

Ribogospod. nauka Ukr., 2016; 3(37): 32-46
DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/fsu2016.03.032>
УДК 556.114:[628.394.17:546.77]

БИОЛОГІЧНА РОЛЬ ТА ТОКСИЧНА ДІЯ МОЛІБДЕНУ У ГІДРОЕКОСИСТЕМАХ (ОГЛЯД)

І. І. Грициняк, hrytsyniak@if.org.ua, Інститут рибного господарства НААН, м. Київ
Д. О. Янович, yandeni@yandex.ru, Львівський національний університет
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, м. Львів
Т. М. Швець, library@if.org.ua, Інститут рибного господарства НААН, м. Київ

Мета. *Наслідками антропогенного впливу на екосистеми водойм, як правило, є надходження до них ксенобіотиків різної природи або перевищення природного фону біогенних мікроелементів, що в кінцевому результаті призводить до негативних змін в структурі угруповань водної біоти, порушень процесів життєдіяльності окремих представників флори та фауни. Наслідки подібних явищ виявляються у зниженні продуктивності водойм, збідненні їх видового складу, а згодом — непридатності певних водних об'єктів для ведення рибогосподарської діяльності.*

Вивчення, аналіз та узагальнення інформації стосовно шляхів надходження токсикантів до водойм, їхньої поведінки у гідроекосистемах, можливих наслідків впливу на гідробіонтів різних трофічних рівнів мають важливе теоретичне та практичне значення. Поведінкові, фізіолого-біохімічні, цито- і гістологічні, а також генетичні реакції гідробіонтів на дію тих чи інших хімічних елементів можуть служити обґрунтуванням для вжиття необхідних заходів з покращення екологічного стану водних об'єктів або ж запобігання та уникнення потенційних небезпек для водного населення. Метою даної роботи є аналіз і узагальнення наявних літературних відомостей з питань ролі відносно маловивченого мікроелемента молібдену у гідроекосистемах, його біологічного значення та токсичного впливу для мешканців водойм.

Результати. *Представлені у статті дані одержано на підставі узагальнення існуючих публікацій вітчизняних та іноземних авторів. Зокрема, описано гідрохімічні властивості молібдену та його сполук, можливі джерела надходження до водних об'єктів, шляхи їх міграції. Представлено коротку характеристику методик визначення та контролю вмісту елемента у водному середовищі. Розкрито біофільні властивості молібдену для організмів водної флори та фауни, вплив на їхні продукційні показники. Наведено відомості щодо біоаккумуляційного потенціалу молібдену, а також особливостей його розподілу у тканинах і органах гідробіонтів. Розглянуто адаптаційні реакції організму водних рослин, безхребетних тварин і риб в умовах підвищених концентрацій елемента у воді, можливі згубні наслідки такої дії для біоти на різних рівнях — клітинному, тканинному та на рівні організму. Окреслено перспективи та теоретичні засади подальших досліджень щодо наявності молібдену та його дії в екоотоксикологічному аспекті.*

Наукова новизна. *Стаття містить узагальнення результатів досліджень, проведених з середини минулого століття і по теперішній час, щодо значення і функцій молібдену у гідроекосистемах та організмі окремих видів водної біоти, відомості стосовно його екоотоксичного впливу за надлишкового надходження до водойм.*

Практична значимість. *Представлені у статті дані обґрунтовують актуальність заходів щодо запобігання та уникнення потенційних небезпек для водних організмів, пов'язаних з надходженням до водойм значних кількостей молібдену у складі сільськогосподарських стоків та промислових викидів.*

Ключові слова: *молібден, гідробіонти, водорості, безхребетні тварини, риби, есенціальність, токсичність.*

© І. І. Грициняк, Д. О. Янович, Т. М. Швець, 2016



ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Молибден — есенціальний елемент для біоти водойм. Як і інші мікроелементи, за фізіологічно обґрунтованих концентрацій він сприяє нормальному перебігу фізіологічних процесів в організмі гідробіонтів, тоді як за підвищених — провокує порушення обміну речовин, росту та розвитку [1, 2]. Значне зростання концентрацій елемента у воді безпосередньо пов'язано з антропогенною діяльністю. На фоні посилення техногенного навантаження на водні об'єкти, докладного вивчення та узагальнення потребують питання адаптаційної реакції гідроекосистем, зокрема їх біотичних компонентів, на дію хімічних елементів. Молибден є одним з малодосліджених в цьому аспекті елементів — потенційних забруднювачів, що зумовлює актуальність даної роботи.

Хімічні властивості, форми та шляхи надходження молибдену до водних об'єктів. Молибден — перехідний метал. У поверхневих водах він знаходиться головним чином у формі оксианіону MoO_4^{2-} . Полімеризація молибдену можлива лише за його концентрації, що перевищує 100 мг/дм^3 , і за значення рН від 5 до 6 [3]. Можливе існування сполук молибдену у вигляді органокомплексів, а також його комплексоутворення з гумусовими речовинами. Дослідження вмісту елемента у воді р. Дніпро виявило, що близько 60–80% шестивалентного молибдену зв'язано у комплекси з високомолекулярними органічними речовинами природних вод, решта представлена молибдат-іонами. Міграція молибдену у гідроекосистемах характеризується невисокою інтенсивністю та визначається перш за все його розчиненими формами [4–8].

У річкових водах елемент виявлений в концентраціях від 2,1 до $10,6 \text{ мкг/дм}^3$, у морській воді — $10,0 \text{ мкг/дм}^3$. Донні відклади містять його у межах від 0,2 до $120,0 \text{ мг/кг}$ маси сухої речовини [4, 9].

Сполуки молибдену надходять до поверхневих вод внаслідок вилуговування з мінералів, що містять цей елемент, зі стічними водами збагачувальних заводів, підприємств кольорової металургії, сільськогосподарських угідь, внаслідок згоряння вугілля і мазуту теплоенергетичних установок теплоцентралей з подальшим забрудненням ґрунтів та змивами з останніх до водних об'єктів, у складі добрив. Зниження концентрації сполук елемента у водному середовищі відбувається в результаті випадіння в осад важкорозчинних сполук, процесів адсорбції мінеральними суспензіями і біоабсорбції гідрофітами [4, 5, 10, 11].

Колівання вмісту молибдену у гідроекосистемах носить сезонний характер. Так, планктонні водорості водойм з уповільненим водопостачанням, накопичуючи молибден, сприяють його трансформації з розчинної у завислу форму. При відмиранні фітопланктону частина його седиментує на дно, таким чином знижуючи концентрацію елемента у водному середовищі [12]. Зростання вмісту молибдену у воді та донних відкладах ставів зазвичай спостерігається з липня по вересень [13].

