

ГІДРОХІМІЯ, ГІДРОЕКОЛОГІЯ

УДК [(574.64:556.114)+546.62](28)

В.А. Жежеря, П.М. Линник

СПІВІСНУЮЧІ ФОРМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ МІГРАЦІЇ АЛЮМІНІЮ У ВОДІ КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

У статті наведено дані щодо співіснуючих форм алюмінію у воді Канівського водосховища (на прикладі верхньої ділянки). Встановлено, що переважна частина $Al(III)$ перебуває у складі завислих речовин – від 54 до 80 % $Al_{\text{зав}}$. Сильної кореляційної залежності між масою зависі і концентрацією алюмінію в її складі не виявлено. Розчинна форма алюмінію представлена в основному комплексними сполуками з органічними речовинами, що мають різну хімічну природу. Серед органічних комплексних сполук домінують комплекси з гумусовими речовинами, у складі яких частка алюмінію становить 55-66 % $Al_{\text{розч}}$.

Вступ

Алюміній – один з найпоширеніших елементів у земній корі. Він входить до складу бокситів, каолінітів, нефелінів, алунітів та інших алюмосилікатів [8, 9]. У водному середовищі алюміній може міститися в розчиненому, завислому та колоїдному стані [31]. За рибогосподарськими нормами концентрація вільного алюмінію (гідратованих іонів або аквакомплексів $Al(H_2O)_6^{3+}$) не повинна перевищувати 36 $\mu\text{г}/\text{дм}^3$ [1]. Надмірне надходження вільних іонів цього металу до поверхневих водойм призводить до деградації водних екосистем через їхній токсичний вплив на гідробіоти. Найтоксичнішими сполуками $Al(III)$ вважаються його аквакомплекси та гідроксокомплекси складу $Al(OH)^{2+}$ та $Al(OH)_2^+$, які домінують у слабко кислому водному середовищі в інтервалі значень рН 4,5-5,5 [21-23, 32].

Наявність алюмінію в складі таких гідроксокомплексів, а тим більше аквакомплексів, у поверхневих водах України маловірогідна, оскільки їхні величини рН значно вищі [5]. У болотних водах із високим вмістом гумусових речовин (ГР) також не слід очікувати появи алюмінію у вигляді зазначених сполук, оскільки він активно зв'язується в комплекси із цими органічними лігандами. Однак проблема підвищеного

вмісту алюмінію в поверхневих водоймах залишається доволі актуальною для країн північного регіону (Норвегія, Швеція, Данія, Канада тощо), оскільки значення рН води в них нижчі, а кислотні дощі закислюють водойми. Зниження рН водного середовища зумовлює надходження металів, а вірогідно, й алюмінію з донних відкладів до водної товщі [15, 27].

Закислення ґрунтів, що відбувається через надмірне внесення азотовмісних добрив та через кислотні дощі, також сприяє до надходження цього металу в поверхневі водойми з водозбірної площі [10]. Алюміній також може потрапляти у водне середовище внаслідок вилугування алюмосилікатів, коли значення $\text{pH} < 4,5$ [19]. До поверхневих водойм алюміній може надходити у значних концентраціях зі стічними водами підприємств гірничорудного, хіміко-фармацевтичного, лакофарбового, паперового, текстильного виробництва та виробництва синтетичного каучуку, алюмінієвих деталей, конструкцій і посуду [4, 7, 8, 12, 13, 26].

Через значну токсичність алюмінію для здоров'я людини його концентрація у питній воді нормується. Всесвітньою організацією охорони здоров'я вміст Al(III) у питній воді рекомендовано на рівні 50 мкг/дм^3 , а допустима концентрація не повинна перевищувати 200 мкг/дм^3 [20].

Токсичність алюмінію може істотно знижуватися внаслідок утворення комплексів з неорганічними (фторид-, сульфат-, силікат-іонами), а також із органічними (наприклад, з ГР) лігандами [8, 22, 24, 25, 28-30]. Тому за даними про загальну концентрацію алюмінію у воді не можна оцінити ступінь його токсичності, оскільки $\text{Al}_{\text{заг}}$ включає як вільні іони, так і різноманітні комплексні сполуки та завислу форму металу, які істотно відрізняються біологічною активністю та впливом на водяні організми.

