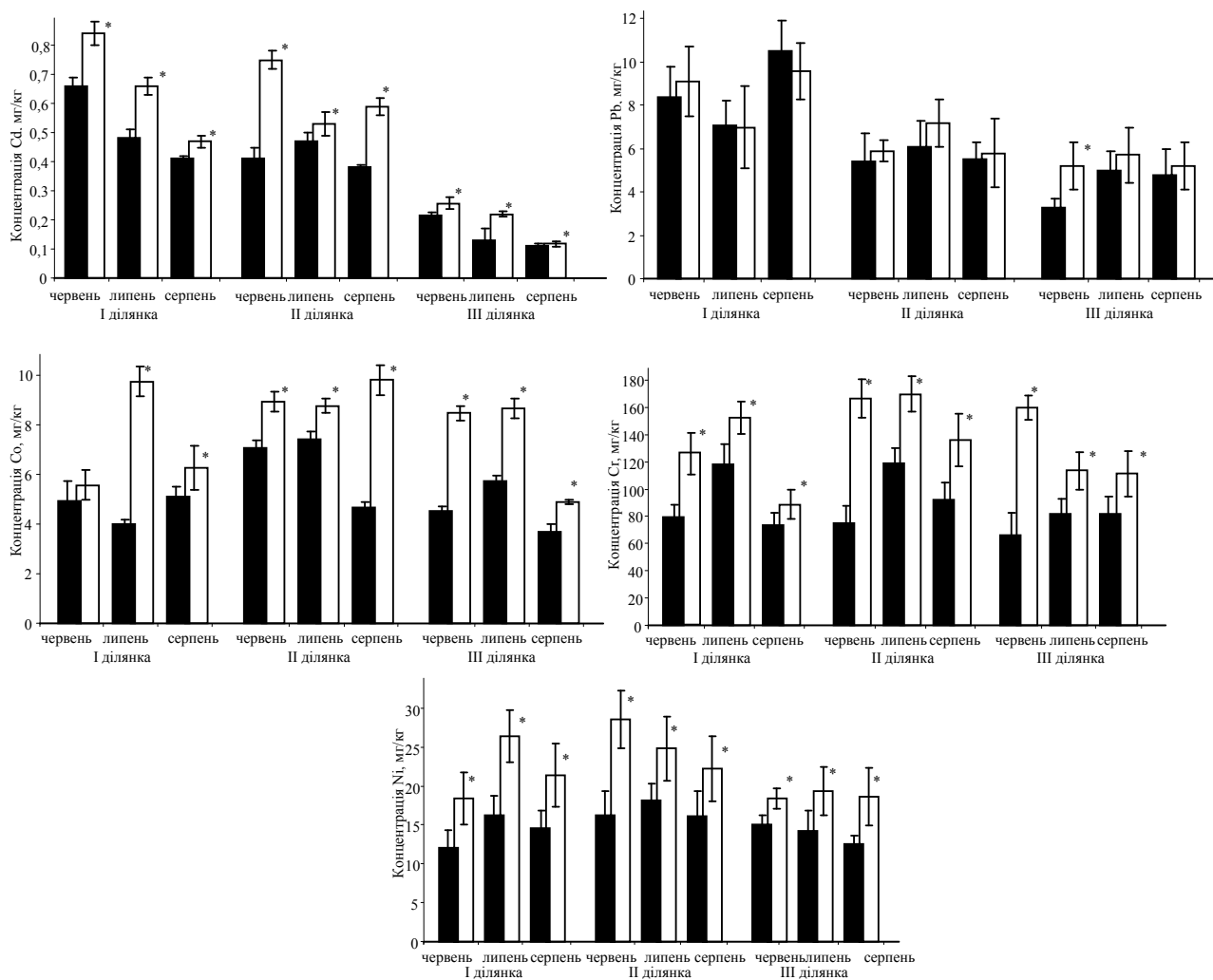


Рис. 3. – Динаміка вмісту важких металів у седиментованих осадах: ■ – гравітаційно осаджені; □ – седиментовані молюсками; * – статистична значимість відмінностей, $p < 0,05$.

Fig. 3. – Dynamics of heavy metals content in deposited sediments: ■ - gravitationally deposited; □ – sedimented by molluscs; * – the differences are statistically significant, $p < 0,05$.