Методики дослідження вмісту сполук молибдену у воді. З огляду на потенційну токсичність елемента та його сполук для водної біоти, концентрація їх у воді рибогосподарських та інших водних об'єктів підлягає нормуванню. Разом з тим, у вітчизняних нормативних документах, які регламентують якість води у



водоймах рибогосподарського призначення, норми вмісту молібдену вказані на рівні $0,0012 \text{ мг/дм}^3$, згідно «Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів» (2009 р.), з віднесенням його до 2-го класу небезпеки (високонебезпечні речовини), а молібденового (VI) комплексу 1-оксиетилідендифосфонової кислоти — $0,900 \text{ мг/дм}^3$, клас небезпеки 3 (небезпечні речовини) [14].

В процесі проведення гідрохімічних вимірювань, з метою визначення та контролю вмісту молібдену та його сполук у природних та стічних водах, оперують кількома методами [9, 15–17]:

1. Атомно-абсорбційної спектрометрії з електротермічною атомізацією (ААС-ЕТА), що базується на вимірюванні поглинання випромінювання резонансної довжини хвилі атомною парою досліджуваного елемента, яка утворюється в результаті електротермічної атомізації аналізованої проби у графітовій печі спектрометра. Використовується за діапазону концентрацій молібдену в межах від $0,001$ до $0,200 \text{ мг/дм}^3$.

2. Атомно-емісійної спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (АЕС-ІЗП), в основу якого покладено вимірювання інтенсивності випромінювання атомів досліджуваного елемента, яке виникає під час розпилювання аналізованої проби в аргоніву плазму, індуктивно збуджувану радіочастотним електромагнітним полем. Застосовується за вмісту молібдену від $0,001$ до $10,000 \text{ мг/дм}^3$.

3. Інверсійної вольтамперометрії (ІВА) — за діапазону концентрацій елемента від $0,2$ до $10,0 \text{ мг/дм}^3$.

4. Фотометричними методами:

– роданідним (заснований на утворенні забарвленої у помаранчево-червоний колір комплексної сполуки п'ятивалентного молібдену з роданідом) — з чутливістю за об'єму проби 100 см^3 — $2,5 \text{ мкг/дм}^3$. Ряд авторів наголошують на низькій продуктивності даного методу;

– методом з цинк-дитіолом (базується на утворенні в кислому середовищі забарвленої у зелений колір комплексної сполуки молібдену з цинк-дитіолом, екстрагуванні її хлороформом з подальшим фотометруванням екстракту за $650\text{--}680 \text{ нм}$) — за діапазону концентрацій елемента у межах від $0,05$ до $2,50 \text{ мг/дм}^3$.

Біологічна роль молібдену у гідроекосистемах та організмі гідробіонтів.

Молібден — біофільний мікроелемент, вкрай важливий для нормального перебігу процесів життєдіяльності гідробіонтів. Він є стимулятором росту для представників фітопланктону, перифітону та макрофітів. За його нестачі порушується фіксація молекулярного азоту повітря водними рослинами, а, отже, їхня фотосинтетична активність, уповільнюється їх ріст [18, 19].

У невеликих кількостях молібден, як і ряд інших мікроелементів, необхідний для нормального розвитку риб. Він є кофактором щонайменше семи ферментів і компонентом залізо-молібденового флавопротеїну ксантиноксидази, в живих організмах представленого у вигляді ксантиндегідрогенази, включеної в пуриновий обмін, та альдегідоксидази і сульфітоксидази, необхідних відповідно для функціонування печінки риб і метаболізму сірковмісних сполук, в тому числі



амінокислот. Молібден інтенсифікує синтез РНК, бере участь в утворенні аскорбінової кислоти. Він забезпечує високий рівень імунітету, підвищує фагоцитарну активність лейкоцитів, бактеріостатичні властивості крові. Вміст його у воді за концентрації 0,001–0,050 мг/дм³ сприяє нормальному розвитку ембріонів риби, зростанню виходу життєстійких передличинок та личинок [2, 4, 11, 12, 20–24].

Молібден входить до складу добрив, що вносяться до рибницьких ставів, а також рибних комбікормів. Доведено його позитивний вплив на рибопродуктивність водойм, ріст, процеси регенерації, харчову активність, репродуктивну функцію та фізіологічні показники риби. Застосування мікродобавок молібдену сприяє більш економному використанню енергетичних ресурсів організму під час зимівлі, скороченню витрат кормів для риби впродовж вегетаційного періоду. Крім того, Кузнєцовою Л. П. був показаний захисний ефект оброблення риби молібденом на ранніх стадіях онтогенезу за умов забруднення води фенолами. В процесі проведених нею досліджень спостерігалось зростання резистентності та виживання передличинок коропа, яких піддавали обробленню молібдатом натрію за концентрації 0,05 мг/дм³ [20, 25–29].

Токсичний вплив молібдену на життєдіяльність водної біоти. Молібден, хоч і відноситься до есенціальних елементів, однак, за високих концентрацій здатний спричинити токсичний вплив на гідробіонтів (табл. 1). При цьому вважається, що рослини характеризуються значною стійкістю до підвищеного вмісту молібдену у воді. Деякі види прісноводних водоростей можуть нагромаджувати елемент до 20 г/кг сухої маси без виявлення будь-яких патологічних ознак [9, 18].

Чутливі види прісноводної флори демонструють негативні реакції на вплив токсиканта затримкою росту за концентрації на рівні 50 мг/дм³, порушеннями розвитку — 108 мг/дм³ (табл. 1) [18].

Таблиця 1. Реакції водних рослин та безхребетних тварин на дію розчинених у воді сполук молібдену [18, 19, 30–33]

Організм	Концентрація молібдену, мг/дм ³	Експозиція	Ефект
Хлорела <i>Chlorella vulgaris</i>	50,00	96 год.	Зниження швидкості росту
Евглена <i>Euglena viridis</i>	108,00	–	Порушення росту і розвитку; клітини утворюють скупчення
	Понад 960,00	–	Припинення росту
Амфіподи	247,00	96 год.	LC ₅₀
Гіллястовусі ракоподібні	34,40	96 год.	EC ₅₀
	0,93	27 діб	LC ₅₀
Веслоногі ракоподібні	100,00	24 год.	Скорочення споживання кисню
	560,00	19 діб	LC ₅₀
Тубіфіциди	29,00	96 год.	EC ₅₀



Основним шляхом надходження молібдену до організму риб є зябра, звідки з кров'ю він переноситься до печінки, найімовірніше, у формі молібдату [11, 34, 35].

