УДК [(574.64:556.114)+546.62](28)

В.А. Жежеря, П.М. Линник

ВМІСТ ТА ФОРМИ ЗНАХОДЖЕННЯ АЛЮМІНІЮ У ВОДІ РІЧОК БАСЕЙНУ ПРИП'ЯТІ

Розглянуто дані щодо вмісту та форм знаходження алюмінію у воді річок басейну Прип'яті. Показано, що концентрація Al(III) в них знаходиться у широкому інтервалі величин (влітку – 76,7-897,0, восени – 20,0-832,0 мкг/дм^3). За підвищеної концентрації гумусових речовин (ГР) у воді зазначених річок частка завислої форми алюмінію істотно знижується. Максимальний вміст розчинних форм алюмінію досягає 278,0 і 580,0 мкг/дм^3. Серед комплексних сполук алюмінію з розчиненими органічними речовинами домінують його аніонні комплекси (71,0-86,0 %), що є свідченням визначальної ролі ГР у зв'язуванні іонів Al(III). Більшу частину аніонних комплексів алюмінію складають сполуки з відносно невисокою молекулярною масою, що не перевищує 2,0 кДа (50,0-65,0 %).

Ключові слова: алюміній, співіснуючі форми, гумусові речовини, кольоровість, річки басейну Прип'яті.

Вступ

Поглиблене вивчення стану алюмінію в природних поверхневих водах зумовлене його токсичною дією на живі організми як рослинного, так і тваринного походження. Хоча ще не так давно цей метал вважався інертним і малотоксичним. Однак токсичність Al(III), як і більшості інших металів, залежить від форми його знаходження у водному середовищі. До найтоксичніших відносяться його аквакомплекси ($Al(H_2O)_6^{3+}$) та деякі гідроксокомплекси, зокрема $Al(OH)_2^+$ і $AlOH^{2+}$, що можуть існувати у слабко кислому середовищі за pH 4,5-5,5 [23, 27]. Детоксикація алюмінію в природному водному середовищі відбувається за участю фторид-, сульфат- і силікат-іонів внаслідок утворення відповідних комплексних сполук. Проте набагато помітніше зниження токсичності Al(III) слід очікувати внаслідок його зв'язування в комплекси з гумусовими речовинами (ГР) [22-25]. Це дає підставу стверджувати, що у водних об'єктах з підвищеним вмістом ГР варто очікувати на детоксикацію алюмінію, оскільки значною мірою втрачається його

хімічна і біологічна активність. Водночас відомо, що Al(III) утворює достатньо міцні комплекси з ГР, а це сприяє його стабілізації і знаходженню у розчиненому стані, причому за значно вищих значень концентрації, ніж це випливає з даних термодинамічних розрахунків. Тому комплексоутворення за участю ГР зумовлює зростання міграційної здатності алюмінію в поверхневих водах, зокрема в тих, де зазначені органічні кислоти стають домінуючою групою у складі розчинених органічних речовин (РОР).

Відомо, що в річкових водах алюміній мігрує переважно у складі завислих речовин, оскільки серед річкової завісі знаходиться значна кількість мінеральних частинок, до складу яких входить Al(III). Частка завислого алюмінію досягає 95-99 % [6, 7]. У водах водосховищ і озер вона дещо знижується, залишаючись все ж основною формою його міграції. Оскільки ГР активно зв'язують іони металів, у тому числі й Al(III), у комплекси, то важливо встановити, наскільки помітним може бути їхній вплив на міграційну рухливість зазначеного металу у водних об'єктах, де ці природні органічні кислоти не лише домінують серед РОР, а й знаходяться в доволі високих концентраціях.

Для проведення досліджень ролі ГР у міграції алюмінію було обрано ріки басейну Прип'яті. Більша частина цього басейну знаходиться в Поліссі. Тому у формуванні гідрохімічного режиму річок зазначеного басейну та й самої Прип'яті значну роль відіграють поверхневі води, з якими під час повені та дощів надходить значна кількість ГР із заболоченої площі водозбору [3, 8, 15, 18, 19, 21]. Залежно від вмісту органічних речовин і кольоровості води приток Прип'яті їх можна розділити на дві групи, до першої з яких відносяться річки Уборть, Ствига, Словечна та низка інших рік Північного Полісся, а до другої – річки Случ, Стир, Горинь і інші ріки Західного Полісся.

За даними Ю.Г. Майстренка [18] вміст органічного вуглецю ($C_{орг}$) у воді першої групи приток змінюється в межах від 14,0 до 26,8 мг/дм^3, а кольоровість води становить 120-200°. Притоки другої групи характеризуються меншими величинами концентрації $C_{орг}$ – 9,0-10,2°мг/дм^3.

Сезонні зміни концентрації органічних речовин у р. Прип'ять та її притоках характеризуються наступним: перманганатна і біхроматна окиснюваність (ПО і БО) води як опосередковані показники вмісту РОР, вміст у ній $C_{орг}$ та кольоровість збільшуються від зими до весни, а потім

зменшуються ближче до осені [18]. Восени вміст $C_{орг}$ продовжує зменшуватися до дуже низьких величин. Так, взимку величини ПО і БО води становлять відповідно 11,3-14,4 та 35,7-47,6 мг О/дм^3, а концентрація $C_{орг}$ не перевищує 10,6-13,5 мг/дм^3. Весною, зважаючи на збільшення поверхневого стоку з басейну Прип'яті, значення зазначених вище показників істотно зростають: ПО і БО води досягають своїх максимальних значень – 22,4-24,4 і 49,8-60,0 мг О/дм^3, а вміст $C_{орг}$ становить 21,2-23,0 мг/дм^3, тобто зростає майже вдвічі. Кольоровість води також збільшується, досягаючи свого максимуму (95-140°). Влітку величини зазначених показників зменшуються в 1,5-2 рази.