тевим виявилось зростання концентрації Pb – на 12,6%, або на 23,6 мг/кг. Незначно збільшувалася концентрація Cd – на 4,3%, або на 0,39 мг/кг. Водночас за даними [10] найбільш суттєве підвищення у седиментованих молюсками осадах було характерно для Cd (15%) та Cr (13%), але для Cu та Ni відмічено збіднення на 22%, що автор пояснює процесами вилучення хімічних елементів молюсками та накопичення в організмі.

Просторова динаміка вмісту важких металів у седиментованих осадах виявила чітку тенденцію до зниження концентрації Cd та Pb у седиментованих осадах вздовж русла КМК незалежно від їх походження. Для Co та Ni концентрація несуттєво знижувалася лише на III ділянці каналу. Виражена сезонна динаміка була характерна лише для Cd, максимальна концентрація якого у завсях була відмічена у червні і поступово знижувалася до серпня. Все це може відображати джерела надходження даних важких металів до водних екосистем. Зокрема відомо, що Cd та Pb переважно є хімічними елементами антропогенного надходження, у той час як Cr, Co та Ni частково можуть мати теригенне та літогенне походження, надходячи до водних екосистем внаслідок вилуговування з мінералів гірських порід [16].

За даними [17] *Dreissena* в умовах штучної очисної установки забезпечує протягом доби 100% вилучення Cr саме у складі седиментованих зависів. Подібне підвищення вмісту металів у седиментованих *Dreissena* осадах у порівнянні із їх концентрацією у завсях було відмічено для екосистеми озера Айзельмер (Нідерланди) [14]. Причому, найбільше збагачення осаду також було характерно для Cr – на 12,9%, або на 16,3 мг/кг. В умовах оз. Ері поселення молюсків *Dreissena* забезпечують седиментацію 10% від загальної кількості Cu, Zn та 17% – Ni, що міститься у водній товщі висотою 7 м [8].

Отримані величини обсягів осаджених зависів дозволяють оцінити процеси вилучення важких металів з водної товщі за участі молюсків. Найбільші обсяги вилученого металу характерні для Cr. Протягом червня 2020 р. поселення молюсків КМК седиментували $1,8 \pm 0,3$ кг даного металу, липня – $3,9 \pm 0,6$ кг, серпня – $2,7 \pm 0,3$ кг. У серпні 2018 р. обсяги суттєво не відрізнялися і становили $3,6 \pm 1,4$ кг. Кількість осадженого Ni виявилася суттєво меншою, що становила у червні 2020 р. $0,297 \pm 0,049$ кг, липні – $0,65 \pm 0,10$ кг, серпні – $0,60 \pm 0,07$ кг. У серпні 2018 обсяги були

подібні і становили $0,54 \pm 0,020$ кг. Ще меншими виявилися обсяги вилученого Co, що протягом червня 2020 р. становили $0,094 \pm 0,016$ кг, а у липні-серпні різко зростали до $0,215-0,235$ кг. Дещо меншою кількістю характеризувався Pb з подібною тенденцією зростання обсягів осадження з $0,078 \pm 0,014$ кг до $0,182 - 0,191$ кг у липні-серпні 2020 р. Найменші обсяги вилученого металу були характерні для Cd, що у червні 2020 р. оцінювалися у $0,088 \pm 0,015$ кг, у липні-серпні – $0,144 - 0,015$ кг, що несуттєво відрізнялося від серпня 2018 р. ($0,129 \pm 0,047$ кг). Порівняльна оцінка кількості металів, седиментованих різними шляхами, дало величину внеску седиментаційної активності поселень молюсків КМК від 23,3% для осадження Pb, до 52% у випадку осадження Cr. За даними інших авторів в залежності від умов та хімічного елемента молюски роду *Dreissena* забезпечують надходження до донних відкладів від 35% до 400% загальної кількості металу у водній товщі [8].

4. ВИСНОВКИ

Таким чином, завдяки процесам седиментації зависів відбувається зниження каламутності води вздовж Каховського магістрального каналу з 6-7 мг/л в центральній частині (55-128 км) до 1,9-2,1 мг/л у дистальній його частині (128-132 км). Загальна біомаса молюсків у каналі становить 370 – 463 т. Поселення молюсків забезпечують осадження щомісяця 11,6 – 27,5 т зависів, що становить 34 – 53% всіх седиментованих зависів. Завдяки седиментаційній активності до донних відкладів каналу протягом вегетаційного сезону щомісяця осаджується 1,8 – 3,9 кг Cr, 0,3 – 0,6 кг Ni, 0,09 – 0,24 кг Co, 0,08 – 0,18 кг Pb, 0,088 – 0,144 кг Cd. Все це дозволяє стверджувати про важливу роль молюсків-фільтраторів у забезпеченні належної якості води Каховської зрошувальної системи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Осадча Н. М. Баланс стоку гумусових речовин у каскаді Дніпровських водосховищ. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2012. Вип. 263. С. 81-99.
2. Хохлова Л., Лукашов Д. Якість води у магістральному каналі Каховської зрошувальної системи. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Серія Географія*. 2018. 4(73). С. 24-29.
3. Шевцова Л. В., Харченко Т. А., Понурко Я. В. Расселение дрейссены по каналу Днепр-Донбасс.

