

Жежеря В.А., Линник П.М.

Інститут гідробіології НАН України, м. Київ

ФОРМИ МІГРАЦІЇ АЛЮМІНІЮ У ВОДІ ЗАПОРІЗЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

Ключові слова: алюміній; водосховище; форми міграції; комплекси; гумусові речовини

Постановка та актуальність проблеми. Алюміній – найпоширеніший метал у земній корі. У вільному стані в природі не зустрічається, але міститься у складі багатьох мінералів (каолініти, алуніти, гідроксиди, алюмосилікати та ін.), під час хімічного вивітрювання яких утворюються глини. Алюміній входить також до складу ґрунтів, концентрація якого в них залежить від хімічного складу материнської породи [10].

До поверхневих водойм алюміній надходить у значних концентраціях зі стічними водами підприємств гірничорудного, хіміко-фармацевтичного, лакофарбового, паперового, текстильного виробництва та виробництва синтетичного каучуку, алюмінієвих деталей, конструкцій і посуду [3, 5, 7]. Процес закислення ґрунтів, що відбувається через надмірне внесення азотвмісних добрив та кислотних дощів, також спонукає до надходження цього металу у поверхневі водойми з водозбірної площі [6]. Алюміній також потрапляє у водне середовище внаслідок вилуговування алюмосилікатів при $\text{pH} < 4,5$. Закислення поверхневих водойм через випадання кислотних дощів у країнах північного регіону (Норвегія, Швеція, Данія, Канада та ін.) призводить до значного надходження алюмінію з донних відкладів до водної товщі [5].

У поверхневих водах алюміній знаходиться у розчиненому, завислому і колоїдному стані [15]. До найтоксичніших сполук цього металу належать його аквакомплекси та гідросокомплекси складу $\text{Al}(\text{OH})_2^{2+}$ та $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, які домінують у слабко кислому водному середовищі в інтервалі значень pH 4,5–5,5 [12, 16]. За рибогосподарськими нормами концентрація вільного алюмінію (гідратованих іонів або аквакомплексів $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$) не повинна перевищувати 36 мкг/дм^3 [1]. Токсичність алюмінію може істотно знижуватися за рахунок утворення комплексів з неорганічними (фторид-, сульфат-, силікат-іонами), а також з органічними лігандами, наприклад, з фульво- (ФК) та гуміновими кислотами (ГК) [13, 14].

За величинами загальної концентрації $\text{Al}(\text{III})$ у воді важко стверджувати про його токсичність, оскільки не всі його сполуки, як зазначалося вище, негативно впливають на водяні організми. Тому постає нагальна проблема вивчення не лише загального вмісту $\text{Al}(\text{III})$, за величинами якого можна оцінити ступінь антропогенного навантаження на водний об'єкт, а й

зосередження зусиль на дослідженні його співіснуючих форм. Від форми знаходження металу у воді залежить його міграційна здатність, яка зростає за умови домінування розчиненої форми і, навпаки, зменшується, якщо Al(III) переважно мігрує у складі зависі.

Співіснуючі форми алюмінію у поверхневих водоймах України вивчено в недостатній мірі. Перші дослідження його форм міграції були розпочаті у відділі гідрохімії Інституту гідробіології НАН України. Тому вивчення вмісту та стану алюмінію у поверхневих водах є надзвичайно важливим з еколого-токсикологічної точки зору. Значний науковий і практичний інтерес мають також дані щодо шляхів міграції Al(III) і його розподілу між абіотичними компонентами водних екосистем. Це і стало метою наших досліджень.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження проводились на верхній ділянці Запорізького водосховища у весняно-осінній період 2009 р. Проби води відбирали поблизу Кайдацького моста (1), річкового порту (2), і Південного мосту (3) з поверхневого (~0,5 м) і придонного (~0,3–0,5 м від дна) шарів за допомогою модифікованого батометра-склянки.