Метою нашої роботи було вивчення співіснуючих форм алюмінію у воді Канівського водосховища, оскільки це стає актуальним для розуміння шляхів його міграції та розподілу між абіотичними компонентами в поверхневих водоймах, а також з еколого-токсикологічного погляду.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводилися на верхній ділянці Канівського водосховища у весняно-осінній період. Відбирання проб здійснювалися на таких станціях: 1) затока Собаче Гирло; 2) вище від Московського мосту; 3) Московський міст; 4) міст Патона; 5) Південний міст (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема верхньої ділянки Канівського водосховища: 1-5 – станції відбору проб води

Проби води відбирали з поверхневого (~0,5 м) та придонного (~0,3-0,5 м від дна) шарів за допомогою модифікованого батометра-склянки.

Щоб відокремити зависі, проби води об'ємом 0,5-1,0 дм³ пропускали через нітроцелюлозні мембранні фільтри "Synpro" (Чехія) з діаметром пор 0,4 мкм. Масу зависі визначали за різницею між масою фільтра із зависсю, який був висушений за кімнатної температури, та масою самого фільтра.

Концентрацію алюмінію визначали за допомогою фотометричного методу, використовуючи реагент хромазуrol S [17]. Вміст алюмінію в складі зависі визначали після "мокрого спалювання" фільтрів із зависсю в суміші концентрованих азотної та сірчаної кислот градації х.ч. (відповідно 2,0 см³ HNO₃ і 1,0 см³ H₂SO₄) [2]. Концентрацію лабільної

фракції серед розчинних форм алюмінію визначали в максимально стислий проміжок часу після фільтрації проби, а загальну концентрацію розчинної форми – після фотохімічного окиснення. Для цього пробу води об'ємом $20,0 \text{ см}^3$ виливали у кварцову склянку, підкислювали за допомогою концентрованої H_2SO_4 до рН 1,0-1,5 та додавали 2-3 краплі 30 %-ого розчину H_2O_2 і опромінювали УФ-світлом протягом 2,5 годин, використовуючи ртутно-кварцову лампу ДРТ-1000.

Щоб визначити концентрацію алюмінію у складі комплексних сполук з органічними речовинами, що відрізняються за хімічною природою, використовували метод іонообмінної хроматографії. Для цього послідовно пропускали через скляні колонки, одна з яких була заповнена диетиламіноетилцелюлозою (ДЕАЕ-целюлозою), а друга – карбоксиметилцелюлозою (КМ-целюлозою), пробу фільтрованої води об'ємом $0,5-1,0 \text{ дм}^3$ зі швидкістю $1,0 \text{ см}^3/\text{хв}$. Отримували три фракції розчинних органічних речовин (РОР): кислотну або аніонну, основну або катіонну і нейтральну. Аніонна фракція містить у своєму складі переважно ГР, катіонна – в основному білковоподібні речовини (БПР), а нейтральна – в основному вуглеводи. Перші дві фракції концентруються на колонках із целюлозними іонами в 20-25 разів. Щоб сконцентрувати нейтральну фракцію, використовували метод випарювання з додаванням 2 крапель концентрованої H_2SO_4 на 100 см^3 проби, яку концентрували в 5 разів. Концентрацію алюмінію, зв'язаного в комплекси з різними за хімічною природою РОР, визначали після фотохімічного окиснення отриманих фракцій, як було зазначено вище.

Молекулярно-масовий розподіл комплексних сполук алюмінію з РОР аніонної фракції досліджували методом гел'є-хроматографії, використовуючи скляну колонку, заповнену TSK-гелем HW-50F (Японія). Її довжина – 80 см, діаметр – 2,8 см, висота стовпчика гелю – 59,5 см, вільний об'єм колонки (V_0) – 145 см^3 (для його визначання використовували блюдекстран з молекулярною масою 2000 кДа). Попередньо колонку було відкалібровано за допомогою розчинів поліетиленгліколів (ПЕГ) з відомою молекулярною масою (1,0, 2,0, 15,0 та $20,0 \text{ кДа}$) та глюкози ($0,18 \text{ кДа}$). Для цього брали розчини об'ємом $6,0 \text{ см}^3$, в яких концентрація ПЕГ була $2,0 \text{ мг}/\text{см}^3$, а глюкози – $0,5 \text{ мг}/\text{см}^3$, і пропускали через колонку з гелем. Вихід речовин з колонки контролювали шляхом визначання перманганатної окиснюваності кожної з фракцій. Щоб дослідити молекулярно-масовий розподіл комплексів

алюмінію в аніонній фракції РОР, використовували одержаний концентрат. Величину рН такого концентрату попередньо доводили до значення рН досліджуваної проби води і 6,0 см³ його пропускали через колонку зі швидкістю $\approx 1,0$ см³/хв. Величину рН контролювали за допомогою рН-метра рН 150 МИ (Росія). Збирали 20 фракцій об'ємом 15 см³ кожна за допомогою колектора DOMBIFRAC D-002 (Україна). Концентрацію алюмінію в кожній фракції визначали після фотохімічного окиснення ГР, як було зазначено вище.