Гидротехника и мелиорация. 1985. №12. С. 34-35.

4. Шевцова Л. В., Харченко Т. А. Биологические помехи в закрытой оросительной сети и их устранение. *Достижения научнотехнического прогресса в проекты мелиоративного строительства*. Киев, 1986. С. 134-135.
5. Klerks P. L., Fraleigh P. C., Lawniczak J. E. Effects of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) on seston levels and sediment deposition in western Lake Erie. *Canadian Journal of Aquatic Sciences*. 1996. 53. Pp. 2284-2291.
6. Multiple factors regulate filtration by invasive mussels: Implications for whole-lake ecosystems / Xia Z., MacIsaac H. J., Heckyc R. E. et. al. *Science of The Total Environment*. 2021. 765(15). Pp. 144435.
7. Assessing filtration rates of exotic bivalves: dependence on algae concentration and seasonal factors / Marescaux J. et. al. *Hydrobiology*. 2016. №777. Pp. 67–78.
8. Klerks P. L., Fraleigh P. C., Lawniczak J. E. Effects of the exotic zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) on metal cycling in Lake Erie. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1997. 54(7). Pp. 1630–1638.
9. Lukashev D. V. Freshwater Bivalvia as sedimentators of radioactive suspended matter in the cooling pond of the Chernobyl NPS. *Hydrobiol. J.* 2003. 39(6). Pp. 94-101.
10. Freeman E. Effects of Dreissenid Mussel Druses on heavy metals transfer via benthic macroinvertebrates: Ph.D. Thesis / College of Bowling Green State University, 2013. URL: https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_etd/send_file/send?accession=bgsu1372077038&disposition=attachment (accessed 23.05.2021)
11. Khokhlova L. K., Lukashov D. V. Peculiarities of the structure of Dreissena settlements in the main canal of the Kakhovka irrigative system. *Hydrobiol. J.* 2020. 56(4). Pp. 33-42.
12. Quantifying the loss of filtration services following mass mortality of invasive dreissenid mussels / Collas F. P. L., Koopman K. R., van der Velde G. et. al. *Ecological Engineering*. 2020. 149. Pp. 105781
13. Impact of the zebra mussel *Dreissena polymorpha* invasion on the budget of suspended material in a shallow lagoon ecosystem / Daunys D., Zemlys P., Olenin S. et. al. *Helgoland Marine Research*. 2006. 60. Pp. 113.
14. Reeders H. H., Bij de Vaate A. Bioprocessing of polluted suspended matter from the water column by the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pallas). *Hydrobiologia*. 1992. 239. Pp. 53–63.
15. Roditi H. A., Strayer D. L., Findlay S. E. G. Characteristics of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) biodeposits in a tidal freshwater estuary. *Archiv für Hydrobiologie*. 1997. 140. Pp. 207–219.
16. Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China / Huang Z., Liu C., Zhao X. et al. *Environ Sci. Eur.* 2020. 32(23).
17. Removal of metallic elements from real wastewater using Zebra mussel bio-filtration process / Magni S., Parolini M., Soave C. et. al. *J. Environ. Chem. Eng.* 2015. 3. Pp. 915–921.

