

1. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод* / О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. М. Дьяченко [та ін.]. – К.: Логос, 2006. – 408 с.
2. *Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України* / В.Д.Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксїюк [та ін.] – К.: ВІПОЛ, 2001. – 48 с.
3. *Оксїюк О. П.* Особенности фитопланктона киевского участка Каневского водохранилища в зависимости от режима работы Киевской ГЭС / О. П. Оксїюк, О. А. Давыдов, Г. В. Меленчук, Ю. И. Карпезо // Гибробиол. журн. – 2000. – Т. 36, № 1. – С. 29–38.
4. *Тимченко В. М.* Экологические аспекты водного режима Киевского участка Каневского водохранилища / В. М. Тимченко, С. С. Дубняк // Гибробиол. журн. – 2000. – Т. 36, № 3. – С. 57–67.

*Ю.Н. Воликов, Т.С. Рыбка*

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВНОГО РЕЧНОГО РУСЛА КИЕВСКОГО УЧАСТКА КАНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ МАКРОЗООБЕНТОСА И ЗООПЛАНКТОНА

Приведены результаты исследований экологического состояния участков основного русла киевской части Каневского водохранилища по количественным и качественным показателям сообществ макрозообентоса и зоопланктона. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что оценки эколого-санитарного состояния по использованным показателям сообществ макрозообентоса и зоопланктона существенно отличаются. Для анализа состояния речных участков по показателям сообществ зоопланктона обязательно привлечение данных гидрологических наблюдений.

*Ключевые слова:* зоопланктон, зообентос, экологическое состояние

*Yu.N. Volikov, T.S. Rybka*

Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine, Kyiv

## ECOLOGICAL AND SANITARY CONDITION OF MAIN RIVERBED KYIV PART OF KANEVSKOGO RESERVOIR ON MACROZOOBENTHOS AND ZOOPLANKTON INDICATORS

The results of studies of ecological state of some parts of main Kyiv riverbed of Kanevskogo reservoir by quantitative and qualitative indicators of the macrozoobenthos and zooplankton are in the article. The results suggest that estimation of ecological and sanitary conditions with applied macrozoobenthos and zooplankton are rather differ. River parts conditions analysis within index of zooplankton must be done using hydrological observations.

*Keywords:* zooplankton, zoobenthos, ecological conditions

УДК (57.017.7+577.122)582.263

Г.Б. ВІНІАРСЬКА, О.І. БОДНАР, А.В. СТАНІСЛАВЧУК, В.В. ГРУБІНКО

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка  
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна

## НАКОПИЧЕННЯ ЕСЕНЦІАЛЬНИХ МЕТАЛІВ МАКРОМОЛЕКУЛАМИ *CHLORELLA VULGARIS* BEIJ. (*CHLOROPHYTA*) У ПРИСУТНОСТІ СЕЛЕНІТУ НАТРІЮ

Досліджували накопичення металів у біомасі та основних макромолекулах клітин *Chlorella vulgaris* Beij. за дії солей металів у концентраціях:  $Zn^{2+}$  – 5 мг/дм<sup>3</sup>,  $Mn^{2+}$  – 0,25 мг/дм<sup>3</sup>,  $Cu^{2+}$  – 0,002 мг/дм<sup>3</sup>,  $Fe^{3+}$  – 0,008 мг/дм<sup>3</sup>,  $Co^{2+}$  – 0,05 мг/дм<sup>3</sup>, за їх сумісної дії із селенітом натрію (10,0 мг  $Se^{4+}$ /дм<sup>3</sup>) протягом 7-ми діб експозиції. Встановлено, що протягом всього періоду

експозиції клітини *Ch. vulgaris* накопичували більшість металів, окрім  $\text{Cu}^{2+}$ . Ліпіди порівняно із вуглеводами та білками включали найбільшу кількість досліджуваних металів. Серед усіх досліджуваних мікроелементів найбільше накопичувався  $\text{Zn}^{2+}$  як у біомасі водоростей, так і у складі окремих фракцій досліджених органічних сполук.