Депонують токсикант переважно скелет, печінка, зябра і травний тракт. Вміст елемента в організмі риб залежить від його концентрації у водному середовищі. Вміст молібдену в тканинах райдужної форелі *Oncorhynchus mykiss* Walbaum за концентрації токсиканта у воді менш ніж $0,006 \text{ мг/дм}^3$ перевищував цей показник: у м'язах — в 1,7 рази, в печінці — у 80,0 разів. З іншого боку, за вмісту молібдену у воді на рівні $0,3 \text{ мг/дм}^3$ накопичення токсиканта в тканинах риб було меншим порівняно з його концентрацією в середовищі. Та ж залежність була показана на прикладі нерки *Oncorhynchus nerka* Walbaum [11, 20, 35, 36].

Експерименти з в'юном *Misgurnus fossilis* Linnaeus, райдужною фореллю та коропом *Cyprinus carpio* Linnaeus продемонстрували, що максимальний показник акумулювання молібдену характерний для скелету — до $4,8 \text{ мг/кг}$ для в'юна. Поясненням цьому може бути властивість кісткового матриксу міцно утримувати молібден, який витісняє кальцій і фосфор внаслідок фізіологічного антагонізму. За збільшенням рівня нагромадження токсиканта органи і тканини риб утворюють такі ряди: м'язи → печінка → кишечник → шкіра з лускою → скелет — для в'юна, витримуваного без годівлі; м'язи → нутроці → шкіра з лускою → скелет — для коропа, якому згодовували гранульований комбікорм з додаванням молібдену [20]. Для райдужної форелі з природної водойми цей ряд мав вигляд: селезінка → печінка → скелет; для нерки: печінка → нирки → скелет [36, 37].

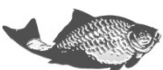
Максимальні концентрації молібдену у печінці, нирках та зябрах райдужної форелі, виловленої з водосховища, зафіксовані Ward J. V., становили відповідно $0,223$; $0,147$ та $0,201 \text{ мг/г}$ сухої маси; у нерки цей показник для перших двох вказаних органів складав $0,100$ та $0,124 \text{ мг/г}$ сухої маси. Відношення вмісту елемента у печінці до такого у м'язах райдужної форелі складало $4,1$; нирки : м'язи — $8,7$ [36, 37].

На підставі результатів низки гострих та хронічних експериментів молібден можна віднести до малотоксичних елементів (табл. 2). Середні летальні концентрації молібдену за 96-годинної експозиції для риб коливаються від 70 до $10\,000 \text{ мг/дм}^3$, залежно від виду, розміру, стадії їх розвитку, а також гідрохімічних показників середовища [11].

Механізм токсичної дії молібдену в організмі риб остаточно не з'ясований. Втім, існують відомості щодо поведінкових, фізіолого-біохімічних, гістологічних та інших проявів реакцій організму риб на вплив високих концентрацій елемента у воді.

За вмісту $1500\text{--}2000 \text{ мг/дм}^3$ води у риб спостерігається спорадичний «кашель» протягом перших 12 год. експозиції. За вмісту молібдену 1000 мг/дм^3 протягом 96-годинного експерименту подібних явищ не було виявлено [34].

За концентрації у воді токсиканта на рівні 1500 мг/дм^3 у райдужної форелі зафіксовано численні патологічні зміни: склеювання зябрових пелюсток, крововиливи в кишечнику, пілоричних придатках, печінці та нирках. За $100\text{--}1000 \text{ мг/дм}^3$ у молоді форелі виявляли патологічні зміни в органах і тканинах: набряк зябрових пелюсток, відшарування, дистрофію і некробіоз респіраторного



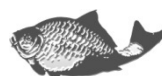
епітелію; значні ділянки потоншення та ушкодження епідермісу шкіри, проліферацію епітеліальних клітин; зернисту та вакуольну дистрофію печінкових клітин з подальшим некробіозом окремих гепатоцитів; атрофію екскреторних клітин підшлункової залози; гіперемію синусоїдів паренхіми, зернисту дистрофію та розпад епітелію нирок; порушення кровообігу у внутрішніх органах [20, 38, 39].

Таблиця 2. Гостра токсичність молібдену (LC_{50}) для риб за експозиції 96 год. [1, 11, 20, 27, 34, 39–43]

Вид риб	Концентрація молібдену, мг/дм ³	pH	Твердість води, мг/дм ³
Білий чукучан <i>Catostomus commersoni</i> Lacépède	понад 2000	–	–
В'юн <i>Misgurnus fossilis</i> Linnaeus:			
ембріони	4534	–	–
передличинки	5436		
Гуппі <i>Poecilia reticulata</i> Peters	6400	–	–
Канальний сом <i>Ictalurus punctatus</i> Rafinesque	понад 10000	–	–
Кижуч <i>Oncorhynchus kisutch</i> Walbaum	понад 1000	7,6–7,8	42–211
Короп <i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus:			
ембріони	4361	–	–
передличинки	5426		
однорічки	5000		
Нерка <i>Oncorhynchus nerka</i> Walbaum	понад 2000	7,5	80
Райдужна форель <i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum	800–1320	–	25
	1000–7340	–	–
Синьозябровий сонячний окунь <i>Lepomis macrochirus</i> Rafinesque	6790	–	–
Товстоголовий американський голянь <i>Pimephales promelas</i> Rafinesque	7630	–	–
Чавича <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> Walbaum	понад 1000	7,6–7,8	42–211

Хронічний 3-місячний вплив молібдену за концентрації його 100 мг/дм³ води на молодь райдужної форелі призводив до істотних змін гематологічних показників: анізоцитозу і пойкилоцитозу, значної вакуолізації цитоплазми еритроцитів, зміни їх забарвлення, збільшення гіалозернистих лейкоцитів та зниження кількості лімфоцитів.

Вплив токсиканта на рівні 100 мг/дм³ і вище призводив до зниження заплідненості ікри на 10–13%. На ранніх стадіях розвитку риб за його вмісту понад 1000 мг/дм³ спостерігається значна загибель ембріонів, особливо на етапах гастрюляції, збільшення випадків каліцтв серед передличинок, виникнення у них



деформацій хорди та водянки жовткового мішка, зниження кількісного виживання личинок. Концентрація молібдену 10000 мг/дм^3 є гостротоксичною для мальків райдужної форелі, викликає порушення координації та руху зябрових кришок у її цьоголіток, провокуючи загибель на третю добу досліду [20].

