

УДК [556.114.6 (546.28:001.891)](28)

Линник П.М., Дика Т.П.

Інститут гідробіології НАН України, м. Київ

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМ ЗНАХОДЖЕННЯ СИЛІЦІУ У ПРИРОДНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДАХ

Ключові слова: силіцій; форми знаходження; методи дослідження

Постановка та актуальність проблеми. Силіцій – один з найпоширеніших хімічних елементів у природі, який належить до постійних компонентів природних вод. Він займає друге місце після кисню у складі земної кори. Кларки кисню і силіцію становлять відповідно – 47,0 і 29,5 % [4, 11]. Водночас силіцій відносять до біогенних елементів, оскільки він входить до складу живих організмів, частка якого за середніми значеннями у більшості таких організмів становить близько 0,1 %, а у діатомових водоростей – 1–1,5%. Встановлено, що силіцій відіграє важливу роль в життєдіяльності діатомей [3, 7], оскільки необхідний для побудови їхнього панцира, котрий, як відомо, є характерною рисою та важливою таксономічною ознакою для даного виду організмів. Силіцій відіграє важливу фізіологічну роль та бере участь у метаболізмі клітин цих водоростей. Зростання його концентрації у воді поверхневих водойм сприяє росту, збільшенню чисельності й розміру клітин, утворенню колоній та видовому різноманіттю діатомових водоростей. Якщо концентрація силіцію у водному середовищі перевищує 2 мг/дм³, то відбувається уповільнення та затримка розвитку синьозелених водоростей [15].

Відомо, що силіцій необхідний діатомовим водоростям не лише для побудови кремнеземного панцира. При зменшенні вмісту SiO₂ у воді до 0,5 мг/дм³ діатомей втрачають здатність до розмноження, а синтез ДНК за його відсутності відбувається лише на 4–10% [3]. Крім того, силіцій потрібний діатомовим водоростям для більшості життєвих процесів: у вигляді ортосилікатної кислоти та силікатного аніону він забезпечує регуляцію дихання, синтез ДНК та хлорофілу. Силіцій важливий для життєдіяльності і інших представників фітопланктону та вищої водної рослинності. Так, зокрема, внутрішній скелет золотистих водоростей побудований також із кремнезему.

В організмі людини і тварин силіцій у вигляді різних сполук входить до складу багатьох тканин, впливає на обмін ліпідів, утворення колагену та кісткової тканини. Відмічено важливу роль силіцію як структурного елемента сполучної тканини [14].

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2012. – Т.1(26)

Дослідженнями американських вчених встановлено, що підвищений вміст алюмінію у питній воді збільшує ризик виникнення хвороби Альцгеймера. Проте щоденне вживання питної води з вмістом силіцію приблизно 10 мг/дм³ зменшує ризик цього захворювання на 11%, оскільки токсичність алюмінію істотно знижується завдяки комплексоутворенню із силікат-йонами [17–19].

Силіцій належить до найбільш вивчених хімічних елементів поверхневих вод. Початок систематичних його досліджень, як і інших біогенних елементів, у поверхневих водах України розпочато ще у 50–60 рр. ХХ ст. Ці роботи було присвячено вивченню переважно загального його вмісту та сезонної динаміки. Дослідженню форм знаходження силіцію у поверхневих водних об'єктах приділялось, на наш погляд, недостатньо уваги.

До поверхневих водних об'єктів сполуки силіцію надходять внаслідок хімічного вивітрювання та розчинення силіційвмісних мінералів, відмирання наземних рослин та водяних рослинних організмів, зокрема діатомових водоростей, з атмосферними опадами та зі стічними водами підприємств, які виготовляють цементні, керамічні, скляні вироби, силікатні фарби, в'язучі матеріали [12].

Через низьку розчинність силікатних мінералів, а також внаслідок засвоєння силіцію окремими групами водяних організмів, його вміст у поверхневих водах суходолу вважається порівняно невисоким, хоча і коливається у досить широких межах – від 1 до 20 мг/дм³ і навіть вище [1, 5, 12].

Вміст силіцію у поверхневих водоймах та водотоках зазнає сезонних коливань і зумовлений зміною співвідношень між поверхневим та підземним стоком, інтенсивністю процесів біологічного споживання сполук силіцію, седиментацією та коагуляцією тощо [12].