*Ключові слова:* *Chlorella vulgaris* Beij., поглинання, селеніт натрію, іони металів, вуглеводи, білки, ліпіди

Водорості володіють високою здатністю до акумуляції іонів як неметалів, так і металів, що зумовлено високою адсорбційною ємністю їх клітинних оболонок щодо хімічних сполук, значною асиміляційною поверхнею, здатністю клітин активно поглинати речовини проти градієнту концентрації, та, можливо, менш розвинутими механізмами регуляції обміну металів та неметалів. Завдяки цим властивостям мікроводорості здатні накопичувати мікроелементи в кількостях, які в рази перевищують їх вміст у воді [2, 4].

Високу біоаккумуляцію неорганічних солей та утворення їх біокомплексів з макромолекулами клітин водоростей *in vivo* можна використати для одержання біологічно активних добавок, які вміщують необхідні для організму мікроелементи, наприклад селен та іони біогенних металів [3, 4].

Клітини водоростей здатні адаптуватися до іонів металів, використовуючи різні механізми: внутрішньоклітинне зв'язування, екскреція іонів металів у культуральне середовище, зв'язування їх екзометаболітами [3, 4, 8]. Дослідження засвідчують, що невисокі дози селену володіють здатністю знижувати токсичну дію деяких металів. Також селеніти можуть взаємодіяти та адсорбувати різні види металів, тому можуть розглядатися як хімічні депо мікроелементів різного фізіологічного значення [8, 9].

З огляду на зазначене досліджували накопичення металів у біомасі та основних макромолекулах клітин *Chlorella vulgaris* Beij. за дії  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  одночасно із селенітом натрію ( $10,0 \text{ мг Se}^{4+}/\text{дм}^3$ ).

### Матеріал і методи досліджень

Дослідження проводили на мікропопуляціях альгологічно чистої культури зеленої прісноводної водорості *Chlorella vulgaris* Beij. Хлорелу вирощували в умовах накопичувальної культури на середовищі Фітцджеральда в модифікації Цендера і Горхема №11 при температурі  $22-25^{\circ}\text{C}$  та освітленні лампами денного світла (інтенсивність  $2500 \text{ лк}$ ) протягом 16 год. на добу [5].

В експериментальних умовах в культуральне середовище водоростей додавали водний розчин селеніту натрію з розрахунку  $10,0 \text{ мг Se}^{4+}/\text{дм}^3$  та водні розчини солей металів з розрахунку на кількість іонів:  $\text{Zn}^{2+} - 5 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ,  $\text{Mn}^{2+} - 0,25 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ,  $\text{Cu}^{2+} - 0,002 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ,  $\text{Fe}^{3+} - 0,008 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ,  $\text{Co}^{2+} - 0,05 \text{ мг}/\text{дм}^3$ .

Відбір зразків біомаси водоростей для визначення особливостей процесу накопичення металів за сумісної дії із селеном здійснювали на 7-му добу експерименту. Як контроль використовували культури водоростей без додавання у середовище сполук селену і металів.

Вміст металів у клітинах хлорели, визначали атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі Selmi C-115 M1. [1].

### Результати досліджень та їх обговорення

Проведені нами дослідження показали, що при культивуванні хлорели в середовищі з селенітом натрію та іонами металів  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  і  $\text{Co}^{2+}$  вміст останніх в біомасі водоростей значно збільшився (рис. 1). Так, вміст  $\text{Co}^{2+}$  щодо контрольних показників збільшився на 18,94%,  $\text{Mn}^{2+}$  – на 168,33%,  $\text{Zn}^{2+}$  – на 4,72% та  $\text{Fe}^{3+}$  – на 6,14%. Однак, при одночасному внесенні в культуральне середовище селеніту і  $\text{Cu}^{2+}$  спостерігали зменшення вмісту міді на 5,36% порівняно із контролем.