Токсична дія молібдену проявляється також порушеннями газообміну і внутрішнього кислотно-лужного статусу риб. Особливості впливу токсиканта у формі $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ за концентрацій 25 і 250 мг/дм^3 на організм нерки були вивчені Reid S. D. Залежно від концентрації забруднювача у воді спостерігалися зменшення вентиляції (частоти рухів зябрових кришок), 60–70%-ве зниження споживання кисню і посилене слизовиділення без змін вмісту натрію у плазмі. Відповідно, висунуто припущення про механізм дії молібдену як токсиканта, що, подібно до нікелю і алюмінію, вражає дихальну систему риб [11, 34].

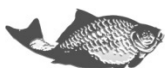
Серед нечисельних досліджень з вивчення впливу молібдену на фізіолого-біохімічні показники риб доцільно виділити роботу Ricketts C. D. зі співавт., присвячену з'ясуванню ролі елемента як хімічного стрес-фактора для молоді райдужної форелі. Риб піддавали дії молібдату натрію за концентрації $2\text{--}1000 \text{ мг/дм}^3$ протягом 8–96 год., з наступним визначенням фізіологічних та цитологічних індикаторів стресу (зміни рівнів кортизолу плазми, глюкози крові, гематокриту; індукування експресії білків теплового шоку (HSP72, HSP73, HSP90) у печінці, зябрах, серці й еритроцитах та металотіонеїнів у печінці та зябрах). Проведені дослідження продемонстрували відсутність помітних змін вищевказаних параметрів порівняно з контролем в умовах гострого впливу за кожною з концентрацій молібдену, що свідчить про низьку чутливість риб молодших вікових груп до названих рівнів молібдату натрію у воді [44].

Разом з тим, в результаті досліджень із впливу Na_2MoO_4 на лососевих та сигових риб, проведених Ганіною В.С. та ін., з'ясувалося, що пелядь (ікра, личинки) є найбільш високочутливим видом, який реагує на токсикант за його концентрації вже на рівні $0,001 \text{ мг/дм}^3$. Представники лососевих риб — сьомга (ікра–личинки), сьомга (підрощені личинки), райдужна форель (ікра, личинки), прісноводний лосось (дволітки) виявили високу резистентність до токсичної дії молібдату натрію. Максимальними концентраціями токсиканта, що не чинили біологічного ефекту для вказаних видів риб, виявилися 1000; 1,0; 0,5 і $1,0 \text{ мг/дм}^3$ відповідно [45].

Механізми біотрансформації молібдену в організмі риб до кінця не вивчені. Дослідження Ricketts C. D. не показали індукування синтезу металотіонеїнів в органах і тканинах райдужної форелі (зябра, серце, печінка і еритроцити), що дозволяє стверджувати про відсутність механізму перетворення оксианіону молібдату в катіонну форму молібдену для запуску процесу утворення захисних білків [46].

Шляхи виведення токсиканта з організму риб вивчені недостатньо. Відомо, що після пересадження риб у чисту воду швидкість виведення молібдену є дуже високою (тривалість напіввиведення — близько 1 доби), з подальшим уповільненням цього процесу, характерним для інших мінеральних елементів [20].

Рядом науковців висунуто припущення про антагоністичну дію сполук молібдену і хрому, а також про можливе зниження токсичності першого за



присутності сульфатів [11]. Крім того, молібден відіграє роль захисного чинника за дії фенолів на організм риб [20].

Деякими дослідниками одержані дані про відсутність біомагніфікації молібдену і передачі його в трофічному ланцюзі [47, 48].

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Актуальність дослідження впливу металів на функціонування водних екосистем в контексті посилення антропогенного навантаження є беззаперечною. Одним з відносно малопоширених, проте важливих мікроелементів, вивчення якого набуває значення як з огляду на його есенціальну дію та можливості застосування у рибному господарстві, так і з урахуванням його потенційної згубної дії в умовах високих концентрацій, є молібден та його сполуки.

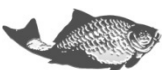
З огляду на недостатньо широке висвітлення або повну відсутність у наукових публікаціях даних щодо механізмів токсичного впливу молібдену, процесів біотрансформації його сполук у організмі гідробіонтів, біохімічних та генетичних індикаторів токсичного впливу, шляхів його екскреції та біомагніфікаційних властивостей, вказані питання потребують з'ясування та подальшої уваги дослідників.

ЛІТЕРАТУРА

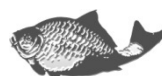
1. Грициняк І. І. Екотоксикологія лососевих риб / Грициняк І. І., Янович Д. О., Швець Т.М. — К. : ДІА, 2015. — 472 с.
2. Янович Н. Є. Роль мікроелементів у життєдіяльності ставкових риб / Н. Є. Янович, Д. О. Янович // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. — 2014. — Т. 16, № 2(59), ч. 2. — С. 345—372. — (Серія : Ветеринарні науки).
3. Aveston J. Hydrolysis of molybdenum (VI): ultracentrifugation, acidity measurements, and Raman spectra of polymolybdates / J. Aveston, E. W. Anacker, J. S. Johnson // *Inorg. Chem.* — 1964. — Vol. 3. — P. 735—746.
4. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / [ред. Т. В. Гусева]. — М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2007. — 192 с.
5. Ігнатенко І. І. Сезонна динаміка вмісту та форм знаходження молібдену у воді скидного каналу ТЕЦ № 5 / І. І. Ігнатенко // Наукові праці УкрНДГМІ. — 2011. — Вип. 260. — С. 146—157.
6. Ігнатенко І. І. Сезонна динаміка співіснуючих форм молібдену у воді Канівського водосховища та деяких озер м. Києва / І. І. Ігнатенко // Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. — 2008. — № 3(37). — С. 68—73. — (Серія : Біологія).
7. Калабина Л. В. Состояние растворенных форм молибдена (VI) в воде р. Днепра / Л. В. Калабина, П. Н. Линник, Б. И. Набиванец // *Гидробиологический журнал.* — 1989. — Т. 25, № 1. — С. 83—88.
8. Ушакова В. Ф. Миграция молибдена в почве и воде удобряемых выростных прудов / В. Ф. Ушакова // Сборник научно-исследовательских работ ВНИИПРХ. — 1970. — Вып. 3. — С. 42—53.
9. Никаноров А. М. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов. — Л. : Гидрометеиздат, 1991. — 312 с.
10. Хорошевская В. О. Анализ содержания молибдена в поверхностных водах различных ландшафтно-климатических зон / В. О. Хорошевская // Наука и современность. — 2012. — Вып. 16(1). — С. 19—23.