За результатами досліджень останніх років було показано [4, 5], що концентрація ГР у річках басейну Прип'яті знаходиться в широких межах, змінюючись посезонно. Так, у воді р. Прип'ять вміст фульвокислот (ФК) досягає 22,5–51,6 мг/дм^3, а гумінових кислот (ГК) – 1,8-6,3 мг/дм^3 [5]. У воді р. Уборть ці показники ще вищі – 41,9-124,0 і 2,1-13,7 мг/дм^3 відповідно. Високі значення концентрації ФК і ГК характерні і для деяких інших річок Північного Полісся, зокрема в ріках Льва і Ствига вміст ФК змінюється в межах відповідно 38,5-76,9 і 44,8-65,6, а ГК – в інтервалі 1,9-7,0 і 0,9-5,5 мг/дм^3 [4]. Лише в річках Західного Полісся (Стир, Горинь і деякі інші) концентрації ГР набагато нижчі.

Метою нашої роботи було вивчення ролі ГР у міграції алюмінію в річках з підвищеним вмістом зазначених органічних кислот та з'ясування особливостей розподілу металу між завислими і розчинними формами.

Матеріали та методи дослідження

Дослідженнями було охоплено саму р. Прип'ять та річки її басейну, зокрема такі як Словечна, Уборть, Ствига, Льва, Горинь, Стир, Простир, Стохід і канал Хабарище. Проби води відбирали з поверхневого горизонту (~0,5 м). Всю пробопідготовку здійснювали в лабораторних умовах.

Для відокремлення зависі використовували мембранну фільтрацію. Проби об'ємом 0,5-1,0 дм^3 пропускали через мембранні фільтри з діаметром пор 0,4 мкм ("Sinpor", Чехія). Масу завислих речовин знаходили за різницею між масою фільтра із зависсю, висушеного до постійної маси за кімнатної температури, та масою самого фільтра.

У фільтраті кожної проби визначали кольоровість води, використовуючи хромово-кобальтову шкалу, як описано в [1].

Концентрацію Al(III) у водній фазі, у складі завислих речовин та у фракціях після хроматографічного розділення РОР за їхньою хімічною природою і молекулярною масою визначали фотометрично, використовуючи реагент хромазурол S [20]. Аналіз завислих речовин на вміст алюмінію здійснювали після "мокрого спалювання" фільтрів із зависсю в суміші концентрованих азотної і сірчаної кислот градації "х.ч." (відповідно 2,0 $см^3$ HNO_3 і 1,0 $см^3$ H_2SO_4) [2]. Частку лабільної фракції алюмінію визначали відразу після фільтрації проб води і без попередньої пробопідготовки, а загальну концентрацію розчинної форми алюмінію – після фотохімічної деструкції РОР за дії УФ-опромінювання. Для цього до проб фільтрованої води об'ємом 20 $см^3$, що знаходилися в кварцових склянках, додавали декілька краплин концентрованої H_2SO_4 для встановлення pH у межах 1,0-1,5 і 2-3 краплі 30 %-го розчину H_2O_2. УФ-опромінювання здійснювали протягом 2,5 годин за допомогою ртутно-кварцової лампи ДРТ-1000.

Для розділення РОР за хімічною природою та визначення Al(III) у складі одержаних фракцій використовували метод іонообмінної хроматографії. Фільтрат природної води об'ємом 0,5 $дм^3$ послідовно пропускали через скляні колонки, заповнені целюлозними іонітами (ДЕАЕ- і КМ-целюлозою), зі швидкістю ≈ 1,0 $см^3$/хв. Після такого розділення отримували три фракції РОР: кислотну або аніонну, основну або катіонну і нейтральну. У першій з них були сконцентровані переважно ГР, у другій – білковоподібні речовини, а в третій – головним чином вуглеводи. Концентрацію алюмінію в кожній з одержаних фракцій визначали фотометрично після фотохімічного окиснення РОР, як зазначено вище.

Гель-хроматографічні дослідження проводили лише з використанням аніонної фракції РОР, оскільки було встановлено, що переважна частина розчинного Al(III) знаходилася саме в цій фракції. Використовували скляну колонку, заповнену TSK-гелем HW-50F (Японія). Параметри колонки: довжина 80 см, діаметр – 2,8 см, висота стовпчика гелю – 59,5 см, вільний об'єм колонки (V_0) – 145 $см^3$. Колонку попередньо калібрували за допомогою органічних речовин поліетиленгліколів (ПЕГ), що мали різну молекулярну масу (1,0, 2,0, 15,0 та 20,0 кДа), та глюкози (0,18 кДа). Концентрація ПЕГ становила

2,0 мг/см^3, а глюкози – 0,5 мг/см^3. Вихід зазначених речовин з колонки контролювали шляхом визначення перманганатної окиснюваності кожної з фракцій. Для дослідження молекулярно-масового розподілу комплексів алюмінію з РОР аніонної фракції (переважно з ГР) 6,0 см^3 концентрату зазначеної фракції пропускали через колонку з гелем зі швидкістю ≈ 1,0 см^3/хв. Збирали 20 фракцій (по 15 см^3 кожна) за допомогою колектора DOMBIFRAC D-002. Концентрацію Al(III) у кожній з фракцій знаходили фотометрично після фотохімічного окиснення ГР, як описано вище.

Результати досліджень та їх обговорення

Дані про загальну концентрацію алюмінію у воді досліджуваних річок та про його розподіл між завислою і розчинною формами (табл. 1) свідчать про доволі широкий інтервал вмісту металу. Причому влітку більшу частину алюмінію виявлено у складі завислих речовин. Лише в річках Уборть, Ствига і Прип'ять частка $Al_{зав}$ не перевищувала 50 %. Восени спостерігалися деякі зміни в співвідношенні завислої і розчинної форм алюмінію. В одних річках частка його завислої форми була дещо нижчою і не перевищувала 20-40 %, тоді як в інших – вона залишалася доволі високою і досягала 60-90 %.

Наші намагання оцінити залежність між вмістом алюмінію у складі завісі і масою завислих речовин у воді показали (рис. 1), що між цими показниками існує взаємозв'язок. Однак він більше виражений восени, ніж влітку. Така ситуація може бути зумовлена впливом різних чинників. Якщо це завись переважно мінерального походження, то зростання її маси призводить до збільшення вмісту алюмінію, оскільки відомо, що він входить до складу різноманітних мінералів. А збільшення частки органічної завісі в складі завислих речовин (зокрема внаслідок інтенсивного розвитку фітопланктону) призводить до порушення залежності між вмістом алюмінію і масою завісі [9, 12, 13, 17]. Не виключено, що влітку певна частина завислих речовин була представлена гумусовими кислотами, які за високого їхнього вмісту зазнавали агрегації і подальшої седиментації на завислих частинках мінерального походження. У цьому разі вони могли бути менше збагачені алюмінієм. Це може стосуватися, насамперед, високомолекулярних гумінових кислот. Характерним є й те, що восени маса завісі була набагато меншою, ніж влітку (табл. 1).