Отримані результати зумовлені, головним чином, високою адсорбційною ємністю клітинних оболонок водоростей щодо додаткового впливу металів, значною асиміляційною поверхнею, та, можливо, менш розвинутими механізмами регуляції обміну мікроелементів. Однак, це може бути пов'язано і з тим, що іони металів у використаних концентраціях могли спричинити певні порушення фізіологічних функцій і структурні зміни у клітинах, в тому числі

функціональні порушення клітинних оболонок, що, в свою чергу, є причиною неконтрольованого проникнення металів усередину клітин *Ch. vulgaris* [6, 7].

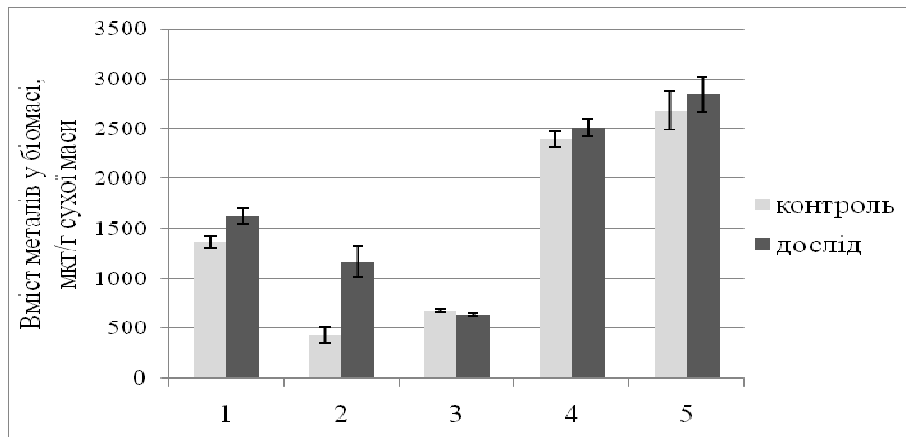


Рис. 1. Вміст металів у біомасі *Ch. vulgaris*: 1 –  $\text{Se}^{4+} + \text{Co}^{2+}$ ; 2 –  $\text{Se}^{4+} + \text{Mn}^{2+}$ ; 3 –  $\text{Se}^{4+} + \text{Cu}^{2+}$ ; 4 –  $\text{Se}^{4+} + \text{Zn}^{2+}$ ; 5 –  $\text{Se}^{4+} + \text{Fe}^{3+}$

Відомо, що мікрободорості здатні асимільовані з води розчинені неорганічні сполуки нагромаджувати в клітинах у складі вільних амінокислот, білків, ферментів, полісахаридів, каротиноїдних пігментів і ліпідів [4]. Тому, було актуальним визначення особливостей включення досліджуваних мікроелементів до складу основних органічних макромолекул (рис. 2).