Результати досліджень та їх обговорення

Загальна концентрація Al(III) у воді Канівського водосховища мала доволі широкий інтервал значень – змінювалася від 51,3 до 246,0 мкг/дм³. Відомо, що зазначений метал може мігрувати як у складі зависі, так і в розчиненому стані. Домінування однієї із цих форм залежить насамперед від характеру зависі, тобто переважання в її складі мінеральної або органічної складової, та хімічної природи РОР у воді. У нашому випадку алюміній мігрував переважно у складі зависі (54,4-79,5 % від загальної концентрації), у чому можна пересвідчитися з наведених на рис. 2 даних. Лише навесні спостерігалася незначна перевага розчиненої форми (54,2 %), що пов'язано, ймовірно, з надходженням до Канівського водосховища вод з підвищеним умістом ГР у цей період. У завислому стані концентрація Al(III) варіювала в межах 16,3-140,7 мкг/дм³, а в розчиненому становила 14,8-127,3 мкг/дм³.

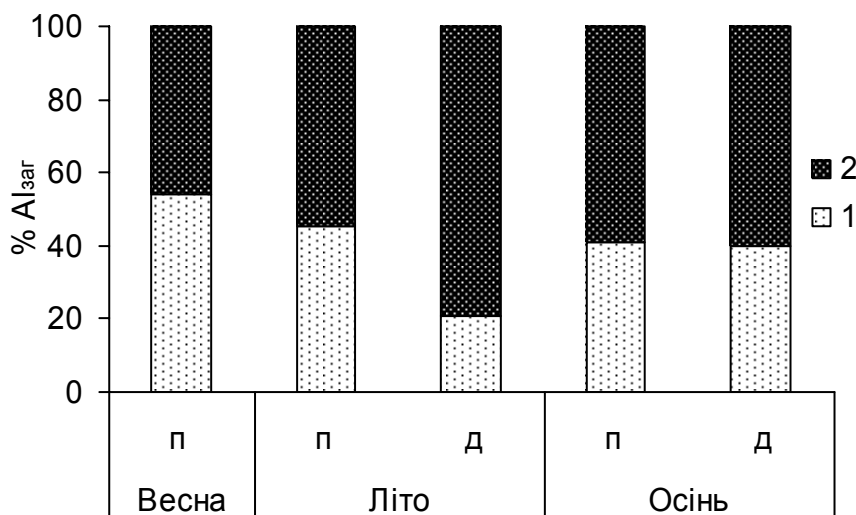


Рис. 2. Співвідношення розчиненої (1) і завислої (2) форм Al(III) у воді Канівського водосховища (за середніми величинами)

- п – поверхневий шар; д – біля дна

Звертає на себе увагу той факт, що у придонному шарі води абсолютні величини концентрації Al(III) в завислій формі були більшими, ніж у поверхневому, про що свідчать як граничні, так і середні величини. Наприклад, улітку і восени середня концентрація Al(III) у складі зависі придонного шару води становила відповідно 98,7 та 78,8 мкг/дм³, тоді як у поверхневому шарі – лише 48,2 та 51,4 мкг/дм³. Це пояснюється домінуванням у складі зависі придонного шару води низькодисперсних мінеральних частинок, тоді як у поверхневому шарі певна частина зависі була органічного походження внаслідок розвитку фітопланктону. Відомо, що концентрація Al(III) у складі мінеральної зависі зростає в разі зменшення розміру її частинок [6]. Сильної кореляційної залежності між масою зависі та концентрацією Al(III) в її складі не було виявлено. Коефіцієнт кореляції (r) в цілому за весь період досліджень становив 0,53 (рис. 3). У різні пори року він мав різні значення – від від’ємних улітку до 0,47 і 0,99 відповідно навесні (поверхневий шар) та восени (придонний шар).