Для відокремлення зависі проби води об'ємом 0,5–1,0 дм³ пропускали через мембранні фільтри “Synpro” (Чехія) з діаметром пор 0,4 мкм. Масу зависі визначали за різницею між масою фільтру із зависсю, який був висушений при кімнатній температурі, та масою самого фільтру.

Концентрацію Al(III) визначали фотометрично з використанням реагенту хромазуолу S [11]. Вміст алюмінію у складі зависі знаходили 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 у максимально стислий проміжок часу після фільтрації проб, а загальну концентрацію розчинної форми – після фотохімічного окиснення. Для цього проби води об'ємом 20,0 см³ виливали у кварцеві склянки, підкислювали концентрованою H₂SO₄ до рН 1,0–1,5 та додавали 2–3 краплі 30%-ного розчину H₂O₂ і опромінювали УФ-світлом (ртутно-кварцева лампа ДРТ-1000) протягом 2,5 годин.

Для визначення концентрації Al(III) у складі комплексних сполук з органічними речовинами різної хімічної природи використовували метод іонообмінної хроматографії [9]. Для цього пробу фільтрованої води об'ємом 0,5–1,0 дм³ послідовно пропускали через скляні колонки, одна з яких була заповнена діетиламіноетилцелюлозою (ДЕАЕ-целюлозою), а друга – карбоксиметилцелюлозою (КМ-целюлозою), зі швидкістю 1,0 см³/хв. Отримували три фракції розчинених органічних речовин (РОР): кислотну або аніонну, основну або катіонну і нейтральну. Аніонна фракція містить у своєму складі переважно гумусові речовини (ГР), катіонна – головним чином білковоподібні речовини (БПР), а нейтральна – в основному вуглеводи. Концентрацію алюмінію у складі комплексів із зазначеними фракціями РОР визначали після їх фотохімічного окиснення, як зазначено вище.

Молекулярно-масовий розподіл комплексних сполук алюмінію з РОР аніонної фракції досліджували методом гель-хроматографії, використовуючи скляну колонку, заповнену TSK-гелем HW-50F (Японія). Параметри колонки, речовини для її калібрування та дані щодо швидкості пропускання концентрату аніонної фракції через колонку і кількості фракцій наведено в [9]. Значення рН контролювали за допомогою рН-метра рН 150 МИ (Росія). Концентрацію алюмінію у кожній фракції визначали після фотохімічного окиснення ГР.

Результати досліджень та їх обговорення Загальний вміст Al(III) у воді Запорізького водосховища коливався в межах від 37,2 до 159,2 мкг/дм³. У складі завислої та розчинної форм його концентрації становили відповідно 21,5–122,6 і 6,1–67,0 мкг/дм³, тобто спостерігається помітна перевага першої. Максимальні концентрації розчиненої форми Al(III) спостерігалися влітку, саме тоді, коли до водосховища надходять води з більш високим вмістом ГР із вище розташованих водосховищ (рис. 1а). У червні частка розчиненої форми Al(III) домінувала над завислою і складала в поверхневому шарі та біля дна відповідно 63,4% та 56,7% (рис. 1б). Найвірогідніше, це зумовлено комплексоутворенням за участю ГР. Зависла форма Al(III) переважала протягом усього періоду досліджень, окрім червня, та досягала максимальних абсолютних величин у серпні. У цей час її частка складала 68,8% у поверхневому шарі води та 71,9% біля дна (див. рис. 1а, б).