У поверхневих природних водах силіцій знаходиться у розчинній, колоїдній і завислій формах, співвідношення між якими визначається низкою чинників, а саме хімічним складом, температурою води і рН водного середовища [12]. Розчинна форма силіцію представлена, як правило, мета- та ортосилікатною кислотами (H_2SiO_3 та H_4SiO_4). У водному середовищі при рН 7,0 ортосилікатна кислота на 99,9 % знаходиться у вигляді недисоційованих молекул, а в інтервалі рН 8,0–10,0 одночасно можуть існувати як недисоційовані молекули $[\text{H}_4\text{SiO}_4]$, так і йони типу $[\text{H}_3\text{SiO}_4]^-$ [10]. У поверхневих водах виділяють наступні форми силікатної кислоти: мономерну, полімерну та зв'язану з розчиненими органічними речовинами (РОР) [6, 16].

Частина силіцію знаходиться у вигляді колоїдів типу $x \text{SiO}_2 \times y \text{H}_2\text{O}$, однак така форма не перевищує 30–40 % його загального вмісту. Здатність силіцію переходити з істинно розчинного у колоїдний стан, вочевидь, зумовлена зниженням температури води та зміною рН водного середовища [10].

Сполуки силіцію входять до складу донних відкладів водойм та водотоків, в яких він представлений оксидами (кварц, опал), а також є складовою частиною різноманітних силікатів та алюмосилікатів (польових

шпатів, глини). До того ж, значну частину силіцію в донних відкладах становить біогенний кремнезем¹.

Вивчення форм знаходження силіцію в поверхневих водах належить до актуальних проблем, оскільки дає змогу встановити шляхи міграції та розподілу його сполук між абіотичними та біотичними компонентами водних екосистем, а також його біодоступність.

Методика досліджень співіснуючих форм силіцію. В практиці сучасних гідрохімічних досліджень поверхневих вод для визначення концентрації силіцію найчастіше використовують два варіанти фотометричного методу. Перший з них базується на визначенні Si у вигляді силіціймолібденової гетерополікислоти жовтого кольору, а другий – у вигляді синьої (відновленої) форми силіціймолібденової гетерополікислоти [1, 12, 16].

Принцип фотометричного методу визначення у вигляді силіціймолібденової гетерополікислоти жовтого кольору ґрунтується на взаємодії мономерно-димерної форми силікатної кислоти з молібдатом амонію в кислому середовищі та утворенні силіціймолібденової гетерополікислоти, забарвленої в жовтий колір. В основу ж другого методу покладено здатність цієї ж кислоти в присутності відновників утворювати силіціймолібденовий комплекс синього кольору. При цьому, слід враховувати величину рН, оскільки відновлення силіціймолібденової кислоти відбувається в сильнокислому середовищі (рН=1,5–2), бо слабокисле середовище зумовлює відновлення самого молібдату до молібденової сині, що призводить до отримання завищених результатів [9].

Проби води відбирали в поліетиленовий посуд за допомогою батометра Рутнера або модифікованого батометра-склянки із поверхневого та придонного шарів й доставляли до лабораторії. Для відокремлення завислої форми силіцію від розчинної використовували метод мембранної фільтрації. Пробу води об'ємом 1,0–1,5 дм³ пропускали через мембранний фільтр “Synpor” (Чехія) з діаметром пор 0,4 мкм під тиском ≈ 2 атм, який створювали за допомогою установки УК 40–2М. Масу завислих речовин знаходили за різницею між масою фільтра із зависсю, висушеного до постійної маси за кімнатної температури, та масою самого фільтра.

Концентрацію силіцію у відфільтрованих пробах води, у складі завислих речовин, а також у фракціях після іонообмінної та гель-хроматографії визначали за допомогою фотометричних методів [1, 12, 16].