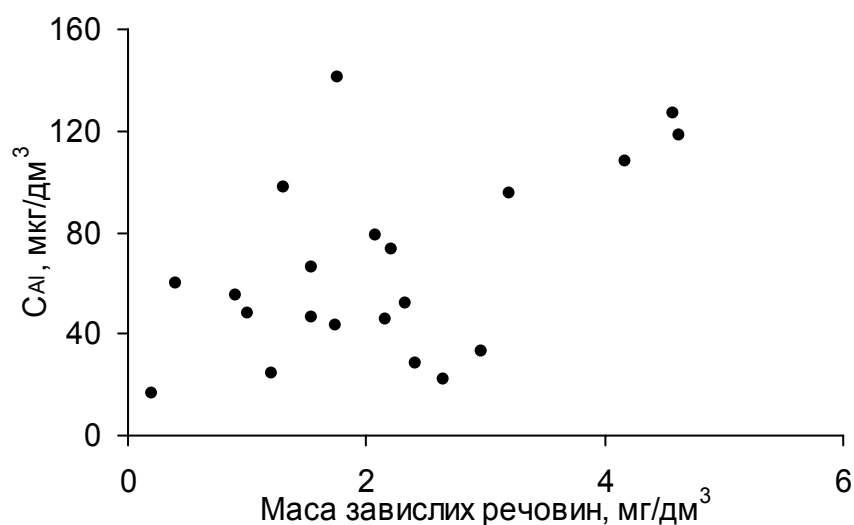


Рис. 3. Залежність концентрації Al(III) у складі зависі від маси завислих речовин

Очевидно, це зумовлено природою завислих речовин. Якщо основу маси зависі складають мінеральні речовини та ще й у її складі є глинясті частинки, то слід очікувати прямої залежності між умістом Al(III) у складі зависі і її масою. Якщо ж улітку у складі зависі зростає вміст органічної складової через фітопланктон, тоді прямий кореляційний зв'язок між концентрацією Al_{зав} і масою зависі порушується. У нашому випадку це певною мірою підтверджується, оскільки маса завислої речовини навесні

та влітку зростає, але навесні вона переважно неорганічного характеру (вміст органічної складової не перевищує 10-15 %), тоді як влітку, навпаки, в її складі збільшується частка органічних речовин (до 60-90 %) [5]. Проте це збільшення не призводить до пропорційного зростання вмісту $Al_{зав}$. На сучасному етапі досліджень не відомо про роль $Al(III)$ у розвитку фітопланктону. Тому важко сказати щось конкретне про його накопичення водоростями. Водночас не виключено, що певна частина $Al(III)$ могла сорбуватися на поверхні водоростевої маси через слизь. При цьому кількість адсорбованого алюмінію може бути різною залежно від фізіологічного стану водоростей. Мабуть, цим і пояснюється відсутність чіткої вираженої позитивної кореляції між $Al_{зав}$ і масою зависі.

Розчинена форма $Al(III)$ була представлена нелабільною та лабільною фракціями. До останньої ми відносимо ту частину $Al(III)$, яка вивільнюється зі складу його комплексних сполук під час фотометричного визначання цього металу за допомогою хімічного реагенту хромазурулу S без використання фотохімічного окиснювання. Зазначений хімічний реагент утворює комплекс із $Al(III)$, значення логарифма константи стійкості ($\lg K_{ст}$) якого дорівнює 4,3 (рН 4,0), а значення логарифма константи утворення $\lg K_{утв}$ – відповідно 5,2 [18].

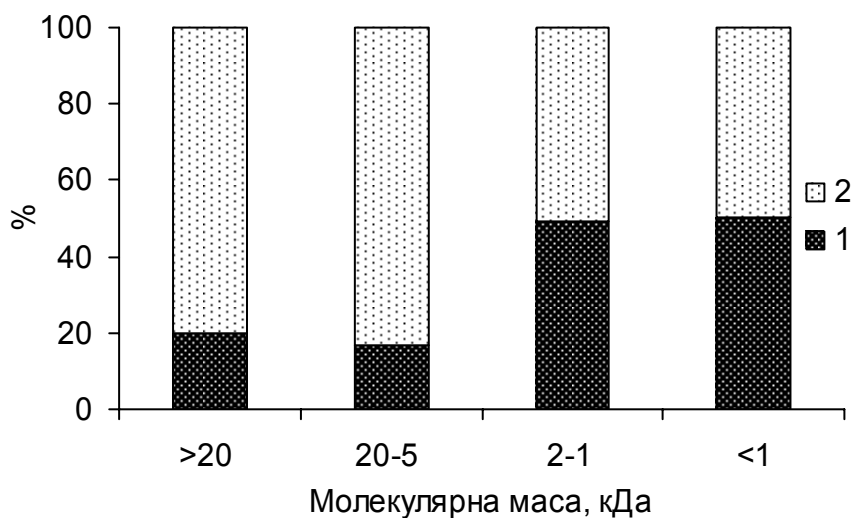


Рис. 4. Відносний уміст лабільних (1) і нелабільних (2) комплексних сполук $Al(III)$ з РОР води з верхньої ділянки Канівського водосховища (липень)

Тому можна припустити, що комплекси $Al(III)$ з РОР (серед них і з ГР), величина $\lg K_{ст}$ яких менша ніж 4,3, – це, ймовірно, лабільні комплекси, з яких алюміній вивільнюється у процесі фотометричного визначання. Безперечно, таке припущення потребує проведення додаткових

досліджень. Комплекси металів у природних водах із значеннями $\lg K_{\text{утв}}$ у межах 0,5-7,5 характеризуються як слабкі, тоді як для міцних комплексів $\lg K_{\text{утв}}$ відповідає інтервалові 7,0-10,2 [11]. Хоча й такий поділ досить умовний, бо константи стійкості комплексів металів з природними органічними лігандами часто вважаються умовними, оскільки залежать від конкретних умов, в яких вони визначалися.