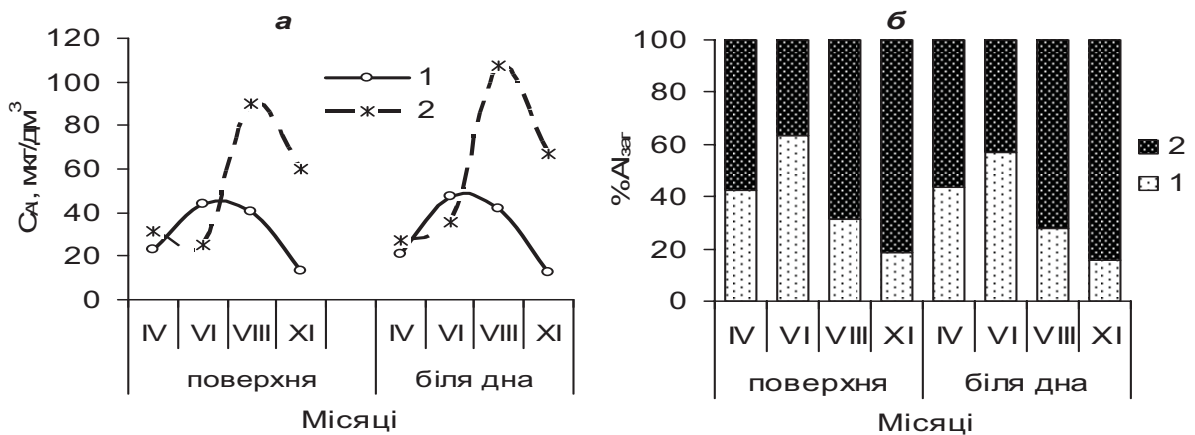


Рис. 1. Співвідношення розчиненої (1) і завислої (2) форм Al(III) у воді Запорізького водосховища (за середніми величинами): а – абсолютні величини, б – відносний вміст

Якщо оцінювати абсолютні величини вмісту алюмінію у складі розчиненої і завислої форм, то можна пересвідчитися у їхньому істотному збільшенні влітку (див. рис. 1а). Це пояснюється, з одного боку, зростанням ролі комплексоутворення за участю ГР, бо саме найбільші їхні концентрації у Запорізькому водосховищі характерні для цієї пори року. З іншого боку, неабияке значення в міграції алюмінію відіграють завислі речовини, оскільки він активно сорбується на їхній поверхні і, крім того, значна частина цього металу міститься у складі глинястих частинок. З наведених нижче даних щодо вмісту завислих речовин у воді Запорізького водосховища (табл.)

видно, що найбільші його величини спостерігалися навесні і влітку (відповідно квітень і серпень).

Проте співвідношення між розчинною і завислою формами алюмінію не завжди адекватно відображає взаємозв'язок між масою зависі та вмістом алюмінію у її складі (див. рис. 1б). По-перше, сама маса зависі зазнає сезонних змін (табл.), що зумовлено впливом як зовнішніх, так і внутрішніх чинників. По-друге, змінюється її склад у різні пори року з явним домінуванням органічної складової влітку за рахунок фітопланктону. Якщо порівнювати червень і листопад, коли вміст завислих речовин був низьким і майже однаковим, то це співвідношення було прямо протилежним: у червні переважала розчинна форма, а в листопаді – зависла. Певна різниця між зазначеним співвідношенням проявляється і в квітні та серпні, коли вміст зависі був найбільшим і знову ж таки приблизно однаковим. Спостерігається й інше. За значно менших величин маси зависі у листопаді порівняно з періодом кінця літа частка завислої форми алюмінію була більшою восени і навіть максимальною протягом усього періоду досліджень (відповідно 81,4% та 84,4% у поверхневому і придонному шарах води). Отже, це дає підставу стверджувати, що природа завислих речовин певним чином впливає на його розподіл між зависсю і водним розчином.

Залежно від пори року у складі зависі може зростати або зменшуватися частка органічної складової, що зумовлено насамперед розвитком фітопланктону (див. табл.). Проте змінюється протягом року і його видовий склад. Так, навесні органічна складова зависі була представлена переважно нитчастими формами зелених водоростей, а в серпні – синьозеленими водоростями (табл.).