Вміст силіцію у складі завислих речовин визначали після “мокрого спалювання” фільтра із зависсю в суміші концентрованих нітратної і сульфатної кислот градації “х.ч.” у кварцевій склянці. Для цього спочатку додавали 2,0 см³ HNO₃, а потім 1,0 см³ H₂SO₄ і після обуглення органічних речовин вносили по краплинці HNO₃ і кип'ятили до знебарвлення розчину та появи білої пари [2]. Отриманий розчин нейтралізували розчином NaOH, додаючи приблизно 5 см³ концентрованого лугу (8 моль/дм³), а потім кількісно переносили у фторопластовий (тефлоновий) тигель. Надалі до цього розчину додавали ще 5 см³ розчину NaOH (8 моль/дм³) і доводили об'єм проби до 25 см³, в результаті чого концентрація NaOH

¹ Біогенний кремнезем утворюється внаслідок відмирання та осідання на дно решток організмів, які містять силіцій.

становила $\approx 1,6$ моль/дм³. Отримана таким способом проба підлягала гідротермальній обробці у сталюму автоклаві протягом 4–5 годин при температурі 150°C.

Для встановлення наявності органічно зв'язаного силіцію використовували метод фотохімічного окиснення POP за дії УФ-опромінювання. Для цього фільтрат проби води об'ємом 20,0 см³ вносили у кварцеву склянку і підкислювали його декількома краплями концентрованої H₂SO₄ до досягнення рН в межах 1,0–1,5, а потім додавали ще 2–3 краплини 35 %-го розчину H₂O₂. УФ-опромінювання здійснювали протягом 2,5 годин за допомогою ртутно-кварцевої лампи ДРТ-1000. Якщо концентрація розчинного силіцію до і після фотохімічного окиснення POP співпадає, то це свідчить про те, що силіцій у досліджуваній пробі води знаходиться у вигляді силікатної кислоти.

Для розділення різних за знаком заряду сполук силіцію використовували метод іонообмінної хроматографії. Фільтрат природної води об'ємом 1,0–1,5 дм³ послідовно пропускали через колонки, заповнені целюлозними іонами – діетиламіноетилцелюлозою (ДЕАЕ-целюлозою) і карбоксиметилцелюлозою (КМ-целюлозою). Після такого розділення отримували три фракції, що відрізняються за знаком заряду: аніонну, катіонну і нейтральну. Параметри колонок: висота 80 мм, діаметр 15 мм, висота шару целюлози 35 мм. Швидкість пропускання проби природної води та елюенту становить приблизно 1,0 см³/хв. У процесі такого розділення використовували не скляні, а пластикові колонки з метою запобігання вилугування силіцію із скла за дії NaOH і HCl як елюентів, які застосовуються при отриманні концентратів. Для одержання концентрату аніонної фракції використовують розчин NaOH (0,3 моль/дм³), а катіонної – розчин HCl (0,1 моль/дм³) [13]. Концентрацію силіцію в кожній з одержаних фракцій визначали фотометрично після фотохімічного окиснення POP, як зазначено вище.

Для дослідження молекулярно-масового розподілу розчинених сполук силіцію у складі нейтральної і аніонної фракцій використовували метод гель-хроматографії. Нейтральну фракцію концентрували у 8–12 разів шляхом виморожування [8], а ступінь концентрування аніонної фракції становить не менше, ніж 40–60 разів. Використовували скляну колонку, заповнену TSK-гелем Тоуорепарл HW-40F (Японія). Параметри колонки: довжина 86 см, діаметр 2,3 см, висота стовпчика геля – 72 см, вільний об'єм колонки (V₀), встановлений по блюдестрану (молекулярна маса 2000 кДа), – 89 см³. Колонку попередньо було відкалібровано за допомогою поліетиленгліколів (ПЕГ), які мають різну молекулярну масу (0,6; 1,0 та 2,0 кДа) та глюкози (0,18 кДа). Концентрація ПЕГ становила 2,0 мг/см³, а глюкози – 0,5 мг/см³. Вихід зазначених речовин з колонки контролювали шляхом визначення перманганатної окиснюваності кожної з фракцій.

Концентрат нейтральної або аніонної фракцій об'ємом 5,0 см³ пропускали через колонку з гелем зі швидкістю $\approx 1,0$ см³/хв. Як елюент використовували 0,05 моль/дм³ KNO₃. Після вільного об'єму збирали послідовно 16 фракцій (по 10 см³ кожна) за допомогою колектора DOMBIFRAC D-002. Концентрацію силіцію у кожній з отриманих фракцій знаходили фотометрично.