Таблиця 1

Загальний вміст алюмінію та співвідношення його завислих і розчинних форм у воді річок басейну Прип'яті

Об'єкти дослідження	Вміст завислих речовин, мг/дм^3	$Al_{заг}$, мкг/дм^3	$Al_{взв}$		$Al_{розч}$	
			мкг/дм^3	% $Al_{заг}$	мкг/дм^3	% $Al_{заг}$
Червень 2010 р.						
р. Словечна	10,1	376,6	196,6	52,2	180,0	47,8
р. Уборть	12,5	531,9	263,9	49,6	268,0	50,4
р. Ствига	3,9	681,3	101,3	14,9	580,0	85,1
р. Льва	22,3	619,6	351,6	56,7	268,0	43,3
р. Горинь	33,0	852,7	802,7	94,1	50,0	5,9
р. Стир	6,7	279,0	189,0	67,7	90,0	32,3
р. Простир	74,3	896,8	856,8	95,5	40,0	4,5
р. Стохід	4,3	119,2	79,2	66,4	40,0	33,6
р. Прип'ять (с. Сенчинці)	1,6	76,7	36,7	47,8	40,0	52,2
Канал Хабарище	18,4	136,0	119,0	87,5	17,0	12,5
Вересень 2010 р.						
р. Словечна	2,9	79,4	48,4	61,0	31,0	39,0
р. Уборть	2,0	117,6	46,6	39,6	71,0	60,4
р. Ствига	1,0	326,0	125,0	38,3	201,0	61,7
р. Льва	2,3	171,2	56,2	32,8	115,0	67,2
р. Горинь	34,7	832,0	712,0	85,6	120,0	14,4
р. Стир	13,1	396,8	295,8	74,5	101,0	25,5
р. Простир	19,2	465,8	410,8	88,2	55,0	11,8
р. Стохід	0,3	111,0	22,0	19,8	89,0	80,2
р. Прип'ять (с. Сенчинці)	4,6	106,1	76,1	71,7	30,0	28,3
Канал Хабарище	0,2	20,1	8,1	40,3	12,0	59,7

Необхідно зазначити, що в річкових водах алюміній мігрує переважно у складі завісі (частка завислої його форми становить 95-99 %) [6, 7, 11, 17]. Однак звертає увагу на себе та обставина, що в досліджуваних нами річках значну частину алюмінію було виявлено у розчиненому стані, що зумовлено підвищеним вмістом ГР, з якими Al(III) утворює достатньо міцні комплекси. Вміст розчинного алюмінію в деяких річках досягав 270 і 580 мкг/дм^3 (див. табл. 1), що не характерно для більшості водних об'єктів, які досліджувалися нами раніше, у тому числі для Дніпровських водосховищ [9, 11-13, 17].

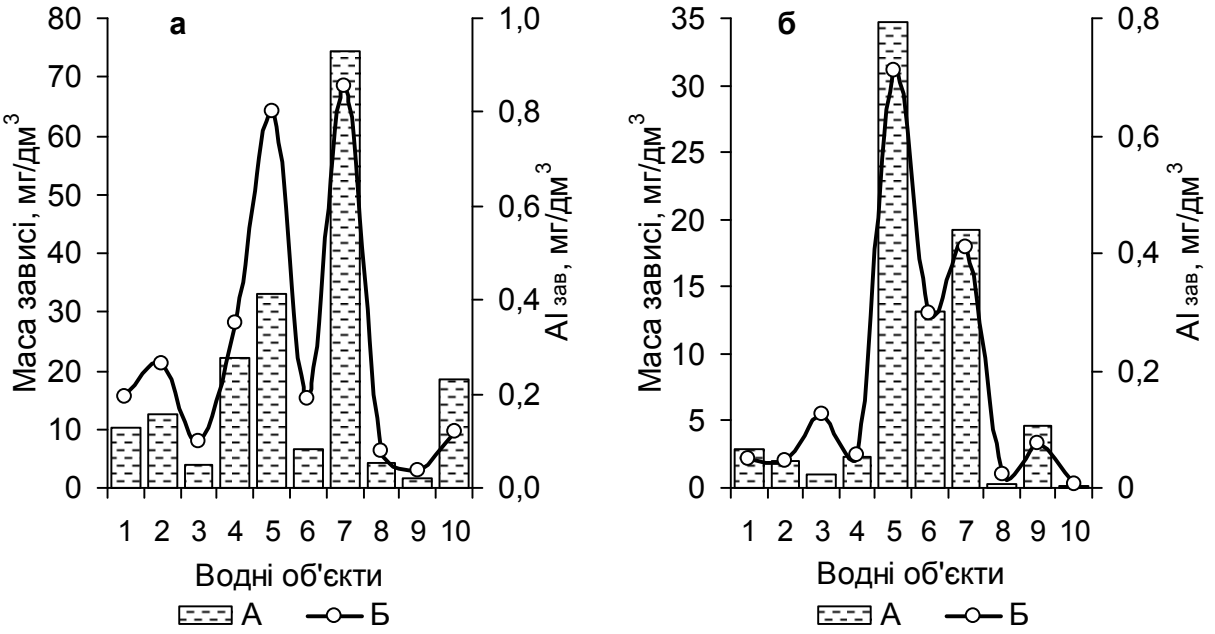

Рис. 1. Вміст завислих речовин (А) та алюмінію у складі завісі (Б) в річках басейну Прип'яті влітку (а) і восени (б) 2010 р.