Таблиця. Вміст завислих речовин у воді Запорізького водосховища у різні пори року

Станції відбору проб води	Поверхневий шар води					Придонний шар води				
	місяці				Характер органічної складової зависі	місяці				Характер органічної складової зависі
	IV	VI	VIII	XI		IV	VI	VIII	XI	
	маса зависі, мг/дм ³					маса зависі, мг/дм ³				
1	13,7	1,5	12,9	1,4	<u>IV</u> н. з. в.; з. в.	11,4	2,3	12,8	1,0	<u>IV</u> н. з. в.
2	11,1	0,9	10,1	1,4	<u>VI</u> сз. в.; д. в.	10,7	1,5	13,0	2,5	<u>VI</u> сз. в.; д. в.
3	10,0	1,1	11,0	1,3	<u>VIII</u> сз. в.	10,4	2,4	13,1	1,5	<u>VIII</u> сз. в.
					<u>XI</u> д. в.; з. в.; детрит					<u>XI</u> детрит

Примітка: * – наведено якісну характеристику органічної складової зависі; н. з. в. – нитчасті зелені водорості, сз. в. – синьозелені водорості, д. в. – діатомові водорості, з. в. – зелені водорості.

Між масою зависі і концентрацією Al(III) у її складі не вдалося встановити чітко вираженого кореляційного зв'язку (рис. 2), що пояснюється

різними причинами. Протягом усього періоду досліджень середнє значення коефіцієнта кореляції (r) не перевищувало 0,36. Якщо б це була лише мінеральна завись, то кореляційна залежність явно була б чіткішою. Хоча неабияке значення має і розмір самих частинок. Однак стає очевидним, що наявність серед завислих речовин органічної складової та її домінування в окремі періоди впливає на характер залежності між масою зависі і вмістом алюмінію у її складі. Вірогідно, навіть переважання частки органічної складової не призводить до помітного перерозподілу $Al(III)$ між водним розчином і зависсю. Влітку зростає роль комплексоутворення в міграції металів, бо збільшується вміст РОР у воді за рахунок різних джерел, а комплексні сполуки, зазвичай, сорбуються меншою мірою. Не відомо також, яким чином і в яких кількостях поглинається алюміній водоростевими організмами та ще й якщо вони належать до різних видів. Восени, судячи з одержаних результатів, переважала мінеральна складова зависі з домішкою детриту, а тому і частка $Al_{зав}$ була найбільшою, незважаючи на низький вміст завислих речовин у цю пору року. У складі розчиненої форми $Al(III)$ проводився аналіз лабільної та нелабільної його фракцій (рис. 3).

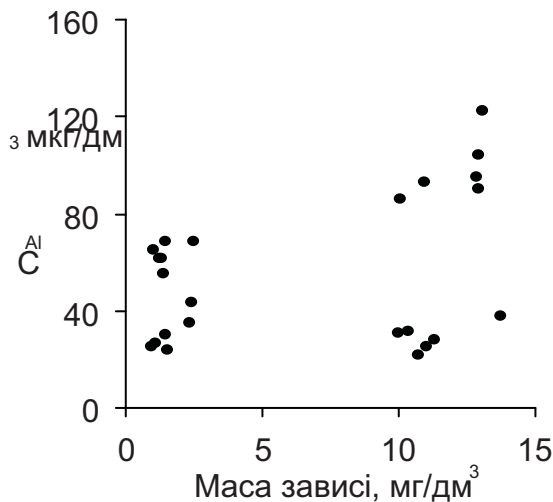


Рис. 2. Залежність концентрації $Al(III)$ у складі зависі від маси завислих речовин

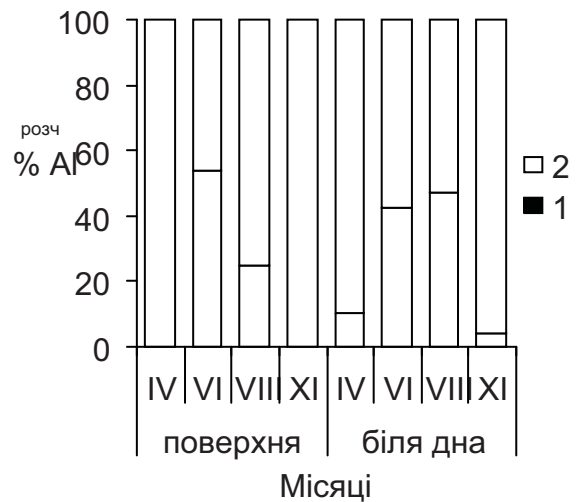


Рис. 3. Співвідношення лабільної (1) і нелабільної (2) фракцій розчиненого $Al(III)$ у воді Запорізького водосховища у різні пори року.