Результати досліджень та їх обговорення. Для вивчення форм знаходження силіцію у поверхневих водах нами запропоновано загальну схему досліджень (рис. 1).

При визначенні загального вмісту розчиненого силіцію ($Si_{\text{розч}}$) у поверхневих водах нами було використано обидва варіанти фотометричного аналізу, а результати цих досліджень наведено в табл. 1. Можна пересвідчитися, що концентрація $Si_{\text{розч}}$ виявилася достатньо близькою незалежно від того, який варіант фотометричного методу було застосовано. Однак, при визначенні $Si_{\text{розч}}$ у вигляді синьої (відновленої) силіціймолібденової гетерополікислоти для аналізу потрібно значно менший (в 3–4 рази) об'єм фільтрату. Отже, цей варіант характеризується як чутливіший, і про це йдеться у відповідних характеристиках обох варіантів фотометричного визначення [1, 12, 16]. Це надзвичайно важливо при дослідженні розподілу сполук силіцію за знаком заряду та при вивченні молекулярно-масового розподілу Si в окремих фракціях, оскільки відбувається розбавлення проб у процесі розділення сполук на колонці з гелем. Тому у подальших наших дослідженнях ми використовували фотометричний метод визначення Si у вигляді силіціймолібденового комплексу синього кольору. Крім того, у цьому варіанті нівелюється заважаючий вплив гумусових речовин, що зумовлюють світло-коричневе забарвлення води за підвищеного їхнього вмісту. Важливим є також стійкість забарвлення з часом. Виявилось, що інтенсивність забарвлення комплексу силіцій молібденової гетерополікислоти жовтого кольору знижується з часом. Вже протягом перших 30–40 хв. після вимірювання оптичної густини інтенсивність забарвлення розчинів зменшується на 27–30 %. Водночас при визначенні Si у вигляді силіціймолібденової гетерополікислоти синього кольору інтенсивність забарвлення розчинів практично не змінюється протягом 7–10 днів.

Таблиця 1. Порівняльна оцінка результатів визначення концентрації силіцію у пробах поверхневих вод, одержаних за допомогою різних варіантів фотометричного методу (n=5)

Водні об'єкти	Дата відбору проб води	Фотометричне визначення у вигляді жовтої силіціймолібденової гетерополікислоти		Фотометричне визначення у вигляді силіціймолібденового комплексу синього кольору	
		Об'єм проби, мл	Si, мг/дм ³	Об'єм проби, мл	Si, мг/дм ³
р. Тетерів (с. Дениші), п	26.02.2012	20	3,7±0,43	5	3,8±0,15
р. Десна (с. Хотянівка), п	09.02.2012	15	8,6±0,25	5	8,8±0,14
оз. Вербне (м. Київ), д	28.02.2012	20	3,2±0,29	5	3,4±0,14
Канівське вдсх. (Московський міст), п	01.03.2012	15	5,3±0,28	5	5,2±0,14

Примітка. В таблицях 1-4: п - поверхневий, д - придонний горизонти.