(На рис. 1, 2 і 3: 1 – р. Словечна, 2 – р. Уборть, 3 – р. Ствига, 4 – р. Льва, 5 – р. Горинь, 6 – р. Стир, 7 – р. Простир, 8 – р. Стохід, 9 – р. Прип'ять (с. Сенчинці), 10 – канал Хабарище)

Аналіз одержаних даних стосовно концентрації розчинного алюмінію у воді річок басейну Прип'яті і величин pH (рис. 2) свідчить про те, що зі зниженням pH вміст $Al_{розч}$ істотно збільшується. З цим можна було б погодитися, адже відомо, що закислення водойм неминуче супроводжується зростанням концентрації алюмінію у воді внаслідок його активного надходження з донних відкладів [10, 14]. Ця проблема набула особливої гостроти в країнах Північного регіону (країни Скандинавії, Канада

та деякі інші) [14]. Закислення озер супроводжується зниженням біопродуктивності водойм у цілому і їхньої рибопродуктивності зокрема.

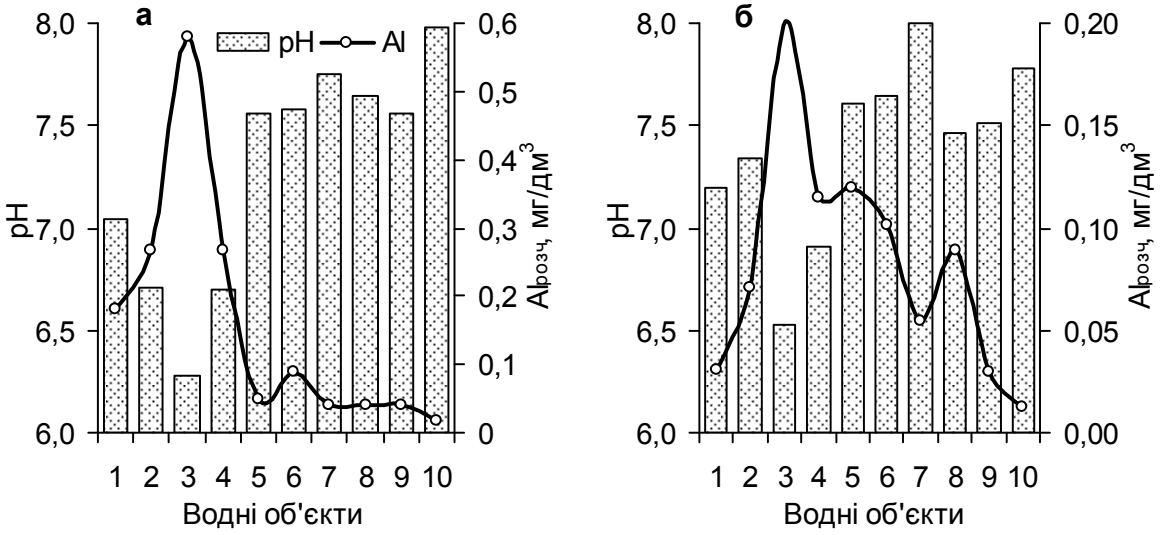

Рис. 2. Вміст розчинного алюмінію ($Al_{розч}$) і величини pH води річок басейну Прип'яті влітку (а) і восени (б) 2010 р.

Однак пояснення зростання концентрації розчинного алюмінію у воді лише через низькі значення pH було б некоректним, оскільки саме зниження pH зумовлено достатньо високими величинами концентрації ГР.

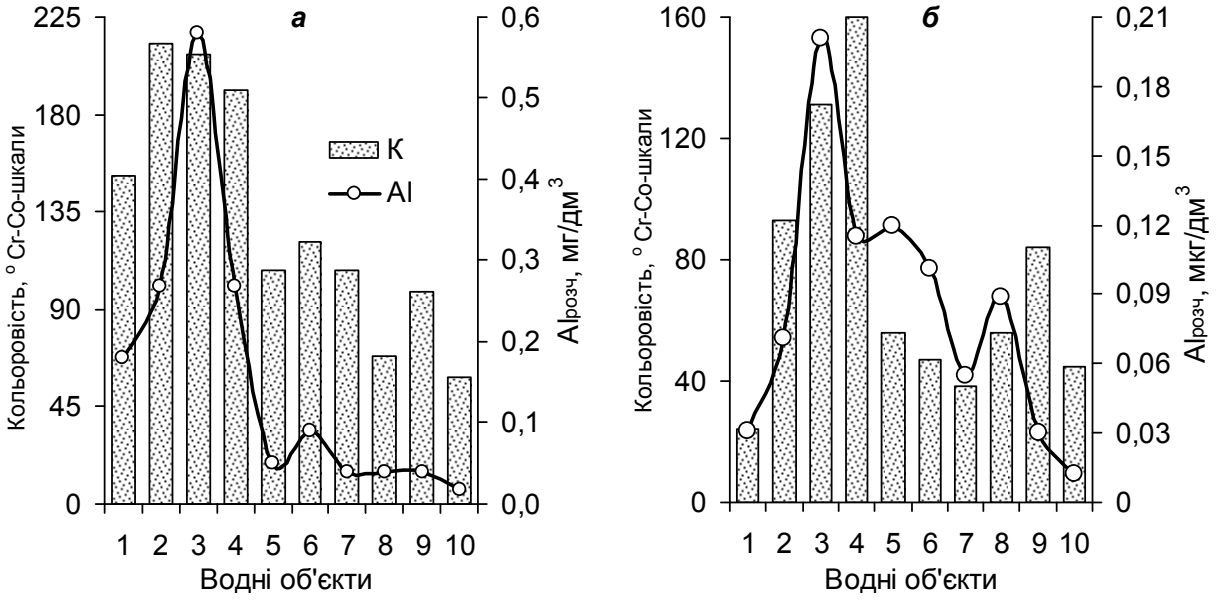

Рис. 3. Величини концентрації розчинного алюмінію і кольоровості води в річках басейну Прип'яті влітку (а) і восени (б) 2010 р.

Виявилося, що в річках з більшою кольоровістю води, а заодно і більшим вмістом ГР, концентрація розчинного алюмінію була набагато вищою, ніж в річках, де зазначені показники характеризувалися низькими величинами (рис. 3). Це підтверджується також відповідними даними для осіннього періоду, коли кольоровість води знижувалася повсюдно, а з нею і вміст розчинного алюмінію. Цілком очевидно, що у даному випадку збільшення розчинного алюмінію у воді пов'язано як з низькими величинами pH, так і з високим вмістом ГР, що активно зв'язують іони Al(III) в комплексні сполуки. Результати наших експериментальних досліджень показали, що комплексоутворення за участю Al(III) і ГР найбільшою мірою відбувається у слабко кислому середовищі [16].