До першої з них відноситься $Al(III)$, який вивільняється із комплексних сполук та визначається реагентом хромазуолом S безпосередньо у природній фільтрованій воді без попередньої її пробопідготовки. Концентрацію нелабільної фракції алюмінію встановлювали за різницею між загальним вмістом розчинених форм $Al(III)$ і його концентрацією у складі лабільної фракції. Безперечно, співвідношення між цими фракціями алюмінію може змінюватися залежно від того, який реагент використовується для визначення $Al(III)$, тобто наскільки міцні або слабкі комплекси він утворює з іонами Al^{3+} порівняно з міцністю комплексних сполук цього металу з природними органічними лігандами. Це з одного боку, а з іншого, слід зважати на ту обставину, що компонентний склад органічних речовин у водоймі, зазвичай, мінливий і серед них можуть бути сполуки з

різними комплексоутворювальними властивостями, зокрема і такі, що утворюють слабкі комплекси з алюмінієм. Влітку концентрація органічних речовин, за даними перманганатної окиснюваності води (ПО) досягала своїх максимальних значень (рис. 4). Серед них були не лише ГР, а й інші органічні сполуки, зокрема продукти метаболізму і, можливо, планктонний гумус.

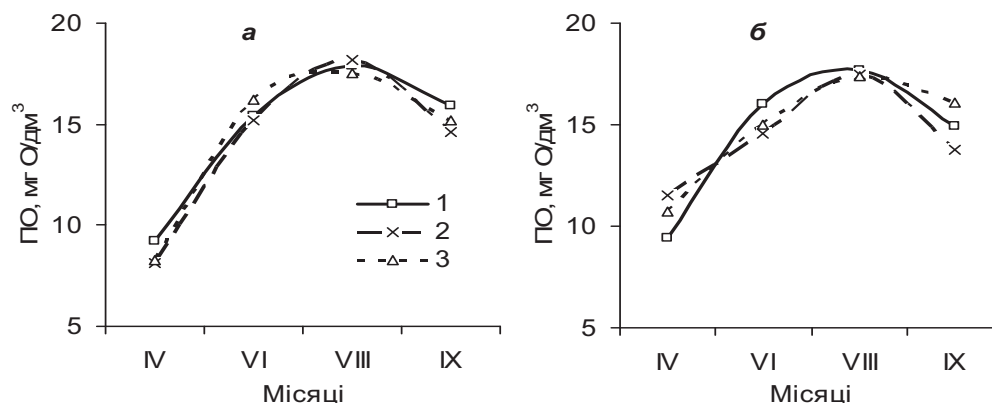


Рис. 4. Динаміка легкоокиснюваних органічних речовин (за даними ПО) у поверхневому (а) і придонному (б) шарах води Запорізького водосховища. 1 – 3 – станції відбору проб води

Найбільший відсоток лабільної фракції Al(III) у воді Запорізького водосховища відмічено влітку – відповідно 53,8% у поверхневому та 47,0% у придонному шарах води (див. рис. 3). Зростання частки лабільної фракції Al(III) у цю пору року пояснити однозначно важко, оскільки за даними гель-хроматографічних досліджень переважно весь розчинний алюміній знаходиться у складі органічних комплексних сполук. Однак компонентний склад РОР зазнає сезонних змін, а тому певна частина Al(III), вірогідно, зв'язується в комплекси, що характеризуються меншою міцністю, тобто вони більш слабкі.

Раніше наявність лабільних комплексних сполук Al(III) було підтверджено також методом гель-хроматографії для природної води з Канівського водосховища. Найбільш лабільними виявилися комплекси Al(III) з молекулярною масою $\leq 2,0$ кДа, частка яких досягала 50%.