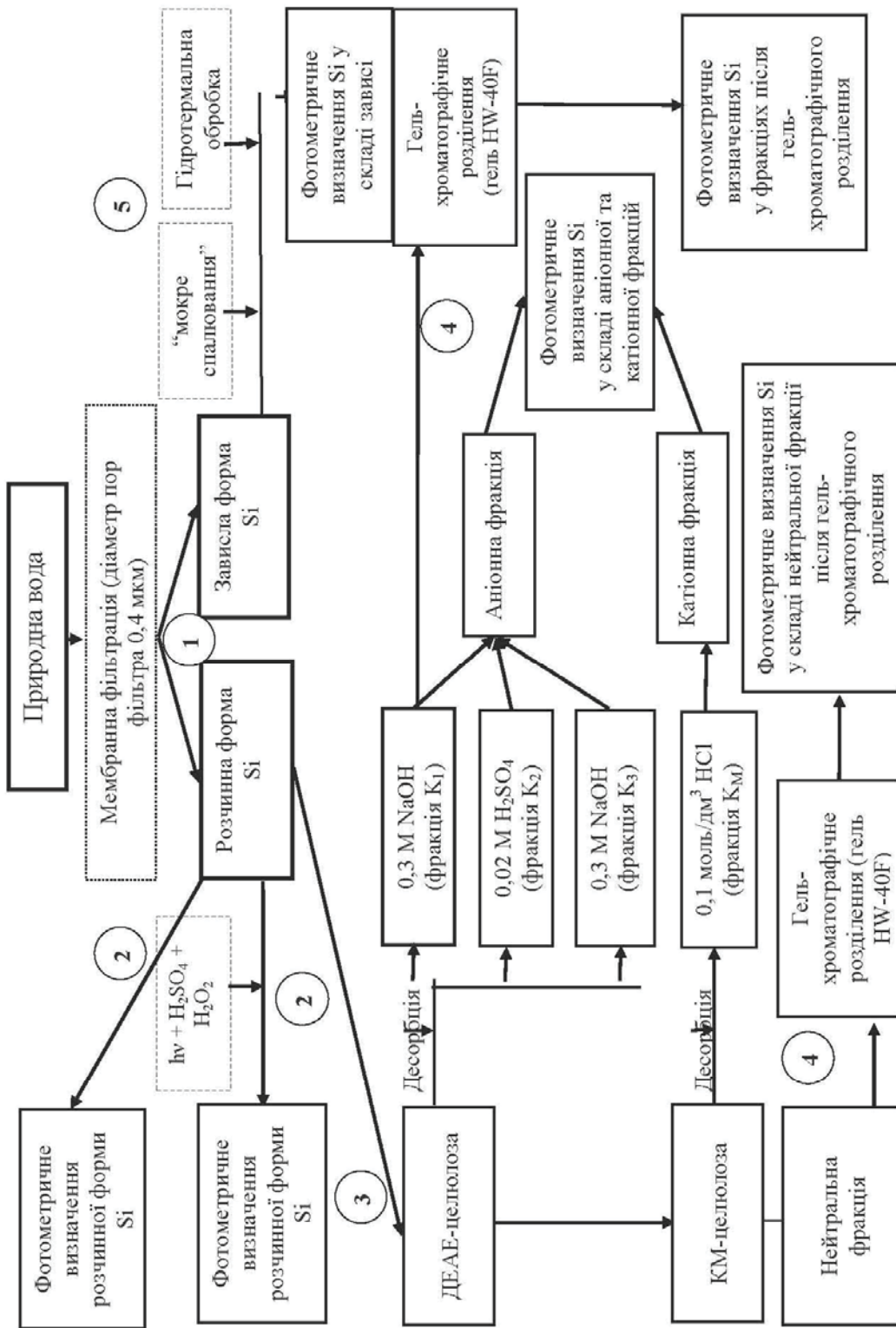


Рис. 1. Схеми досліджень форм знаходження Si у поверхневих водах. (Цифрами в кружечках позначено послідовність виконання етапів дослідження)

Для того, щоб встановити знаходження силіцію у вигляді силіційвмісних органічних сполук, про що йдеться у багатьох роботах [1, 6, 12, 16], нами використано фотохімічне окиснення РОР. Концентрацію Si визначали у пробах води до та після УФ-опромінення. Наведені нижче дані (табл. 2) свідчать про те, що у розчиненому стані концентрація силіцію залишалася практично однаковою, незалежно від того, чи відбувалася фотохімічна деструкція РОР. Це може бути підставою, щоб стверджувати про відсутність у досліджуваних поверхневих водах силіційвмісних органічних речовин.

Таблиця 2. Вміст $Si_{\text{розч}}$ у воді поверхневих водних об'єктів до та після фотохімічної деструкції РОР

Водні об'єкти	Дата відбору проб води	Концентрація силіцію, мг/дм ³	
		До УФ-опромінення проб води	Після фотохімічної деструкції РОР
р. Тетерів (с. Дениші), п	25.03.2012	4,3	4,2
р. Тетерів (с. Перлявка), п	25.03.2012	3,1	2,9
оз. Вербне (м. Київ), д	28.02.2012	3,2	3,1
Канівське водосховище (м. Українка), п	26.03.2012	5,8	5,9

Водночас важливо було з'ясувати розподіл силіцію за знаком заряду його сполук. Результати досліджень показали (табл. 3), що переважна частина розчинного силіцію була виявлена у складі нейтральної фракції. Частка цієї його форми досягала 94,8–98,8%.