Про важливу роль ГР у зростанні концентрації розчинного алюмінію у воді та його міграційної здатності свідчать також дані щодо розподілу Al(III) між комплексними сполуками з РОР різної хімічної природи. Виявилося, що переважна частина $Al_{розч}$ знаходилася у складі аніонних комплексних сполук (рис. 4), частка яких досягала 71-86 %.

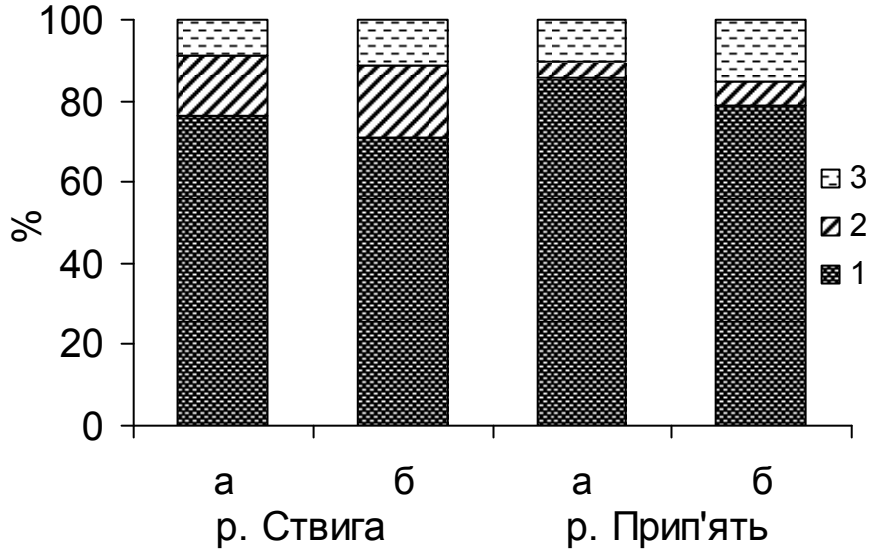

Рис. 4. Розподіл Al(III) серед комплексних сполук з РОР у воді річок Ствига і Прип'ять влітку (а) і восени (б) 2010 р.: 1 – аніонні, 2 – катіонні, 3 – нейтральні комплекси

У процесі дослідження розчинних форм алюмінію важливо було встановити співвідношення його лабільної і нелабільної фракцій. Важливість таких досліджень зумовлена тим, що лабільну фракцію алюмінію слід оцінювати як потенційно більш токсичну для гідробіонтів у випадку вивільнення Al(III) за певних обставин. Співвідношення між

зазначеними фракціями значною мірою залежить від стійкості комплексних сполук металу (міцності його зв'язування) з органічними речовинами природних вод та хромазуролом S як реагентом, що використовується для визначення Al(III). Якщо комплекси алюмінію з природними органічними лігандами менш стійкі, ніж із зазначеним реагентом, то певна частина алюмінію буде визначатися безпосередньо у воді без всякої її пробопідготовки. Цю частину розчинного алюмінію ми відносимо до лабільної його фракції.

Виявилося, що у р. Прип'ять і її притоках відносний вміст лабільної фракції Al(III) влітку становив 0,0-21,0 %, а восени істотно зріс і знаходився в межах 10,9-71,6 %. Причому в річках з більшою кольоровістю води, а відповідно і більшим вмістом ГР, таких як Словечна, Уборть, Ствига, Льва частка лабільного Al(III) була вищою, ніж в інших досліджуваних річках, і досягала влітку 13,4-21,0, а восени – 55,6-71,6 %.

Серед комплексних сполук алюмінію з ГР переважну частину металу було виявлено у складі фульватних комплексів (93,2 %), а частка гуматних була незначною (6,8 %). Відносний вміст лабільної фракції Al(III) у складі його комплексів з ФК досягав 55,6 %, тоді як в комплексах з ГК її не було виявлено.

Оскільки переважна частина розчинного алюмінію в річках басейну Прип'яті знаходилася у складі аніонних комплексних сполук, то дослідження молекулярно-масового розподілу стосувалося саме цих комплексів. З'ясувалося, що більша їхня частина – це сполуки з відносно невисокою молекулярною масою, що не перевищує 2,0 кДа (рис. 5). Частка таких комплексів досягає 50-65 %. Водночас, відносний вміст комплексних сполук алюмінію з молекулярною масою > 5,0 кДа залишається також достатньо високим (35-50 %).

Виявилося, що частка високомолекулярних комплексів Al(III) у річках басейну Прип'яті дещо вища, ніж в інших водних об'єктах, що досліджувались нами раніше [9, 11-13, 17]. Найвірогідніше, це пов'язано з величинами молекулярної маси самих ГР, у складі яких концентрація ГК за абсолютними величинами значно більша, ніж у водосховищах Дніпровського каскаду чи інших водних об'єктах [4, 26]. За даними [3, 4, 5] у річках басейну Прип'яті і в самій р. Прип'ять навіть серед ФК частка сполук з молекулярною масою, що перевищує 1,0 кДа, досягає 40-72 %, тоді як в Київському водосховищі вона становить лише 17 %.

Як було вже зазначено вище, переважна частина Al(III) у складі аніонних комплексів була зв’язана з ФК. Водночас, дані щодо молекулярно-масового розподілу аніонних комплексів алюмінію (рис. 5) стосуються нерозділеної фракції ГР, тому досить висока частка високомолекулярних комплексів алюмінію може бути зумовлена його зв’язуванням як ГК, що характеризуються більшою молекулярною масою, так і високомолекулярною фракцією ФК.