REFERENCES

1. Osadcha, N.M. (2012). Balans stoku humusovykh rechovyn u kaskadi Dniprovskykh vodokhovyshch [Balance of runoff of humic substances in the cascade of Dnieper reservoirs]. *Naukovi pratsi Ukrainskoho naukovodooslidnoho hidrometeorologichnoho instytutu [Scientific works of the Ukrainian research hydrometeorological institute]*, 263, pp. 81-99. (in Ukr.)
2. Khokhlova, L. & Lukashev, D. (2018). [Quality of water in the main channel of the Kakhovka irrigation system]. *Visnyk Kyivskoho Natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Seriya Heohrafiia [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography]*, 73, pp. 24-29. (in Ukr.)
3. Shevtsova, L.V., Kharchenko, T.A. & Ponurko, Ya.V. (1985). Rasselenie Drejsseny po kanalu Dnepr-Donbass. [Resettlement of Dreissena along the Dnieper-Donbass channel]. *Gidrotehnika i melioratsiya [Hydrotechnics and Melioration]*, 12, pp. 34-35. (in Russ.)
4. Shevtsova, L.V. & Kharchenko, T.A. (1986). Biologicheskie pomekhi v zakrytoy orositel'noy seti i ikh ustranenie. [Biological obstacles in a closed irrigation network and their elimination]. *Dostizheniya nauchnotekhnicheskogo progressa v proekty meliorativnogo stroitel'stva [Achievements of scientific and technical progress in meliorative projects design]*. Kiev, pp. 134-135. (in Russ.)
5. Klerks, P.L., Fraleigh, P.C. & Lawniczak, J.E. (1996). Effects of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) on seston levels and sediment deposition in western Lake Erie. *Canadian Journal of Aquatic Sciences*, 53, pp. 2284-2291.
6. Xia, Z., MacIsaac, H.J., Heckyc, R.E. et al. (2021). Multiple factors regulate filtration by invasive mussels: Implications for whole-lake ecosystems. *Science of The Total Environment*, 765(15), pp. 144435
7. Marescaux, J., Falisse, E., Lorquet, J. et al. (2016). Assessing filtration rates of exotic bivalves: dependence on algae concentration and seasonal factors. *Hydrobiology*, 777, pp. 67–78.
8. Klerks, P.L., Fraleigh, P.C. & Lawniczak, J.E. (1997). Effects of the exotic zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) on metal cycling in Lake Erie. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(7), pp. 1630–1638.
9. Lukashev, D.V. (2003). Freshwater Bivalvia as sedimentators of radioactive suspended matter in the cooling pond of the Chernobyl NPS. *Hydrobiol. J.*, 39(6), pp. 94-101
10. Freeman, E. (2013). *Effects of Dreissenid Mussel Druses on heavy metals transfer via benthic macroinvertebrates*. Ph.D. Thesis. College of Bowling Green State University. Available at: https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_etd/send_file/send?accession=bgsu1372077038&disposition=attachment (accessed 23.05.2021)
11. Khokhlova, L.K. & Lukashov, D.V. (2020). Peculiarities of the structure of Dreissena settlements in the main canal of the Kakhovka irrigative system. *Hydrobiol. J.*, 56(4), pp. 33-42.
12. Collas, F.P.L., Koopman, K.R., van der Velde, G. et. al. (2020). Quantifying the loss of filtration services following mass mortality of invasive dreissenid mussels. *Ecological Engineering*, 149, pp. 105781.
13. Daunys, D., Zemlys, P., Olenin, S. et. al. (2006). Impact of the zebra mussel *Dreissena polymorpha* invasion on the budget of

- suspended material in a shallow lagoon ecosystem. *Helgoland Marine Research*, 60, pp. 113.
14. Reeders, H.H. & Bij de Vaate, A. (1992). Bioprocessing of polluted suspended matter from the water column by the zebra mussel (*Dreissena polymorpha* Pallas). *Hydrobiology*, 239, pp. 53–63.
15. Roditi, H.A., Strayer, D.L. & Findlay, S.E.G. (1997). Characteristics of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) biodeposits in a tidal freshwater estuary. *Archiv für Hydrobiologie*, 140, pp. 207–219.
16. Huang, Z., Liu, C., Zhao, X. et al. (2020). Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China. *Environ Sci. Eur*, 32.
17. Magni, S., Parolini, M., Soave, C. et al. (2015). Removal of metallic elements from real wastewater using Zebra mussel bio-filtration process. *J. Environ. Chem. Eng.*, 3, pp. 915–921.

EVALUATION OF SEDIMENTATION ROLE OF *DREISSENA* MOLLUSCS' POPULATION IN THE PROCESS OF WATER QUALITY CONTROL IN KAKHOVKA MAIN CHANNEL (KHERSON REGION)

D. V. Lukashov, L. K. Khokhlova

Taras Shevchenko National University of Kyiv
Volodymyrska Street, 64/13, 01601, Kyiv, Ukraine,
ecologyknu@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1375-0447>