Таблиця 3. Розподіл сполук силіцію за знаком заряду у воді досліджуваних об'єктів

Водні об'єкти	Дата відбору проб води	Аніонна фракція		Катіонна фракція		Нейтральна фракція	
		Si, мг/дм ³	%	Si, мг/дм ³	%	Si, мг/дм ³	%
р. Тетерів (с. Дениші), п	05.11.2011	0,092	4,9	0,006	0,3	1,80	94,8
Канівське вдсх. (Оболонська затока), п	11.11.2011	0,090	2,0	0,020	0,5	4,30	97,5
р. Тетерів (с. Дениші), п	04.12.2011	0,025	1,0	0,004	0,2	2,40	98,8
оз. Вербне (м. Київ), п	28.02.2012	0,029	1,1	0,001	0,1	2,60	98,8

Отже, у досліджуваних водних об'єктах силіцій знаходиться переважно у вигляді силікатної кислоти H_4SiO_4 , що має нейтральний заряд. Незначну частину $Si_{\text{розч}}$ виявлено також у складі аніонної фракції (див. табл. 3). З одного боку, можна було б припустити, що це і є силіційвмісні органічні сполуки. З іншого боку, не виключено, що у складі аніонної фракції виявлено йони типу $[H_3SiO_4]^-$. Проте їхню появу слід очікувати при рН 8,0–9,0, а величини рН досліджуваних вод в осінньо-зимовий період знаходилися в межах 7,7–8,3. У зв'язку з цим виникає потреба у детальному дослідженні аніонної фракції Si, включаючи вивчення його молекулярно-масового розподілу. Попередні результати досліджень молекулярно-масового розподілу аніонної фракції силіцію показали, що деяка,

хоч і незначна його частина, виявилася зв'язаною з гумусовими речовинами. Це дає підстави припустити, що в даній фракції Si знаходиться не у вигляді дисоційованого йону $[H_3SiO_4]^-$, а у зв'язаному з органічними речовинами стані.

Як показали результати гель-хроматографічних досліджень розподілу силіцію в нейтральній фракції (рис. 2), основна його маса виходила з колонки, починаючи з 9 по 12 фракцію. Це низькомолекулярні сполуки, молекулярна маса яких не перевищує 200 Да. Отже, одержані дані засвідчують, що більша частина розчиненого силіцію – це мономерно-димерна форма силікатної кислоти.