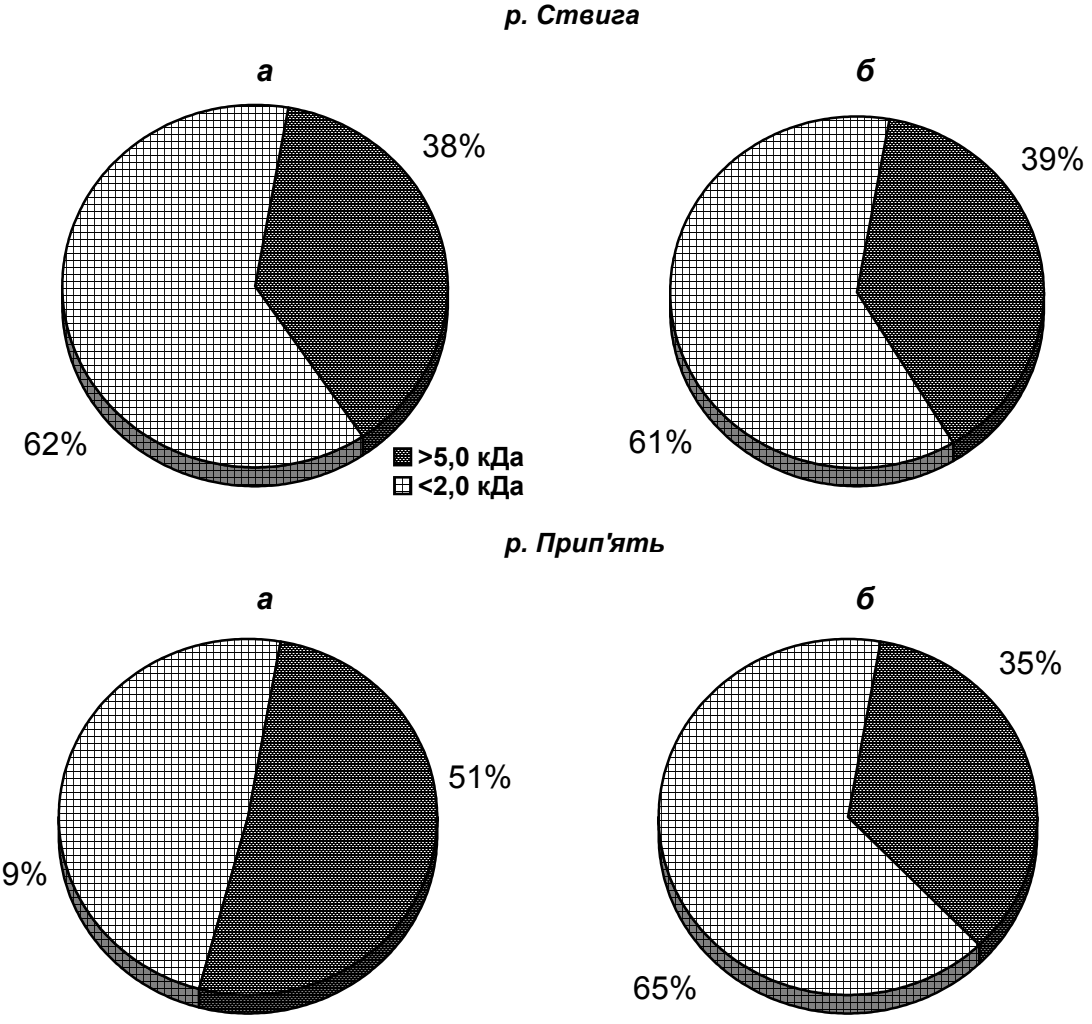

Рис. 5. Розподіл Al(III) серед комплексних сполук з РОР аніонної фракції у воді річок Ствига і Прип’ять влітку (а) і восени (б) 2010 р.

Серед комплексних сполук Al(III) з РОР аніонної фракції найбільшу лабільність проявляли комплекси з молекулярною масою, що перевищувала 1,0 кДа. Якщо влітку частка лабільної фракції Al(III) у складі комплексів з молекулярною масою >20, 20-5 і 2-1 кДа не перевищувала 26,0-30,0 %, то восени вона досягала 40,6-94,2 %. Такі дані було отримано для р. Ствига (рис. 6), вода якої характеризується достатньо високою кольоровістю і високим

вмістом ГР. Ці дані вказують на те, що низькомолекулярні комплекси (< 1,0 кДа) проявляють більшу стійкість і міцність зв'язування Al(III).

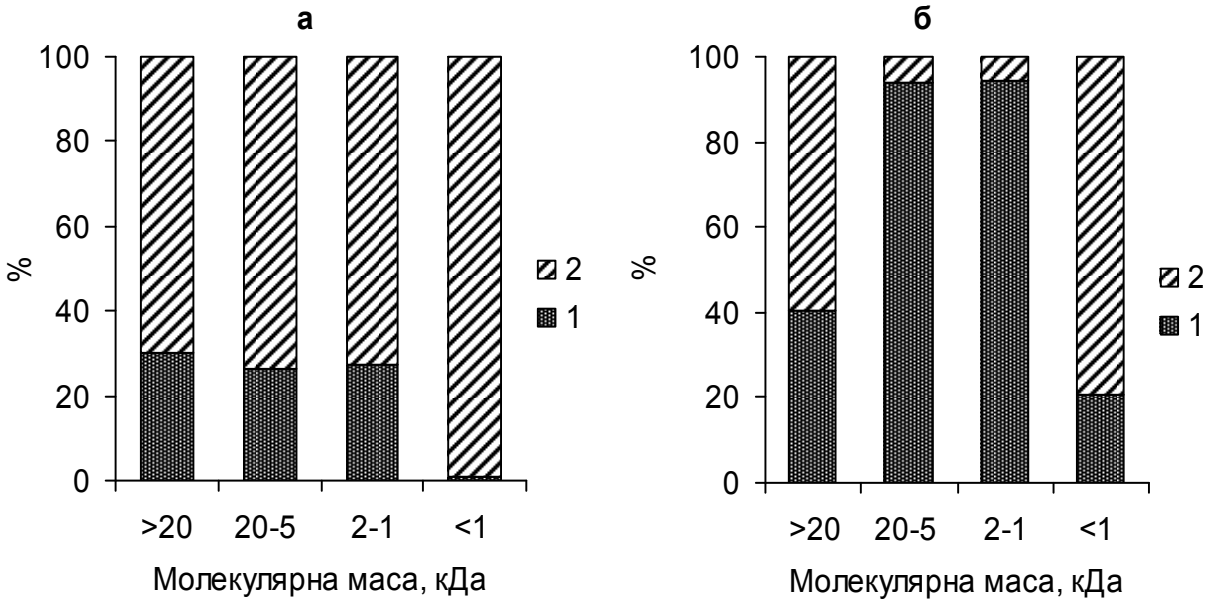

Рис. 6. Співвідношення лабільної (1) і нелабільної (2) фракцій Al(III) у складі його аніонних комплексів влітку (а) і восени (б) 2010 р. (за результатами гель-хроматографічного дослідження концентрату РОР аніонної природи, вилучених з води р. Ствига)