Існування лабільної фракції Al(III) підтверджено гель-хроматографічними дослідженнями концентрату природної води, отриманого шляхом виморожування (ступінь концентрування ≈ 12). З'ясувалося, що комплексні сполуки Al(III) з РОР з молекулярною масою $\leq 2,0$ кДа виявилися найбільш лабільними, а відносний уміст Al(III) у їх складі досягає 50 % (рис. 4).

Чітких сезонних та просторових змін умісту лабільного Al(III) у воді Канівського водосховища не спостерігалось. Концентрація лабільного Al(III) у загальному балансі його розчинених форм становила 2,4-38,3 мкг/дм³, а відносний уміст середніх величин цієї фракції відносно середніх концентрацій розчиненої форми Al(III) перебуває в межах 24,4-72,8 % (рис. 5). Проте у придонному шарі води, зокрема влітку, відносний уміст лабільної фракції алюмінію був майже у 1,5 раза вищим, ніж у поверхневому.

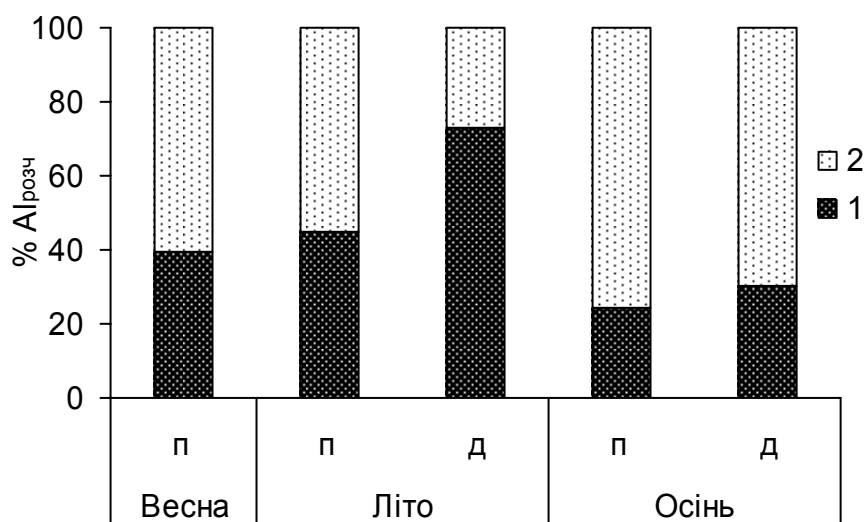


Рис. 5. Співвідношення лабільної (1) і нелабільної (2) фракцій розчиненого Al(III) у воді Канівського водосховища в різні пори року

- п – поверхневий шар; д – біля дна.

Алюміній мігрує в розчиненому стані переважно у вигляді комплексних сполук з РОР, саме тому його міграційна здатність істотно зростає. За допомогою іонообмінної хроматографії було встановлено, що Al(III) у воді Канівського водосховища мігрує головним чином у складі аніонної фракції РОР, тобто утворює комплекси переважно з ГР (рис. 6).