Ukraine has a unique natural resources potential and is one of the world's richest agricultural countries in terms of soil composition and land bioproductivity. More than 2/5 of its agricultural land is located within the steppe zone – a zone of unstable and insufficient humidification. The production of agricultural products under arid conditions largely depends on solving the problem of agricultural land artificial irrigation. Due to this, since the 1960s large-scale construction of amelioration facilities took place in Southern Ukraine, including construction of the Kakhovka Reservoir and the Kakhovka Irrigation System, the largest one in Europe. The quality of water intended for irrigation depends on a water source and internal physicochemical/biological processes observed in the amelioration system. The attached bivalve molluscs present an important biotic component of hydrotechnical amelioration systems. They form dense settlements on solid artificial substrates and are usually considered as a source of biological barriers that should be constantly fought against. However, their filtration and sedimentation role can exert influence on the processes of water self-purification. The study aims at evaluating the role of filtering molluscs fouling process when it comes to treatment of irrigation water from suspensions and removal of some heavy metals from the water column. The research is based on the results of field analysis of deposits sedimentation processes in the water column with the help of sedimentation traps at 5 stations along Kakhovka Main Channel. It was found that the total biomass of settlements of attached bivalve molluscs *Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis* that are present in the channel constitutes about 370 – 463 tons and they contribute to precipitation of 11.6 – 27.5 tons of suspended matter to the bottom sediments during summer months. This process is manifested in a decrease of suspended matter concentration in the water along the channel. Together with suspended matter 1.8 – 3.9 kg of Cr, 0.3 – 0.6 kg of Ni, 0.09 – 0.24 kg of Co, 0.08 – 0.18 kg of Pb, 0.088 – 0.144 kg of Cd also join the bottom sediments every month. Thus, the settlements of molluscs attached to the hydraulic structures can be considered as biological amelioration agents contributing to the improvement of irrigation water quality.

Keywords: amelioration and irrigation systems; bivalve molluscs; sedimentation; heavy metals.

ОЦЕНКА СЕДИМЕНТАЦИОННОЙ РОЛИ ПОПУЛЯЦИИ МОЛЛЮСКОВ РОДА *DREISSENA* В КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ КАХОВСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА (ХЕРСОНСКАЯ ОБЛ.)

Д. В. Лукашов, Л. К. Хохлова

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
вул. Владимирская, 60, 01033, Киев, Украина, ecologyknu@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1375-0447>

Украина имеет уникальный природно-ресурсный потенциал и по качественному составу почв и биопродуктивности угодий является одной из самых богатых аграрных стран мира. Более 2/5 сельскохозяйственных угодий приходится на степную зону - зону неустойчивого и недостаточного увлажнения. В засушливых условиях производство сельскохозяйственной продукции в значительной степени зависит от решения проблемы искусственного орошения сельхозугодий. В связи с этим с 60-х годов XX века на юге Украины было начато крупномасштабное сооружение мелиоративных объектов, в частности построены Каховское водохранилище и крупнейшая в Европе Каховская оросительная система. Качество воды, предназначенной для орошения, зависит от источника поступления и внутренних физико-химических и биологических процессов в мелиоративной системе. Важным биотическим компонентом гидромелиоративных систем являются моллюски-обрастатели, образующие плотные поселения на твердых искусственных субстратах, которые обычно рассматриваются как источник биологических препятствий, с которыми ведут постоянную борьбу. Однако их фильтрационная и седиментационная роль может влиять на процессы самоочищения воды. Целью работы являлась оценка роли обрастаний моллюсков-фильтраторов в очистке оросительных вод от взвесей и выводе из толщи воды ряда тяжелых металлов. Работа основана на материалах полевых исследований процессов оседания взвеси из водной толщи с помощью седиментационных ловушек на 5 станциях вдоль Каховского магістрального каналу. Установлено, что общая биомасса поселений прикрепленных двустворчатых моллюсков *Dreissena polymorpha* и *Dreissena bugensis* в канале составляет 370 - 463 т, которые в течение летних месяцев переводят в донные отложения 11,6 - 27,5 т взвесей, что проявляется в уменьшении концентрации взвешенного вещества в воде вдоль течения каналу. В составе осадков в донные отложения ежемесячно переводится 1,8 - 3,9 кг Сг, 0,3 - 0,6 кг Ni, 0,09 - 0,24 кг Со, 0,08 - 0,18 кг Pb, 0,088 - 0,144 кг Cd. Таким образом, поселения прикрепленных моллюсков на гидротехнических сооружениях могут рассматриваться как биологические мелиораторы, функционирование которых способствует улучшению качества оросительных вод.

Ключевые слова: мелиоративные оросительные системы; двустворчатые моллюски; седиментация; тяжелые металлы.

Подання до редакції : 20. 05. 2021
Надходження остаточної версії : 25. 05. 2021
Публікація статті : 30. 06. 2021