На прикладі р. Ствига окремо було досліджено молекулярно-масовий розподіл комплексних сполук Al(III) з ФК і ГК. На підставі одержаних даних встановлено, що майже 70 % фульватних і 50 % гуматних комплексів алюмінію – це сполуки з молекулярною масою ≤ 2,0 кДа. Отже, у зв'язуванні Al(III) беруть участь переважно низькомолекулярні фракції ФК і приблизно 50 % фракції ГК з молекулярною масою ≤ 2,0 кДа. У цьому разі найбільш лабільними виявились комплексні сполуки Al(III) з ФК, молекулярна маса яких знаходилася в межах 20-5 і 2-1 кДа. Частка лабільної фракції алюмінію в складі цих комплексів досягала відповідно 62,0 і 33,7 %, що було встановлено на прикладі р. Ствига.

Висновки

У поверхневих природних водах з підвищеним вмістом ГР, до яких належать р. Прип'ять та більшість її приток, міграція алюмінію характеризується деякими особливостями. По-перше, концентрація металу знаходиться в доволі широкому інтервалі величин, досягаючи в

деяких річках 830,0 і майже 900,0 мкг/дм^3. По-друге, співвідношення між завислою і розчинною формами алюмінію дещо інше, ніж у річкових водах з низькими показниками вмісту ГР. На відміну від останніх, у річках басейну Прип'яті частка завислої форми алюмінію менша. Водночас, зростає відносний вміст розчинного алюмінію. Це зумовлено активним його зв'язуванням у комплекси за переважаючою участю в комплексоутворенні ГР. Завдяки цьому процесу концентрація розчинних форм алюмінію у висококольорових водах досягає 278,0 і 580,0 мкг/дм^3, чого не спостерігається у водних об'єктах з низьким вмістом ГР. Зниження pH та підвищення кольоровості води через зростання концентрації ГР – це ті важливі чинники, які сприяють збільшенню вмісту алюмінію у воді та стабілізації його в розчиненому стані. Отже, можна стверджувати, що за таких умов міграційна здатність алюмінію істотно зростає. Про визначальну роль ГР у зв'язуванні іонів Al(III) в комплекси свідчать дані стосовно його розподілу серед комплексних сполук з РОР досліджуваних річок. Переважна частина алюмінію виявлена у складі аніонних комплексів, що є наочним підтвердженням зазначеного вище. Частка таких комплексів у загальному балансі розчинного алюмінію досягає 71,0-86,0 %. У такому разі серед аніонних комплексів переважають сполуки з молекулярною масою, що не перевищує 2,0 кДа. Їхня частка досягає 50,0-65,0 %. Однак доволі високою залишається частка комплексів алюмінію з більшою молекулярною масою (> 5,0 кДа). Їхній відносний вміст становить 35,0-50,0 %. Це свідчить про те, що в комплексоутворенні беруть участь ГР як високомолекулярні, так і ті, що характеризуються меншими значеннями молекулярної маси.

Співвідношення між лабільною і нелабільною фракціями алюмінію змінюється посезонно і залежить від концентрації ГР у воді. Частка лабільного алюмінію істотно збільшується восени. У той же час, вона більша в тих річках, де кольоровість води, а заодно і вміст ГР більші. Це свідчить про різну міцність зв'язування Al(III) в комплексах з РОР, а також про різну їхню стійкість. Зростання відносного вмісту лабільної фракції алюмінію восени може бути підтвердженням меншої міцності комплексів Al(III) з ГР у цю пору року. Саме тоді низькомолекулярні комплекси алюмінію (< 1,0 кДа) виявилися найстійкішими.

Переважне зв'язування Al(III) в комплекси з ГР слід розцінювати в цілому як важливий екологічний чинник, оскільки воно може позитивно впливати на зниження токсичності алюмінію для гідробіонтів.

* *

1. Аналітична хімія поверхневих вод / *Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б.* – К.: Наук. думка, 2007. – 456 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.А., Клоченко П.Д.* Компонентный состав растворенных органических веществ некоторых притоков Днепра и его взаимосвязь с развитием планктонных водорослей // Гидробиол. журн. – 2003. – Т. 39**,** № 5. – С. 101-114.
4. *Васильчук Т.А., Осипенко В.П.* Компонентный состав растворенных органических веществ природных поверхностных вод с высокой цветностью // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Наук. зб. – К.: ВГЛ “Обрії”. – 2010. – Т. 3(20). – С. 136–141.
5. *Васильчук Т.О., Клоченко П.Д., Бусигіна О.В.* Компонентний склад розчинених органічних речовин р. Прип’ять та його зв'язок з розвитком фітопланктону // Наук. зап. Тернопільського держ. педуніверситету ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія, № 3(14). Гідроекологія. – 2001. – С. 182–184.
6. *Волков И.И.* Химические элементы в речном стоке и формы их поступления в море (на примере рек Черноморского бассейна) // Проблемы литологии и геохимии осадочных пород и руд. – М.: Наука, 1975. – С. 85-113.
7. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. – М.: Наука, 1983. – 160 с.
8. *Горєв Л.М., Пелешенко В.І., Хільчевський В.К.* Гідрохімія України. – К.: Вища шк., 1995. – 307 с.
9. *Жежеря В.А., Линник П.М.* Вміст і співіснуючі форми алюмінію у воді Запорізького водосховища // Сучасні проблеми теоретичної і прикладної іхтіології: Матеріали ІІІ Міжнар. іхтіологічної наук.-практ. конф., 30 верес.-2 жовт. 2010 р., Дніпропетровськ. – Д., 2010. – С. 48-50.
10. *Жежеря В.А., Линник П.М.* Експериментальне дослідження міграції алюмінію з донних відкладів залежно від концентрації розчиненого кисню і величини pH води // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Наук. зб. – К.: ВГЛ “Обрії”, 2010. – Т. 2(19). – С. 129-137.
11. *Жежеря В.А.* Міграція та розподіл алюмінію між абіотичними компонентами поверхневих водойм // Наук. зап. Тернопільського нац. педуніверситету ім. В. Гнатюка. Серія: Біологія. Спец. випуск: Гідроекологія. – 2010. – № 2(43). – С. 182-185.
12. *Жежеря В.А., Линник П.М.* Співіснуючі форми та особливості міграції алюмінію у воді Канівського водосховища // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2009. – Вип. 258. – С. 114-127.