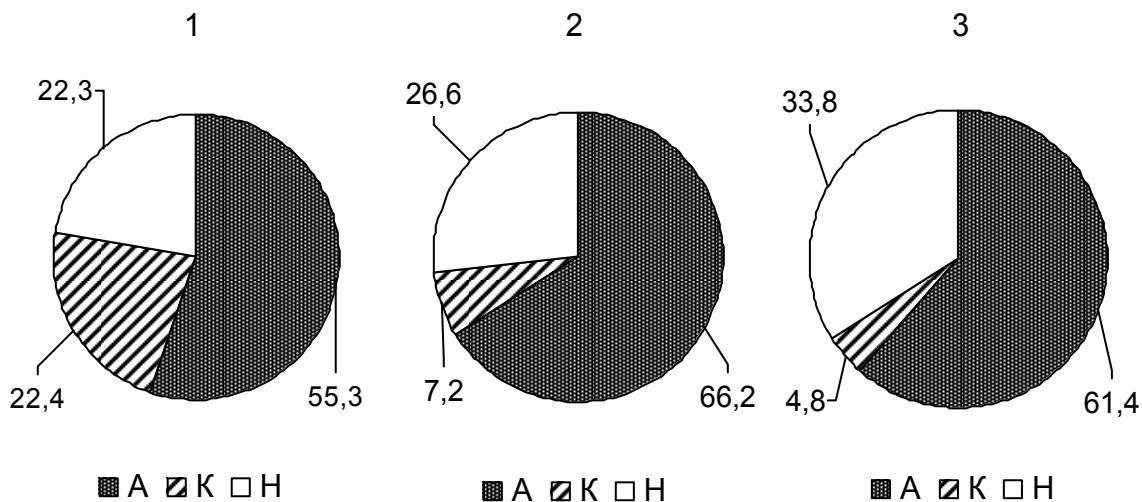


Рис. 6. Розподіл Al(III) серед комплексних сполук з РОР (%) різної хімічної природи у воді Канівського водосховища: А – аніонні; К – катіонні; Н – нейтральні комплекси (1 – навесні; 2 – влітку; 3 – восени)

За літературними даними, ГР, зазвичай, домінують серед РОР у каскаді дніпровських водосховищ [14]. У своєму складі вони містять переважно фульвокислоти (ФК), оскільки концентрація останніх перевищує вміст гумінових кислот (ГК) у 20-40 разів. Різні за хімічною природою РОР Канівського водосховища можна розмістити в наступний ряд за їхнім умістом у воді: ФК > Вуглеводи > ГК > БПР [3, 14]. З огляду на викладене вище можна констатувати, що Al(III) у розчиненому стані мігрує переважно у складі комплексних сполук з ФК.

Отримані дані стосовно молекулярно-масового розподілу комплексів Al(III) з РОР аніонної фракції також підтверджують, що цей метал у розчиненому стані перебуває головним чином у вигляді комплексних сполук з ФК, оскільки 60-75 % цих комплексів характеризувалися молекулярною масою $\leq 2,0$ кДа (рис. 7). Відомо також, що ФК дніпровських водосховищ із молекулярною масою < 1,0 кДа становлять 65-70 %. ГК мають дещо більшу молекулярну масу (> 5,0 кДа) [16].

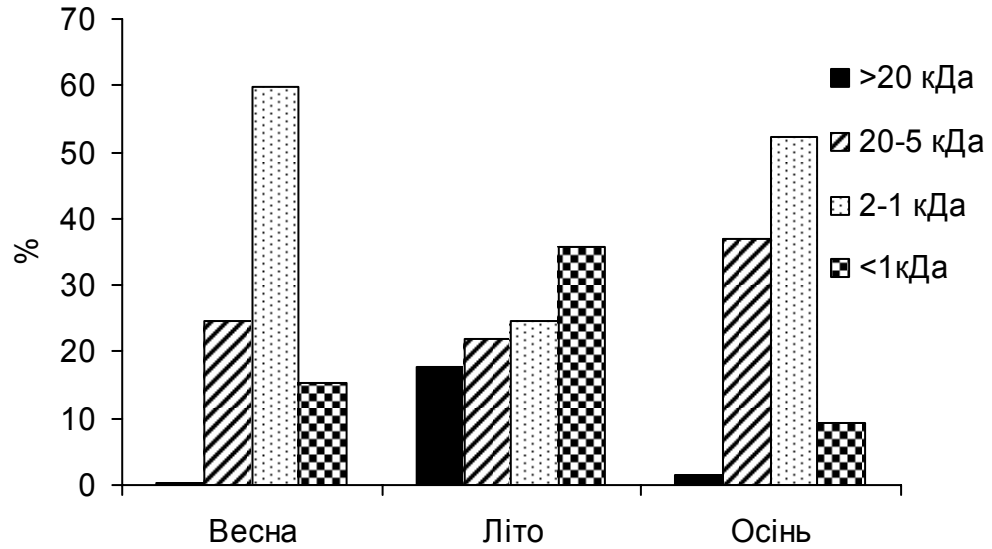


Рис. 7. Розподіл Al(III) серед комплексних сполук з РОР аніонної фракції (верхня ділянка Канівського водосховища), що мають різну молекулярну масу

Збільшення частки високомолекулярних сполук Al(III) з молекулярною масою $> 5,0$ кДа спостерігалось влітку і восени. Навесні їхня частка становила близько 25,0 %, а влітку і восени – відповідно 39,7 і 38,6 %. Це важко пояснити, оскільки відомо, що концентрація ГК зростає, зазвичай, навесні, коли під час весняного водопілля надходить вода з Київського водосховища з підвищеним умістом ГР.