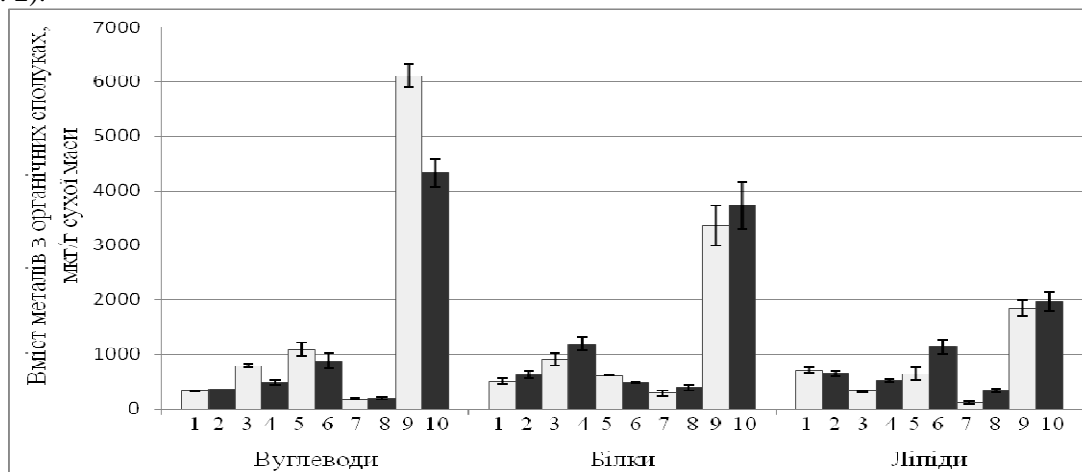


Рис. 2. Вміст металів в органічних сполуках клітин *Ch. vulgaris*: 1, 2 –  $\text{Se}^{4+} + \text{Co}^{2+}$  (контроль, дослід); 3, 4 –  $\text{Se}^{4+} + \text{Mn}^{2+}$  (контроль, дослід); 5, 6 –  $\text{Se}^{4+} + \text{Cu}^{2+}$  (контроль, дослід); 7, 8 –  $\text{Se}^{4+} + \text{Zn}^{2+}$  (контроль, дослід); 9, 10 –  $\text{Se}^{4+} + \text{Fe}^{3+}$  (контроль, дослід).

Акумуляція вуглеводами металів  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  та  $\text{Fe}^{3+}$  за їх сумісної дії із селенітом зменшувалась практично у всіх варіантах дослідів. Так, вміст  $\text{Mn}^{2+}$  був нижчим від контрольних значень на 38%,  $\text{Cu}^{2+}$  – на 19,7% та  $\text{Fe}^{3+}$  – на 29,2%. Лише внесення  $\text{Co}^{2+}$  і  $\text{Zn}^{2+}$  в культуральне середовище обумовлювало збільшення їх кількості у вуглеводній фракції на 14,4% та 5,7% порівняно із контролем.

Встановлено, що клітинами активніше поглинаються та накопичуються хімічні елементи, які здатні реагувати з транспортними білками або білковими групами клітинних мембран, тому вони легко і швидко засвоюються водними організмами та включаються в метаболічні процеси [2, 8]. Тому у білках, порівняно з вуглеводами, спостерігалось підвищення накопичення досліджуваних металів за присутності селеніту практично у всіх варіантах дослідів. Так, вміст

$\text{Co}^{2+}$  у білках, після внесення у середовище культивування *Ch. vulgaris* збільшився на 20,7% щодо контролю. Схожі результати отримані і при внесенні в культуральне середовище солей  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  та  $\text{Fe}^{3+}$ . Кількість  $\text{Mn}^{2+}$  збільшилася порівняно із контролем на 30,5%,  $\text{Zn}^{2+}$  – на 36,3% та  $\text{Fe}^{3+}$  – лише на 10,9%. Поряд з цим, у білках спостерігали зменшення тільки одного досліджуваного металу –  $\text{Cu}^{2+}$  на 20,2% щодо контрольних значень.

Ліпіди акумулювали найбільшу кількість досліджуваних металів порівняно із вуглеводами та білками. Вміст марганцю за сумісної дії з селенітом збільшився порівняно із контролем на 61,5%,  $\text{Cu}^{2+}$  – на 77,1%,  $\text{Zn}^{2+}$  – на 189,6% та  $\text{Fe}^{3+}$  – лише на 6,5%, однак вміст  $\text{Co}^{2+}$  зменшився на 8,5% щодо контролю.

Оскільки між основними органічними макромолекулами існують певні метаболічні зв'язки, то у співвідношеннях вмісту досліджуваних металів, за сумісної дії із селенітом, у вуглеводах:білках:ліпідах також встановлено певну залежність (табл.).