11. Reid S. D. Molybdenum and Chromium / S. D. Reid // Homeostasis and toxicology of essential metals / [eds. Wood C. M., Farrell A. P., Brauner C. J.]. — London ; Waltham ; San Diego : Academic Press, 2012. — P. 375—415.
12. Ігнатенко І. І. Міграція молибдену у водоймах з уповільненим водообміном / І. І. Ігнатенко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. — 2013. — Т. 4(31). — С. 67—73.
13. Галичева Е. Е. Содержание подвижных форм микроэлементов марганца, меди, цинка, молибдена в рыбоводных прудах Московской области / Е. Е. Галичева // Сборник научно-исследовательских работ ВНИИПРХ. — 1970. — Вып. 3. — С. 54—61.
14. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. — М. : ВНИРО, 2011. — 257 с.
15. Аналітична хімія поверхневих вод / [Набиванець Б. Й., Осадчий В. І., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б.]. — К. : Наукова думка, 2007. — 457 с.
16. Контроль качества воды : справочник. Ч. 1 : Методики аналитических исследований. — М., 2004. — 222 с.
17. РД 52.24.416-2010. Руководящий документ. Массовая концентрация молибдена в водах. Методика выполнения измерений инверсионным вольтамперометрическим методом. — М., 2010.
18. Eisler R. Molybdenum hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review / Eisler R. — Laurel : U.S. Fish and Wildlife Service ; Patuxent Wildlife Research Center, 1989. — 43 p.
19. Molybdenum : Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life / Canadian Council of Ministers of the Environment. — Winnipeg : Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999. — 4 p.
20. Кузнецова Л. П. Биологическая роль молибдена в жизнедеятельности рыб : автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. биол. наук / Л. П. Кузнецова. — М. : ВНИИПРХ, 1990. — 22 с.
21. Beers M. H. The Merck Manual of Diagnosis and Therapy : [17th edn.] / M. H. Beers, R. Berkow / [eds. M. H. Beers, R. Berkow]. — Whitehouse Station, NJ : Merck & Co., 1998.
22. Kisker C. Molybdenum-cofactor-containing enzymes: structures and mechanisms / C. Kisker, H. Schindelin, D. C. Rees // Annu. Rev. Biochem. — 1997. — Vol. 66. — P. 233—267.
23. Stirpe F. The regulation of rat liver xanthine oxidase — conversion *in vitro* of the enzyme activity from dehydrogenase (type D) to oxidase (type O) / F. Stirpe, E. Della Corte // J. Biol. Chem. — 1969. — Vol. 244. — P. 3855—3863.
24. Tissue- and cell-specific expression of mouse xanthine oxidoreductase gene *in vivo*: regulation by bacterial lipopolysaccharide / M. Kurosaki, M. Li Calzi, E. Scanziani [et al.]. // Biochem. J. — 1995. — Vol. 306. — P. 225—234.
25. Галичева Е. Е. Влияние микроэлементов кобальта, цинка, молибдена при введении их в корм на рыбоводные и физиологические показатели сеголетков карпа / Е. Е. Галичева, М. Н. Егорова // Сборник научных трудов ВНИИПРХ. — 1972. — Вып. 1. — С. 46—60.
26. Кузнецова Л. П. Влияние низких концентраций молибдена на резистентность молоди рыб к фенолу / Л. П. Кузнецова, Н. А. Азизова, А. А. Яржомбек // Сборник научных трудов ВНИИПРХ. — 1991. — Вып. 65. — С. 139—142.
27. Кузнецова Л. П. Оценка токсичности растворов парамолибдатов для гуппи / Л. П. Кузнецова // Сборник научных трудов ВНИИПРХ. — 1992. — Вып. 66. — С. 108—110.



28. Кузнецова Л. П. Рост карпа на искусственных кормах с различным содержанием молибдена / Л. П. Кузнецова, А. А. Яржомбек // Сборник научных трудов ВНИИПРХ. — 1990. — Вып. 59. — С. 101—102.
29. Ушакова В. Ф. Обеспеченность молибденом рыбоводных прудов при различном удобрении / В. Ф. Ушакова // Биологические науки. — 1971. — № 6. — С. 23—25.
30. Ahsanullah M. Acute toxicity of chromium, mercury, molybdenum and nickel to the amphipod *Allorchestes compressa* / M. Ahsanullah // Aust. J. Mar. Freshwater Res. — 1982. — Vol. 33. — P. 465—474.
31. Anderson E. P. Lethal and sublethal effects of a molybdenum mine tailing on marine zooplankton: mortality, respiration, feeding and swimming behavior in *Calanus marshallae*, *Metridia pacifica* and *Euphausia pacifica* / E. P. Anderson, D. L. Mackas // Mar. Environ. Res. — 1986. — Vol. 19. — P. 131—155.
32. Colmano G. Molybdenum toxicity: abnormal cellular division of teratogenic appearance in *Euglena gracilis* / G. Colmano // Bull. Environ. Contam. Toxicol. — 1973. — Vol. 9. — P. 361—364.
33. Sakaguchi T. Studies on the accumulation of heavy metal elements in biological systems. Accumulation of molybdenum by green microalgae / T. Sakaguchi, A. Nakajima, T. Horikoshi // European J. Appl. Microbiol. Biotechnol. — 1981. — Vol. 12. — P. 84—89.
34. Reid S. D. Physiological impact of acute molybdenum exposure in juvenile kokanee salmon (*Oncorhynchus nerka*) / S. D. Reid // Comp. Biochem. Physiol. — 2002. — Vol. C 133. — P. 355—367.
35. Uptake of molybdenum, marked with ⁹⁹Mo, by the biota of Fern Lake, Washington, in a laboratory and a field experiment / Z. F. Short, P. R. Olson, R. F. Palumbo [et al.] // Radionuclides in ecosystems : Third National Symposium on Radioecology (May 10-12, 1971) : proceedings. Vol. 1. — Oak Ridge, TN, 1971. — P. 474—485.
36. Ward J. V. Molybdenum concentrations in tissues of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and kokanee salmon (*Oncorhynchus nerka*) from waters differing widely in molybdenum content / J. V. Ward // J. Fish. Res. Bd Can. — 1973. — Vol. 30. — P. 841—842.
37. Jezierska B. Metal toxicity to fish // B. Jezierska, M. Witeska. — Siedlce : Wydawnictwo Akademii Podlaskiej, 2001. — 318 s.
38. Грищенко Л. И. Влияние молибдена на молодь радужной форели (патоморфологические изменения) / Л. И. Грищенко, Л. П. Кузнецова // Ветеринария. — 1988. — № 9. — С. 56—58.
39. McConnell R. P. Toxicity of molybdenum to rainbow trout under laboratory conditions / R. P. McConnell // Molybdenum in the environment: the geochemistry, cycling, and industrial uses of molybdenum. — New York : Marcel Dekker, 1977. — P. 725—730.
40. Bentley R. E. Acute toxicity of sodium molybdate to bluegill (*Lepomis macrochirus*), rainbow trout (*Salmo gairdneri*), fathead minnow (*Pimephales promelas*), channel catfish (*Ictalurus punctatus*), water flea (*Daphnia magna*) and scud (*Gammarus fasciatus*) / Bentley R. E. — Wareham, MA : Bionomics, 1973.
41. Hamilton S. J. Acute toxicity of boron, molybdenum, and selenium to fry of chinook salmon and coho salmon / S. J. Hamilton, K. H. Buhl // Arch. Environ. Contam. Toxicol. — 1990. — Vol. 19. — P. 366—373.
42. Hamilton S. J. Concentrations of boron, molybdenum, and selenium in chinook salmon / S. J. Hamilton, R. H. Wiedmeyer // Trans. Am. Fish. Soc. — 1990. — Vol. 119. — P. 500—510.
43. Pyle G. G. Toxicity of uranium mine-receiving waters to caged fathead minnows, *Pimephales promelas* / G. G. Pyle, S. M. Swanson, D. M. Lehmkuhl // Ecotoxicol. Environ. Sa. — 2001. — Vol. 48. — P. 202—214.