Висновки

У воді верхньої ділянки Канівського водосховища алюміній мігрує головним чином у складі зависі (54,4-79,5 % від загальної концентрації) і лише навесні його розчинена форма дещо переважала і становила 54,2 %. Сильної кореляційної залежності між масою зависі та концентрацією Al(III) у її складі не встановлено (сумарне середнє значення коефіцієнта кореляції за період досліджень становить 0,53). Відносний уміст лабільної фракції має широкий інтервал значень і становить 24,4-72,8 % відносно середніх величин загальної концентрації розчиненого Al(III). Наявність лабільного Al(III) залежить від міцності комплексів, які він утворює з РОР. Розчинена форма алюмінію представлена комплексними сполуками з РОР, які відрізняються за хімічною природою. Комплекси Al(III) з ГР превалювали в усі пори роки, а відносний їхній уміст становив 55,3-66,3 %. Серед комплексних сполук Al(III) з РОР аніонної фракції

домінували комплекси з відносно невисокою молекулярною масою, що не перевищує 2,0 кДа. Це свідчить про переважне зв'язування Al(III) з ФК. Улітку і восени вміст комплексних сполук з молекулярною масою > 5,0 кДа дещо збільшується і досягає відповідно 39,7 і 38,6 %.

Одержані дані є вагомою підставою вважати, що у воді Канівського водосховища алюміній міститься у зв'язаному стані – або у вигляді комплексних сполук, або у складі зависі. Появи таких токсичних його форм, як $Al(OH)^{2+}$ та $Al(OH)_2^+$ не слід очікувати, оскільки вони з'являються в інтервалі значень рН 4,5-5,5, що не характерні для води Канівського та інших водосховищ Дніпровського каскаду.

* *

1. Алтунин В.С., Белавцева Т.М. Контроль качества воды: Справочник. – М.: Колос, 1993. – 367 с.
2. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. Пер. с англ. / Под ред. А.И. Бусева и Н.В. Трофимова. – М.: Химия, 1984. – 432 с.
3. Васильчук Т.О., Осипенко В.П. Дослідження гідрохімічного стану та компонентного складу розчинених органічних речовин води Канівського водосховища // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Матеріали IV Всеукр. наук. конф. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – С. 17-19.
4. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп: Справ. изд. / Под ред. В.А. Филова и др. – Л.: Химия, 1988. – 512 с.
5. Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ / А.И. Денисова, В.М. Тимченко, Е.П. Нахшина и др. – К.: Наук. думка, 1989. – 216 с.
6. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. – М.: Наука, 1983. – 160 с.
7. Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л. Кислотные дожди и окружающая среда. – М.: Химия, 1991. – 144 с.
8. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 240 с.
9. Зонн С.В., Травлеев А.П. Алюминий. Роль в почвообразовании и влияние на растения. – Д.: Изд-во ДГУ, 1992. – 224 с.
10. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию: Учеб. пособие. – С.Пб: Химиздат, 1999. – 144 с.
11. Лапин И.А. Комплексообразующая способность природных вод в системе определения буферной емкости водных экосистем к тяжелым металлам // Экологическое нормирование и моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – Вып. 1. – С. 83-95.