Таблиця

Співвідношення вмісту металів у макромолекулах *Ch. vulgaris*

Метали	Вуглеводи:білки:ліпіди	
	контроль	метал + $\text{Se}^{4+}$
$\text{Co}^{2+}$	1:1,6:2,2	1:1,7:1,8
$\text{Mn}^{2+}$	1:1,2:0,4	1:2,4:1,1
$\text{Cu}^{2+}$	1:0,6:0,6	1:0,6:1,3
$\text{Zn}^{2+}$	1:1,6:0,6	1:2:1,7
$\text{Fe}^{3+}$	1:0,6:0,3	1:0,9:0,5

Як видно із отриманих даних, за додаткового впливу  $\text{Co}^{2+}$  його вміст в органічних сполуках зменшився порівняно з контролем, лише у складі ліпідів металу стало більше. Щодо  $\text{Mn}^{2+}$  та  $\text{Zn}^{2+}$ , то за їх додаткового впливу кількість цих металів порівняно із даними у контрольних рослинах, значно збільшилась у складі білків і ліпідів. Вміст  $\text{Cu}^{2+}$  був найбільшим у складі ліпідів, тоді як кількість  $\text{Fe}^{3+}$  – у вуглеводах, за їх додаткового впливу.

Значне накопичення металів у ліпідах пов'язано з їх взаємодією, насамперед, з фосфоліпідами та жирними кислотами та здатністю абсорбуватися тригліцеридами. Крім того, відомо, що селен заміщує у  $-\text{SH}$  групах сірку, яка, на відміну від селену, має вищу спорідненість до іонів перехідних металів, тому останні за присутності селеніту менше зв'язуються білками, а адсорбуються чи зв'язуються ковалентно з окремими фракціями ліпідів.

Отримані результати, очевидно, пов'язані із різною структурною, функціональною та фізіологічною роллю білків, вуглеводів та ліпідів за дії додаткового впливу металів у комбінації із селенітом, коли перші дві фракції виявилися більш лабільними та динамічними, ніж ліпідна, яка виконує роль своєрідного «депо» металів.

## Висновки

Встановлено накопичення біомасою клітин *Ch. vulgaris* протягом 7-ми діб інкубації у присутності селеніту натрію ( $10,0 \text{ мг } \text{Se}^{4+}/\text{дм}^3$ )  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ , крім  $\text{Cu}^{2+}$ . Найбільше метали включалися порівняно із вуглеводами та білками до складу ліпідів.

Серед усіх досліджуваних мікроелементів найвище накопичення як в біомасі водоростей, так і у складі окремих фракцій органічних сполук клітин *Ch. vulgaris* протягом всього дослідження виявлено для  $\text{Zn}^{2+}$ . З огляду на важливу біологічну роль (участь в окисно-відновних процесах, у синтезі цитохромів *a* і *b* та хлорофілу, регуляція біосинтезу нуклеїнових кислот, тощо) цинку та високу функціональну активність, підвищення його вмісту у клітинах водоростей може зумовлювати активізацію метаболічних та фотосинтетичних процесів [2, 7].

Виявлений ефект може послужити основою для біотехнологічного отримання цинк-селен-ліпідного біологічно активного комплексу.

1. Атомно-абсорбционная спектроскопия : методические указания / [сост. Д. Хавезов, И. Цалев]. – Л.: Химия, 1983. – 144 с.
2. Боднар О. І. Адаптивні властивості водоростей за дії іонів металів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спеціальність 03.00.17 – Гідробіологія / О. І. Боднар. – Київ, 2009. – 22 с.