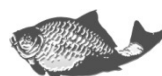
44. Ricketts C. D. The effects of acute waterborne exposure to sublethal concentrations of molybdenum on the stress response in Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* / C. D. Ricketts, W. R. Bates, S. D. Reid // PLoS One. — 2015. — Vol. 10, iss. 1. — e0115334.
45. Биологическое обоснование рыбохозяйственных ПДК для ионов вольфрама и молибдена / В. С. Ганина, Н. В. Каймина, Г. В. Мовчан [и др.] // Республиканская конференция по проблемам рыбохозяйственных исследований внутренних водоемов Карелии, 26-28 апр. 1983 г. : тезисы докл. — Петрозаводск, 1983. — С. 81—82.
46. Ricketts C. D. The effect of acute waterborne exposure of sub-lethal concentrations of molybdenum on the stress response in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) : MSc thesis / C. D. Ricketts. — Okanagan : University of British Columbia, 2009.
47. Environmental effects of dredging: trophic transfer and biomagnification potential of contaminants in aquatic ecosystems / T. M. Dillon, B. C. Suedel, R. K. Peddicord [et al.]. — Vicksburg, MS : EEDP-01-33 US Army Engineer Waterways Experimental Station, 1995.
48. Saiki M. K. Boron, molybdenum, and selenium in aquatic food chains from the lower San Joaquin River and its tributaries, California / M. K. Saiki, M. R. Jennings, W. G. Brumbaugh // Arch. Environ. Contam. Toxicol. — 1993. — Vol. 24. — P. 307—319.

REFERENCES

1. Hrytsyniak, I. I., Yanovych, D. O., & Shvets T. M. (2015). *Ekotoksikologhiia lososevykh ryb*. Kyiv : DIA.
2. Yanovych, N. Ye., & Yanovych, D. O. (2014). Rol mikroelementiv u zhyttiedialnosti stavkovykh ryb. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnologii im. S. Z. Gzhytskoho*, 16, 2(59), 2, 345-372.
3. Aveston, J., Anacker, E. W., & Johnson, J. S. (1964). Hydrolysis of molybdenum (VI): ultracentrifugation, acidity measurements, and Raman spectra of polymolybdates. *Inorg. Chem.*, 3, 735-746.
4. Guseva, T. V. (Ed.). (2007). *Gidrokhimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchey sredy: spravochnye materialy*. Moskva : FORUM ; INFRA-M.
5. Ihnatenko, I. I. (2011). Sezonna dynamika vmistu ta form znakhodzhennia molibdenu u vodi skydnoho kanalu TETs 5. *Naukovi pratsi UkrNDHMI*, 260, 146-157.
6. Ihnatenko, I. I. (2008). Sezonna dynamika spivisnuiuchykh form molibdenu u vodi Kanivskoho vodoshovyshcha ta deiakykh ozer m. Kyieva. *Nauk. zapysky Ternopilskoho nats. ped. un-tu im. V. Hnatiuka*, 3(37), 68-73.
7. Kalabina, L. V., Linnik, P. N., & Nabivanets, B. I. (1989). Sostoyanie rastvorenykh form molibdena (VI) v vode r. Dnepra. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 25, 1, 83-88.
8. Ushakova, V. F. (1970). Migratsiya molibdena v pochve i vode udobryaemykh vyrostnykh prudov. *Sbornik nauchno-issledovatel'skikh rabot VNIIPRKh*, 3, 42-53.
9. Nikanorov, A. M., & Zhulidov, A. V. (1991). *Biomonitoring metallov v presnovodnykh ekosistemakh*. Leningrad : Gidrometeoizdat.
10. Khoroshevskaya, V. O. (2012). Analiz soderzhaniya molibdena v poverkhnostnykh vodakh razlichnykh landshaftno-klimaticheskikh zon. *Nauka i sovremennost'*, 16(1), 19-23.
11. Reid, S. D. (2012). Molybdenum and Chromium. *Homeostasis and toxicology of essential metals*. London ; Waltham ; San Diego : Academic Press, 375-415.
12. Ihnatenko, I. I. (2013). Mihratsiia molibdenu u vodoimakh z upovilnenym vodoobminom. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia i hidroekologhiia*, 4(31), 67-73.