12. *Линник П.М., Чубов Л.М.* Обмін Al(III) в системі “донні відклади – вода” // Наук. зап. Тернопіл. нац. пед. ун-ту. Сер.: Біологія. Спец. вип.: Гідроекологія. – 2005. – № 3 (26). – С. 251-253.
13. *Линник П.Н.* Алюминий в природных водах: содержание, формы миграции, токсичность // Гидробиол. журн. – 2007. – Т. 43, № 2. – С. 80-102.
14. *Линник П.Н., Васильчук Т.А., Болелая Н.В.* Гумусовые вещества в воде Днепровских водохранилищ // Гидробиол. журн. – 1995. – Т. 31, № 2. – С. 74-81.
15. *Линник П.Н., Васильчук Т.А., Зубенко И.Б.* Роль донных отложений во вторичном загрязнении водной среды водохранилищ органическими веществами и тяжелыми металлами // Химия и технология воды. – 1999. – Т. 21, № 1. – С. 30-46.
16. *Линник П.Н., Васильчук Т.А., Линник Р.П.* Гумусовые вещества природных вод и их значение для водных экосистем (обзор) // Гидробиол. журн. – 2004. – Т. 40, № 1. – С. 81-107.
17. *Савранский Л.И., Наджафова О.Ю.* Спектрофотометрическое исследование комплексообразования Cu, Fe и Al с хромазуолом S в смеси катионного и неионогенного ПАВ // Журн. аналит. Химии. – 1992, Т. 47, №9. – С. 1613-1617.
18. *Тихонов В.Н.* Аналитическая химия алюминия. – М.: Наука, 1971. – 266 с.
19. *Фелленберг Г.* Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию. Пер. с нем. / Под ред. *К.Б. Заборенко* – М.: Мир, 1997. – 232 с.
20. *Aluminium in drinking-water.* Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality // Guidelines for Drinking-water Quality, 2nd ed. Addendum to Vol. 2 Health criteria and other supporting information. – World Health Organization, Geneva. – 1998. – 14 p.
21. *Bi S.P., Yang X.D., Zhang F.P. et al.* Analytical methodologies for aluminium speciation in environmental and biological samples – a review // Fresenius' J. Anal. Chem. – 2001. – Vol. 370. – P. 984-996.
22. *Driscoll C.T.* Aluminum in acidic surface waters: chemistry, transport, and effects // Environ. Health Perspectives. – 1985. – Vol. 63. – P. 93-104.
23. *Driscoll C.T.* The chemistry of aluminium in surface waters // The environmental chemistry of aluminium (ed. G. Sposito), CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, 1989. – P. 242-277.
24. *Driscoll C.T., Schecher W.D.* The chemistry of aluminum in the environment // Environ. Geochem. Health. – 1990. – Vol. 12. – P. 28-48.
25. *Elkins K.M., Nelson D.J.* Spectroscopic approaches to the study of the interaction of aluminum with humic substances // Coordination Chemistry Reviews. – 2002.

- Vol. 228. – P. 205-225.
26. *Guibaud G., Gauthier C., Ayele J.* Role of natural organic matter in the mobility of aluminium ions in rivers in the Limousin region (France) // *Agronomie.* – 2000. – Vol. 20. – P. 577-590.
27. *Linnik P.M., Zubenko I.B.* Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy-metal compounds // *Lakes and Reservoirs: Research and Management.* – 2000. – Vol. 5, N 1. – P. 11-21.
28. *Tipping E., Backes C.A.* Organic complexation of Al in acid waters: model-testing by titration of a streamwater sample // *Water Res.*, 1988. – Vol. 22. – P. 593-595.
29. *Tipping E., Rey-Castro C., Bryan S.E., Hamilton-Taylor J.* Al(III) and Fe(III) binding by humic substances in freshwaters, and implications for trace metal speciation // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2002. – Vol. 66, N 18. – P. 3211-3224.
30. *Tipping E., Woof C., Hurley M.A.* Humic substances in acid surface rivers; modelling aluminium binding, contribution to ionic charge-balance, and control of pH // *Water Res.* – 1991. – Vol. 25. – P. 425-435.
31. *Walker W.J., Cronan C.S., Patterson H.H.* A kinetic study of aluminium adsorption by aluminosilicate clay minerals // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1988. – Vol. 52. – P. 55-62.
32. *Witters H.E.* Chemical speciation dynamics and toxicity assessment in aquatic systems // *Ecotoxicol. Environ. Safety.* – 1998. – Vol. 41. – P. 90-95.

Інститут гідробіології НАН України, Київ

В.А. Жежеря, П.Н. Линник

Сосуществующие формы и особенности миграции алюминия в воде Каневского водохранилища

В статье приведены данные о сосуществующих формах алюминия в воде Каневского водохранилища (на примере верхнего участка). Выяснено, что большая часть Al(III) входит в состав взвешенных веществ – от 54 до 80% $Al_{общ}$. Сильной корреляционной зависимости между массой взвеси и концентрацией алюминия в ее составе не установлено. Растворенная форма алюминия представлена в основном органическими комплексными соединениями, среди которых доминируют комплексы с гумусовыми веществами. Часть алюминия в их составе достигает 55-66% $Al_{раств.}$

V.A. Zhezherja, P.N. Linnik

Coexisting forms and peculiarities of aluminium migration in water of the Kaniv reservoir

The data on coexisting forms of aluminium in water of the top part of the Kaniv reservoir are considered. It is established, that the most part of aluminium contains in composition of suspended matter (54-80 % Al_{total}). Strong correlation dependence between the suspension weight and concentration of aluminium in its composition is not established. The dissolved form of aluminium contains complexes of aluminium with organic substances, which differ by the chemical nature. Among organic substances of aluminium the complexes with humic substances are dominated. Portion of aluminium in these complexes makes 55-66 % of its concentration in dissolved form.