Поняття лабільності набуває важливого значення з екологічних позицій, оскільки у даному випадку йдеться про комплексні сполуки Al(III), що характеризуються меншою міцністю, а тому алюміній, за дії певних чинників, зокрема зниження рН води або наявності у воді органічних речовин антропогенного походження, може вилучатися зі складу комплексів з природними органічними лігандами і невідомо у такому випадку, як це може вплинути на його токсичність та біодоступність.

Переважне знаходження розчиненого алюмінію у складі органічних комплексних сполук свідчить про активне його зв'язування РОР. Результати досліджень методом іонообмінної хроматографії показали, що основну роль у комплексоутворенні відіграє аніонна фракція РОР (рис. 5), у складі якої домінують ГР. Проте навесні частка аніонних комплексів алюмінію була найнижчою і не перевищувала 30% Al_{розч.} Однак вона різко зростає влітку і

восени – у 2,5–3,0 рази порівняно з весняним періодом. Характерним є і те, що навесні більша частина алюмінію знаходиться у складі катіонної і нейтральної фракцій РОР, причому нейтральні комплекси Al(III) виявилися домінуючою фракцією. Істотне зростання частки аніонних сполук Al(III) в літньо-осінній період зумовлено надходженням вод з більшим вмістом ГР із вище розташованих водосховищ, оскільки до Запорізького водосховища вони потрапляють саме влітку [4]. Подальше збільшення частки комплексів Al(III) з аніонною фракцією РОР восени може бути пов'язано з формуванням планктонного гумусу, який додатково зв'язував Al(III) у комплекси.

Гель-хроматографічні дослідження молекулярно-масового розподілу аніонних комплексів Al(III) показали, що у їхньому складі домінували сполуки з молекулярною масою $\leq 2,0$ кДа протягом усього періоду досліджень, окрім листопада (рис. 6). Частка цих комплексів досягала 62–64%. Отже, це наводить на думку, що Al(III) був зв'язаний переважно з ФК, оскільки саме вони, на відміну від ГК, мають меншу молекулярну масу. Крім того, у складі ГР водосховищ Дніпра переважають ФК, концентрація яких перевищує вміст ГК у 20–40 разів. Відомо також, що ФК дніпровських водосховищ з молекулярною масою $< 1,0$ кДа складають 65–70% від загального їх вмісту. ГК мають дещо більшу молекулярну масу ($> 5,0$ кДа) [8].

Таким чином, зважаючи на викладене вище, можна стверджувати, що в аніонній фракції РОР Al(III) знаходиться переважно у складі комплексів з ФК.

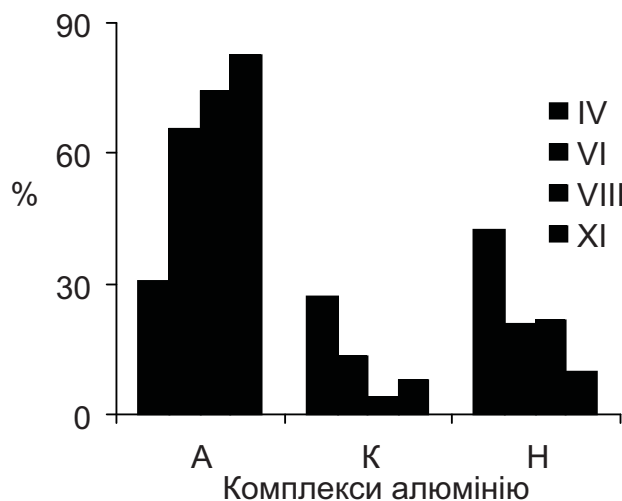


Рис. 5. Розподіл Al(III) серед комплексних сполук з РОР різної хімічної природи у воді Запорізького водосховища: А – аніонні, К – катіонні, Н – нейтральні комплекси. IV – квітень, VI – червень, VIII – серпень, XI – листопад.