3. Голтвянський А. В. Біоаккумуляція іонів металів клітинами зелених водоростей та одержання біомаси, багатой на мікроелементи : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спеціальність 03.00.20 – Біотехнологія / А. В. Голтвянський. – Київ, 2002. – 17 с.
4. Золотарьова О. К. Перспективи використання мікроводоростей у біотехнології / О. К. Золотарьова, Є. І. Шнюкова, О. О. Сиваш, Н. Ф. Михайленко. – К.: Альтерпрес, 2008. – 234 с.
5. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Л. А. Сирено, А. И. Сакевич, Л. Ф. Осипов [и др.]; под ред. А. В. Топачевского. – К.: Наукова думка, 1975. – 247 с.
6. Сим Э. Биохимия мембран / Э. Сим. – М.: Мир, 1985. – 110 с.
7. Metzler D.E. Biochemistry: The Chemical Reactions of Living Cells. 2nd edition. – New York – London: Academic Press, 2003. – 1973 p.
8. Prevot P. Responses to the action of cadmium and selenium in two dinoflagellates *Prorocentrum micans* and *Cryptocodinium cohnii* / P. Prevot, M. O. Soyer-Gobillard // Ministère de l'Environnement, Paris (France). Com. Scientifique Milieu Marin. – 1988. – Vol. 14, № 1. – P. 267–271.
9. Uminska R. Selenium in human environment / R. Uminska // Roczn. Panstw. Zakl. Hig. – 1990. – Vol. 41. – P. 25–34.

Г.Б. Винярская, О.И. Боднар, А.В. Станиславчук, В.В. Грубинко

Тернопольский национальный педагогический университет имени Владимира Гнатюка, Украина

#### НАКОПЛЕНИЕ ЭСSENЦИАЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ МАКРОМОЛЕКУЛАМИ *CHLORELLA VULGARIS* BEIJ. (CHLOROPHYTA) В ПРИСУТСТВИИ СЕЛЕНИТА НАТРИЯ

Исследовали накопление эссенциальных металлов в биомассе и основных макромолекулах клеток *Chlorella vulgaris* Beij. при действии солей металлов в концентрациях:  $Zn^{2+}$  – 5 мг/дм<sup>3</sup>,  $Mn^{2+}$  – 0,25 мг/дм<sup>3</sup>,  $Cu^{2+}$  – 0,002 мг/дм<sup>3</sup>,  $Fe^{2+}$  – 0,008 мг/дм<sup>3</sup>,  $Co^{2+}$  – 0,05 мг/дм<sup>3</sup> при их совместном действии с селенитом натрия (10,0 мг  $Se^{4+}$ /дм<sup>3</sup>) в течение 7-ми суток экспозиции. Установлено, что в течение всего периода экспозиции клетки *Ch. vulgaris* накапливали большинство металлов, кроме  $Cu^{2+}$ . Липиды, по сравнению с углеводами и белками, включали большее количество исследуемых металлов. Из всех исследуемых микроэлементов больше всего накапливался  $Zn^{2+}$  как в биомассе водорослей, так и в составе отдельных фракций исследованных органических соединений.

**Ключевые слова:** *Chlorella vulgaris* Beij., поглощение, селенит натрия, ионы металлов, углеводы, белки, липиды

H.B. Viniarska, O.I. Bodnar, A.V. Stanislavchuk, V.V. Grubinko

Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

#### ACCUMULATION OF ESSENTIAL METALS MACROMOLECULES *CHLORELLA VULGARIS* BEIJ. (CHLOROPHYTA) IN THE PRESENCE OF SODIUM SELENITE

The metals accumulation in *Chlorella vulgaris* Beij. biomass and main macromolecules cell under 7 days influence of metal salts in concentrations:  $Zn^{2+}$  – 5 mg/dm<sup>3</sup>,  $Mn^{2+}$  – 0,25 mg/dm<sup>3</sup>,  $Cu^{2+}$  – 0,002 mg/dm<sup>3</sup>,  $Fe^{3+}$  – 0,008 mg/dm<sup>3</sup>,  $Co^{2+}$  – 0,05 mg/dm<sup>3</sup> for their combined effect with sodium selenite (10.0 mg  $Se^{4+}$ /dm<sup>3</sup>) was investigated. Established that during the whole period of exposure *Ch. vulgaris* cells accumulated all metals, except  $Cu^{2+}$ . Comparatively lipids included bigger amount metals than carbohydrates and proteins. Comparatively with other metals,  $Zn^{2+}$  included both in a biomass of algae and in individual fractions of organic components of cells most actively.

**Keywords:** *Chlorella vulgaris*, absorption, sodium selenite, metal ions, carbohydrates, proteins, lipids