13. *Жежеря В.А., Линник П.М.* Форми міграції алюмінію у воді Запорізького водосховища // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – К.: ВГЛ “Обрії”, 2010. – Т. 3(20). – С. 103–111.
14. *Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л.* Кислотные дожди и окружающая среда. – М.: Химия, 1991. – 144 с.
15. *Коненко А.Д., Гарасевич И.Г., Гриб И.В.* Зимний гидрохимический режим малых рек Полесья УССР (бассейн р. Припяти) // Гидробиол. журн. – 1974. – Т. 10, № 3. – С. 5-11.
16. *Линник П.М., Жежеря В.А., Васильчук Т.О., Линник Р.П.* Гумусові речовини як важливий чинник збільшення міграційної рухливості Al(III) у поверхневих водоймах // Сучасні проблеми теоретичної і прикладної іхтіології: Матеріали III Між нар. іхтіологічної наук.-практ. конф., 30 верес.-2 жовт. 2010 р., м. Дніпропетровськ. – Д., 2010. – С. 89-92.
17. *Линник П.Н., Жежеря В.А.* Особенности распределения алюминия среди сосуществующих форм в поверхностных водоемах разного типа // Гидробиол. журн. – 2009. – Т. 45, № 6. – С. 92-109.
18. *Майстренко Ю.Г.* Органическое вещество воды и донных отложений рек и водоемов Украины (бассейны Днепра и Дуная). – К.: Наук. думка, 1965. – 240 с.
19. *Осадчая Н.Н., Саливон-Пескова В.Я.* Распределение и миграция гумусовых веществ в речных экосистемах // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Матеріали III Всеукраїнської наук. конф., 15-17 листоп. 2006 р., Київ. – К.: Ніка-Центр, 2006. – С. 118-120.
20. *Савранский Л.И., Наджафова О.Ю.* Спектрофотометрическое исследование комплексообразования Cu, Fe и Al с хромазуролом S в присутствии смеси катионного и неионогенного ПАВ // Журн. аналит. химии. – 1992. – Т. 47, № 9. – С. 1613-1617.
21. Экологическое состояние трансграничных участков рек бассейна Днепра на территории Украины / Под ред. *А.Г. Васенко* и *С.А. Афанасьева*. – К.: Академпериодика, 2002. – 355 с.
22. *Dixon E., Gardner M.* Reactive aluminium in UK surface waters // Chem. Spec. Bioavail. – 1998. – Vol. 10, № 1. – P. 11-17.
23. *Driscoll C.T.* Aluminum in acidic surface waters: chemistry, transport, and effects / *C.T. Driscoll* // Environ. Health Perspectives. – 1985. – Vol. 63. – P. 93-104.
24. *Gjessing E.T., Riise G., Petersen R.C., Andruchow E.* Bioavailability of aluminium in the presence of humic substances at low and moderate pH // Sci. Total Environ. – 1989. – Vol. 81-82. – P. 683-690.

25. *Hiradate S., Yamaguchi N.U.* Chemical species of Al reacting with soil humic acid // J. Inorg. Biochem. – 2003. – Vol. 97. – P. 26-31.
26. *Linnik P.N., Vasilchuk T.A.* Role of humic substances in the complexation and detoxification of heavy metals: case study of the Dnieper reservoirs // Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice *(I.V. Perminova, K. Hatfield, N. Hertkorn, Eds*.). – NATO Science Series. IV: Earth and Environmental Series. – Printed in the Netherlands: Springer. – 2005. – Vol. 52. – P. 135-154.
27. *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

Содержание и формы нахождения алюминия в воде рек бассейна Припяти

Рассмотрены данные о содержании и формах нахождения алюминия в воде рек бассейна Припяти. Показано, что концентрация Al(III) в них находится в широком интервале величин (летом – 76,7-897,0, осенью – 20,0-832,0 мкг/дм^3). При повышенной концентрации гумусовых веществ (ГВ) в воде указанных рек доля взвешенной формы алюминия существенно снижается. Максимальное содержание растворенных форм алюминия достигает 278,0 и 580,0 мкг/дм^3. Среди комплексных соединений алюминия с растворенными органическими веществами доминируют его анионные комплексы (71,0-86,0 %), что является свидетельством определяющей роли ГВ в связывании ионов Al(III). Большую часть анионных комплексов алюминия составляют соединения с относительно невысокой молекулярной массой, не превышающей 2,0 кДа (50,0-65,0 %).

Ключевые слова: алюминий, сосуществующие формы, гумусовые вещества, цветность, реки бассейна Припяти.

V.A. Zhezherya, P.M. Linnik

The content and coexisting forms of aluminium in river waters of the Pripyat basin

Data about the content and aluminium existence forms in water of the rivers of Pripyat drainage-basin are considered. It is shown that concentration of Al (III) in them is in a wide interval of values (in the summer –76,7-897,0, and in the autumn – 20,0-832,0 μg/dm^3). Owing to the increased concentration of humic substances (HS) in water of the mentioned rivers the share of the suspended form of aluminium essentially decreases. The maximal content of the aluminium dissolved forms reaches 278,0 and 580,0 μg/dm^3. Among complex compounds of aluminium with the dissolved organic substances the anionic complexes are dominated (71,0-86,0 %) that is the certificate of principal role of HS in binding of Al (III)-ions. The most part of aluminium anionic complexes are compounds with relatively low molecular weight which is not exceeding 2,0 kDa (50,0-65,0 %).

Keywords: aluminium, coexisting forms, humic substances, colority, rivers of the Pripyat basin.