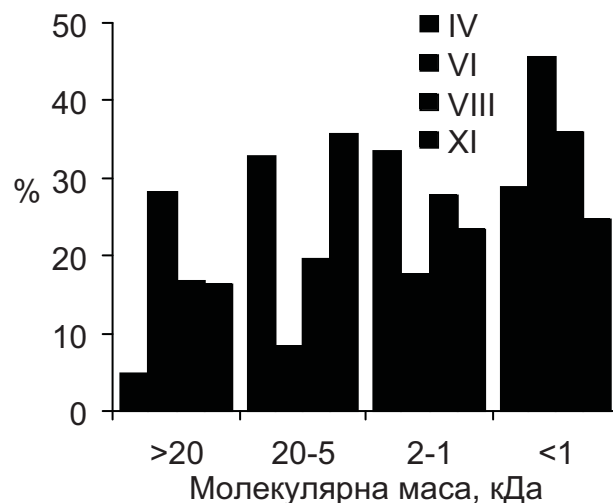


Рис. 6. Розподіл Al(III) серед комплексних сполук з РОР аніонної фракції (верхня ділянка Запорізького водосховища), що мають різну молекулярну масу. IV – квітень, VI – червень, VIII – серпень, XI – листопад.

Висновки. У воді верхньої ділянки Запорізького водосховища Al(III) мігрує головним чином у складі зависі (56,6–84,4% від загального вмісту), за винятком червня, де його частка у складі розчиненої форми досягала 56,7% біля дна та 63,4% у поверхневому шарі води. Серед органічних комплексів

переважають сполуки Al(III) з ГР, окрім квітня, коли їхня частка не перевищує 30%. В літньо-осінній період вона зростає до 65,8–82,5%. У складі аніонних комплексів Al(III) домінують сполуки з молекулярною масою $\leq 2,0$ кДа, що свідчить про переважне його зв'язування ФК, оскільки вони, на відміну від ГК, характеризуються молекулярною масою, що не перевищує 1,0 кДа. Таким чином, у воді Запорізького водосховища не слід очікувати появи токсичних форм Al(III), оскільки цьому не сприяють значення її рН (8,0–9,0) і, крім цього, Al(III) знаходиться головним чином у зв'язаному стані внаслідок адсорбції на зависі та комплексоутворення з РОР.

Список літератури

1. Алтунин В.С. Контроль качества воды: Справочник / В.С.Алтунин, Т.М. Белавцева. – М.: Колос, 1993. – 367 с.
2. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии / Р. Бок. – М.: Химия, 1984. – 432 с.
3. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I–IV групп: Справ. изд. / Под ред. В.А. Филова и др. – Л.: Химия, 1988. – 512 с.
4. Денисова А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования / А.И. Денисова. – К.: Наук. думка, 1979. – 292 с.
5. Заиков Г.Е. Кислотные дожди и окружающая среда / Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л.. – Л.: Химия, 1991. – 144 с.
6. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию: Учеб. Пособие / В.А. Исидоров. – СПб.: Химиздат, 1999. – 144 с.
7. Линник П.Н. Алюминий в природных водах: содержание, формы миграции, токсичность / П.Н. Линник // Гидробиол. журн. – 2007. – Т. 43, № 2. – С. 80–102.
8. Линник П.Н. Гумусовые вещества природных вод и их значение для водных экосистем (обзор) / Линник П.Н., Васильчук Т.А., Линник Р.П. // Гидробиол. журн. – 2004. – Т. 40, № 1. – С. 81–107.
9. Линник П.Н. Особенности распределения алюминия среди сосуществующих форм в поверхностных водоемах разного типа / П.Н. Линник, В.А. Жежеря // Гидробиол. журн. – 2009. – Т. 45, № 6. – С. 92–109.
10. Орлов Д.С. Вопросы идентификации и номенклатуры гумусовых веществ / Д.С. Орлов // Почвоведение. – 1985. – № 2. – С. 48–60.
11. Савранский Л.И. Спектрофотометрическое исследование комплексообразования Cu, Fe и Al с хромазуролом S в присутствии смеси катионного и неионогенного ПАВ / Л.И. Савранский, О.Ю. Наджафова // Журн. аналит. химии. – 1992. – Т. 47, № 9. – С. 1613–1617.
12. Driscoll C.T. The chemistry of aluminium in surface waters / C.T. Driscoll // The environmental chemistry of aluminium (ed. G. Sposito), CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, 1989. – P. 242–277.
13. Driscoll C.T., Schecher W.D. The chemistry of aluminum in the environment / C.T. Driscoll, W.D. Schecher // Environ. Geochem. Health. – 1990. – Vol. 12. – P. 28–48.
14. Tipping E. Organic complexation of Al in acid waters: model-testing by titration of a streamwater sample / E. Tipping, C.A. Backes // Water Res. – 1988. – Vol. 22. – P. 593–595.
15. Walker W.J. A kinetic study of aluminium adsorption by aluminosilicate clay minerals / Walker W.J., Cronan C.S., Patterson H.H. // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1988. – Vol. 52. – P. 55–62.
16. Witters H.E. Chemical speciation dynamics and toxicity assessment in aquatic systems / H.E. Witters // Ecotoxicol. Environ. Safety. – 1998. – Vol. 41. – P. 90–95.