13. Galicheva, E. E. (1970). Soderzhanie podvizhnykh form mikroelementov margantsa, medi, tsinka, molibdena v rybovodnykh prudakh Moskovskoy oblasti. *Sbornik nauchno-issledovatel'skikh rabot VNIIPRKh*, 3, 54-61.
14. *Normativy kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativy predel'no dopustimykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya* (2011). Moskva : VNIRO.
15. Nabyvanets, B. Y., Osadchyi, V. I., Osadcha, N. M., & Nabyvanets. Yu. V. (2007). *Analitichna khimiia poverkhnevnykh vod*. Kyiv : Naukova dumka.
16. *Kontrol' kachestva vody : spravochnik. 1 : Metodiki analiticheskikh issledovaniy* (2004). Moskva.
17. Rukovodyashchiy dokument. Massovaya kontsentratsiya molibdena v vodakh. Metodika vypolneniya izmereniy inversionnym vol'tamperometricheskim metodom (2010). *RD 52.24.416-2010*. Moskva.
18. Eisler, R. (1989). *Molybdenum hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review*. Laurel : U.S. Fish and Wildlife Service ; Patuxent Wildlife Research Center.
19. Canadian Council of Ministers of the Environment (1999). *Molybdenum : Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life*. Winnipeg : Canadian Council of Ministers of the Environment.
20. Kuznetsova, L. P. (1990). Biologicheskaya rol' molibdena v zhiznedeyatel'nosti ryb. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moskva.
21. Beers, M. H., & Berkow, R. (1998). *The Merck Manual of Diagnosis and Therapy*. Whitehouse Station, NJ : Merck & Co.
22. Kisker, C., Schindelin, H., & Rees, D. C. (1997). Molybdenum-cofactor-containing enzymes: structures and mechanisms. *Annu. Rev. Biochem.*, 66, 233-267.
23. Stirpe, F., & Della Corte, E. (1969). The regulation of rat liver xanthine oxidase – conversion *in vitro* of the enzyme activity from dehydrogenase (type D) to oxidase (type O). *J. Biol. Chem.*, 244, 3855-3863.
24. Kurosaki, M., Li Calzi, M., & Scanziani, E. et al. (1995). Tissue- and cellspecific expression of mouse xanthine oxidoreductase gene *in vivo*: regulation by bacterial lipopolysaccharide. *Biochem. J.*, 306, 225-234.
25. Galicheva, E. E., & Egorova, M. N. (1972). Vliyanie mikroelementov kobal'ta, tsinka, molibdena pri vvedenii ikh v korm na rybovodnye i fiziologicheskie pokazateli segoletkov karpa. *Sbornik nauchnykh trudov VNIIPRKh*, 1, 46-60.
26. Kuznetsova, L. P., Azizova, N. A., & Yarzhombek, A. A. (1991). Vliyanie nizkikh kontsentratsiy molibdena na rezistentnost' molodi ryb k fenolu. *Sbornik nauchnykh trudov VNIIPRKh*, 65, 139-142.
27. Kuznetsova, L. P. (1992). Otsenka toksichnosti rastvorov paramolibdatov dlya guppy. *Sbornik nauchnykh trudov VNIIPRKh*, 66, 108-110.
28. Kuznetsova, L. P., & Yarzhombek, A. A. (1990). Rost karpa na iskusstvennykh kormakh s razlichnym soderzhaniam molibdena. *Sbornik nauchnykh trudov VNIIPRKh*, 59, 101-102.
29. Ushakova, V. F. (1971). Obespechennost' molibdenom rybovodnykh prudov pri razlichnom udobrenii. *Biologicheskie nauki*, 6, 23-25.
30. Ahsanullah, M. (1982). Acute toxicity of chromium, mercury, molybdenum and nickel to the amphipod *Allorchestes compressa*. *Aust. J. Mar. Freshwater Res*, 33, 465-474.
31. Anderson, E. P., & Mackas, D. L. (1986). Lethal and sublethal effects of a molybdenum mine tailing on marine zooplankton: mortality, respiration, feeding and swimming behavior in *Calanus marshallae*, *Metridia pacifica* and *Euphausia pacifica*. *Mar. Environ. Res.*, 19, 131-155.
32. Colmano, G. (1973). Molybdenum toxicity: abnormal cellular division of teratogenic appearance in *Euglena gracilis*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 9, 361-364.



33. Sakaguchi, T., Nakajima, A., & Horikoshi, T. (1981). Studies on the accumulation of heavy metal elements in biological systems. Accumulation of molybdenum by green microalgae. *European J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 12, 84-89.
34. Reid, S. D. (2002). Physiological impact of acute molybdenum exposure in juvenile kokanee salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 133, 355-367.
35. Short, Z. F., Olson, P. R., & Palumbo, R. F. et al. (1971). Uptake of molybdenum, marked with ⁹⁹Mo, by the biota of Fern Lake, Washington, in a laboratory and a field experiment. *Radionuclides in ecosystems: Third National Symposium on Radioecology: proceedings*. Vol. 1. Oak Ridge, TN, 474-485.
36. Ward, J. V. (1973). Molybdenum concentrations in tissues of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and kokanee salmon (*Oncorhynchus nerka*) from waters differing widely in molybdenum content. *J. Fish. Res. Bd Can.*, 30, 841-842.
37. Jezierska, B., & Witeska, M. (2001). *Metal toxicity to fish*. Siedlce : Wydawnictwo Akademii Podlaskiej.
38. Grishchenko, L. I., & Kuznetsova, L. P. (1988). Vliyanie molibdena na molod' raduzhnoy foreli (patomorfologicheskie izmeneniya). *Veterinariya*, 9, 56-58.
39. McConnell, R. P. (1977). Toxicity of molybdenum to rainbow trout under laboratory conditions. *Molybdenum in the environment: the geochemistry, cycling, and industrial uses of molybdenum*. New York : Marcel Dekker, 725-730.
40. Bentley, R. E. (1973). *Acute toxicity of sodium molybdate to bluegill (Lepomis macrochirus), rainbow trout (Salmo gairdneri), fathead minnow (Pimephales promelas), channel catfish (Ictalurus punctatus), water flea (Daphnia magna) and scud (Gammarus fasciatus)*. Wareham, MA : Bionomics.
41. Hamilton, S. J., & Buhl, K. H. (1990). Acute toxicity of boron, molybdenum, and selenium to fry of chinook salmon and coho salmon. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 19, 366-373.
42. Hamilton, S. J., & Wiedmeyer, R. H. (1990). Concentrations of boron, molybdenum, and selenium in chinook salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 119, 500-510.
43. Pyle, G. G., Swanson, S. M., & Lehmkuhl, D. M. (2001). Toxicity of uranium mine-receiving waters to caged fathead minnows, *Pimephales promelas*. *Ecotoxicol. Environ. Sa.*, 48, 202-214.
44. Ricketts, C. D. (2009). The effect of acute waterborne exposure of sub-lethal concentrations of molybdenum on the stress response in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Extended abstract of Master's thesis*. Okanagan : University of British Columbia.
45. Ganina, V. S., Kaymina, N. V., & Movchan, G. V. et al. (1983). Biologicheskoe obosnovanie rybokhozyaystvennykh PDK dlya ionov vol'frama i molibdena. *Respublikanskaya konferentsiya po problemam rybokhozyaystvennykh issledovaniy vnutrennikh vodoemov Karelii : tezisy dokl.* Petrozavodsk, 81-82.
46. Ricketts, C. D., Bates, W. R., & Reid, S. D. (2015). The effects of acute waterborne exposure to sublethal concentrations of molybdenum on the stress response in Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *PLoS One*, 10, 1, e0115334.
47. Dillon, T. M., Suedel, B. C., & Peddicord, R. K. et al. (1995). *Environmental effects of dredging: trophic transfer and biomagnification potential of contaminants in aquatic ecosystems*. Vicksberg, MS : EEDP-01-33 US Army Engineer Waterways Experimental Station.
48. Saiki, M. K., Jennings, M. R., & Brumbaugh, W. G. (1993). Boron, molybdenum, and selenium in aquatic food chains from the lower San Joaquin River and its tributaries, California. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 24, 307-319.



БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ И ТОКСИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ МОЛИБДЕНА В ГИДРОЭКОСИСТЕМАХ (ОБЗОР)

И. И. Грициняк, hrytsyniak@if.org.ua, Институт рыбного хозяйства НААН, г. Киев
Д. А. Янович, yandeni@yandex.ru, Львовский национальный университет ветеринарной медицины и биотехнологий имени С.З. Гжицкого, г. Львов
Т. М. Швець, library@if.org.ua, Институт рыбного хозяйства НААН, г. Киев

Цель. Антропогенное воздействие на экосистемы водоемов, сопровождающееся поступлением в них ксенобиотиков или значительных количеств биогенных микроэлементов, приводит к негативным изменениям в структуре сообществ водной биоты, нарушениям процессов жизнедеятельности отдельных представителей флоры и фауны. Последствия подобных явлений проявляются в снижении продуктивности водоемов, оскудении видового состава, а впоследствии — в непригодности определенных водных объектов для ведения рыбохозяйственной деятельности.

Изучение вопросов и обобщение информации касательно путей поступления токсикантов в водоемы, их поведения в гидроэкосистемах, возможных эффектов воздействия на гидробионтов различных трофических уровней с позиций поведенческих, физиолого-биохимических, цито- и гистологических, а также генетических реакций, может послужить обоснованием для принятия необходимых мер, стать залогом оздоровления водных объектов или предотвращения и избежания потенциальных опасностей для водного населения. Целью данной работы явились анализ и обобщение имеющихся литературных сведений по вопросам роли относительно малоизученного микроэлемента молибдена в гидроэкосистемах и его значения для обитателей водоемов.

Результаты. На основе массива существующих публикаций отечественных и зарубежных авторов описаны гидрохимические свойства молибдена и его соединений, возможные источники поступления в водные объекты, пути их миграции. Представлена краткая характеристика методик идентификации и контроля элемента в водной среде. Раскрыты биофильные свойства молибдена для представителей водной флоры и фауны, влияние на их продуктивные показатели. Приведены сведения относительно биоаккумуляционного потенциала молибдена, а также его распределения в тканях и органах гидробионтов. Рассмотрены реакции водных растений, беспозвоночных животных и рыб в условиях повышенных концентраций элемента в воде, возможные пагубные последствия такого воздействия для биоты на разных уровнях — клеточном, тканевом, целого организма. Определены позиции дальнейших исследований молибдена в экотоксикологическом аспекте.

Научная новизна. Статья содержит обобщение результатов исследований, проведенных с середины прошлого века и до настоящего времени, касательно значения и функций молибдена в гидроэкосистемах и организме отдельных видов водной биоты, сведения о его экотоксичности в условиях избыточного поступления в водоемы.

Практическая значимость. Представленные в статье данные могут стать основой для принятия мер по предупреждению и избежанию потенциальных опасностей для водного населения, связанных с внесением в водоемы значительных количеств молибдена в составе сельскохозяйственных стоков и промышленных выбросов.

Ключевые слова: молибден, гидробионты, водоросли, беспозвоночные, рыбы, эссенциальность, токсичность.



BIOLOGICAL ROLE AND TOXIC INFLUENCE OF MOLYBDENUM IN AQUATIC ECOSYSTEMS (A REVIEW)

I. Hrytsyniak, hrytsyniak@if.org.ua, Institute of Fisheries NAAS, Kyiv

D. Yanovych, yandeni@yandex.ru, Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies named after S.Z. Gzhytskyj, Lviv

T. Shvets, library@if.org.ua, Institute of Fisheries NAAS, Kyiv

Purpose. *The consequence of human impact of the ecosystems of water bodies are as a rule the input of xenobiotics of various natures or the excess of the natural level of biogenic trace elements that ultimately leads to negative changes in the structure of aquatic biota communities, disturbances of vital activity processes of some flora and fauna species. The consequences of these processes are presented as a reduction in the productivity of water bodies, impoverishment of their species variety, and subsequently as an unsuitability of water bodies for fisheries related activities.*

Study, analysis and generalization of information concerning the pathways of toxicants input into water bodies, their behavior in hydroecosystems, possible effects on aquatic organisms of different trophic levels have an important theoretical and practical value. Behavioral, physiological, biochemical, cytological, histological and genetic reactions can serve as a basis for the adoption of necessary measures aimed at improving the ecological state of water bodies or preventing and avoiding potential hazards to aquatic populations. The aim of this work is an analysis and synthesis of the available literature data about the role of a relatively poorly studied trace element molybdenum in hydroecosystems, its biological importance and toxic effect for aquatic organisms.

Findings. *The data containing in the article were obtained based on reviewing existing publications of domestic and foreign authors. In particular, they describe hydrochemical properties of molybdenum and its compounds, possible sources of input into water bodies, pathways of element migration. A brief description of the identification and control methods for the element content in aquatic environment is presented. Biophilic properties of molybdenum for aquatic flora and fauna as well as the impact on their productive parameters are described. The data regarding the bioaccumulation potential of molybdenum, as well as its distribution in tissues and organs of aquatic organisms are given. The adaptive reactions of aquatic plants, invertebrates and fish in the conditions of elevated molybdenum concentrations in water, the possible adverse effects of such impacts on biota at different levels, in particular on cellular, tissue, whole organism ones are described. The perspectives and theoretic measures of further studies on molybdenum presence and its effect in ecotoxicological aspect are highlighted.*

Originality. *The article contains a summary of research results carried out since the middle of the last century to the present time, on the role and functions of molybdenum in aquatic ecosystems and organisms of certain species of aquatic biota, information on its eco-toxicity in terms of its excessive input into water bodies..*

Practical value. *The data presented in the article can be the basis for the adoption of measures for the prevention and avoidance of potential hazards to aquatic populations associated with the input of significant amounts of molybdenum into water bodies in the composition of agricultural runoff and industrial effluents.*

Keywords: *molybdenum, aquatic organisms, algae, invertebrates, fish, essentiality, toxicity.*