Форми міграції алюмінію у воді Запорізького водосховища

Жежеря В.А., Линник П.М.

Розглянуто результати дослідження існуючих форм алюмінію у воді Запорізького водосховища та їх співвідношення у різні пори року. Показано, що домінуючою формою його існування є зависла. Розчинений алюміній превалює в період максимального вмісту у воді гумусових речовин, котрі, зокрема фульвокислоти, відіграють певну роль в його зв'язуванні в аніонні комплекси. Серед останніх домінують сполуки з молекулярною масою, не вище 2,0 кДа.

Ключові слова: алюміній; водосховище; форми міграції; комплекси; гумусові речовини.

Формы миграции алюминия в воде Запорожского водохранилища

Жежеря В.А., Линник П.Н.

Рассмотрены результаты исследований сосуществующих форм алюминия в воде Запорожского водохранилища и их соотношение в различные сезоны года. Показано, что доминирующей формой нахождения этого металла является взвешенная. Растворенный алюминий преобладает в период максимального содержания в воде гумусовых веществ, которые, в частности фульвокислоты, играют определяющую роль в его связывании в анионные комплексы. Среди последних доминируют соединения с молекулярной массой, не превышающей 2,0 кДа.

Ключевые слова: алюминий; водохранилище; формы миграции; комплексы; гумусовые вещества.

Speciation of aluminium in water of the Zaporozhye reservoir

Zhezherya V.A., Linnik P.N.

Results of researches of aluminium coexisting forms in water of the Zaporozhye reservoir and their ratio during various seasons of year are considered. It is shown that suspended form of this metal is predominated. The dissolved aluminium prevails during the maximal content of humic substances in water. These organic acids, particularly fulvic acids, play the main role in its bounding to anionic complexes. The aluminium complex compounds with the molecular weight which is not exceeding 2,0 kDa are dominated among the anionic complexes.

Keywords: aluminium; reservoir; speciation; complexes; humic substances.

Надійшла до редколегії 25.02.10

УДК 556.551.3/4

Ухань О.О.

Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, м. Київ

ИНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД БАСЕЙНУ СІВЕРСЬКОГО ДІНЦЯ

Ключові слова: *якість води, інтегральний екологічний індекс якості, блоки індексу якості*

Вступ. Східна Україна характеризується як один з найбільш індустріальних та урбанізованих регіонів країни з інтенсивним веденням сільського господарства. В межах Харківської, Донецької та Луганської областей розташована велика кількість підприємств машинобудівельного комплексу, більше 100 хімічних та металургійних підприємств, харчова промисловість представлена значною кількістю хлібозаводів, содових комбінатів та ін. Єдиним джерелом водопостачання цього регіону є р. Сіверський Донець [4]. Використання води Сіверського Дінця промисловими

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т.3(20)