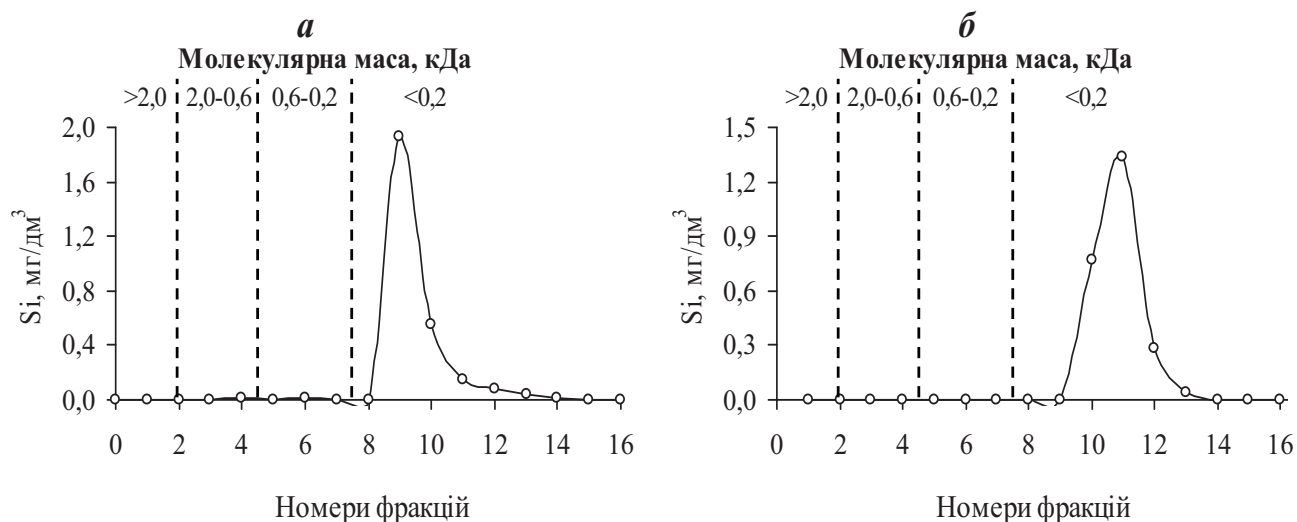


Рис.2. Гель-хроматограми розподілу Si в нейтральній фракції у воді (а) Канівського водосховища (Оболонська затока, 15.12.2011 р.) та (б) р. Тетерів (с. Дениші, 05.11.2011 р.).

Для визначення силіцію у складі зависі нами було апробовано два методи. Перший з них полягав у сплавленні зависі з сумішшю соди та бури в платинових тиглях при температурі 900 °С впродовж 20 хв. [1, 12, 16]. Цей метод у більшості випадків використовують для руйнування силіційвмісних мінералів та інших складових зависі, що можуть містити силіцій. Таким чином досягається трансформація завислої форми силіцію у мономерно-димерну форму. Другий метод передбачає гідротермальну обробку завислих речовин у лужному розчині, як зазначалось вище, при температурі 150 °С за допомогою сталевого автоклаву. Обидва методи дають можливість отримувати співставимі результати. Тому у подальшому ми використовували метод гідротермальної обробки завислих речовин, оскільки це не пов'язано з використанням платинових тиглів. Нижче (табл. 4) наведено результати визначення силіцію у складі зависі.

Як показали результати досліджень, силіцій у воді досліджуваних водних об'єктів в осінньо-зимовий період знаходився переважно в розчиненій формі, частка якої становила 81,2–99,2 %. Вміст силіцію у завислій формі залежить, насамперед, від природи завислих речовин та її маси. Якщо завись переважно представлена силіційвмісними мінералами або кремнеземними панцирями

діатомових водоростей, то слід очікувати зростання концентрації завислого силіцію та його частки. Розрахунки вмісту силіцію у складі завислих речовин показали, що його концентрація знаходилась в межах 0,06–0,28 мг Si/мг маси сухої зависі (див. табл. 4).

Таблиця 4. Вміст завислих речовин і різних форм силіцію у воді досліджених водних об'єктів

Водні об'єкти	Дата відбору проб води	Маса зависі, мг/дм ³	Si _{заг} , мг/дм ³	Si _{розч}		Si _{зав}		мг Si/мг маси сухої зависі
				мг/дм ³	%	мг/дм ³	%	
р. Тетерів (с. Дениші), п	05.11.2011	8,17	2,71	2,2	81,2	0,51	18,8	0,06
Канівське вдсх. (Оболонська затока), п	15.12.2011	1,26	3,60	3,4	94,4	0,20	5,6	0,16
Канівське вдсх. (Московський міст), п	17.01.2012	2,90	6,82	6,0	88,0	0,82	12,0	0,28
р. Десенка (ур. Ситняки), п	24.01.2012	0,49	5,14	5,1	99,2	0,04	0,8	0,08
р. Десна (с. Хотянівка), п	09.02.2012	5,07	9,32	8,8	94,4	0,52	5,6	0,10
оз. Йорданське (м. Київ), п	28.02.2012	3,98	5,36	5,0	93,3	0,36	6,7	0,09

Це дає можливість провести якісну оцінку зависі. Якщо остання представлена лише SiO₂, то концентрація силіцію у її складі буде становити 0,467 мг на 1 мг зависі.

Висновки. Дослідження форм знаходження силіцію у поверхневих водних об'єктах передбачає використання низки методів, а саме мембранної фільтрації, іонообмінної і гель-хроматографії, фотохімічної деструкції POP, “мокрого спалювання” та гідротермальної обробки завислих речовин. Для вивчення форм знаходження силіцію у воді запропоновано і адаптовано схему, яка передбачає послідовне проведення окремих етапів дослідження. З метою запобігання вилуговуванню силіцію із скляних колонок, що використовуються в іонообмінній хроматографії, запропоновано замінити їх на пластикові

Для руйнування силіційвмісних мінералів у складі зависі та її складових рекомендується використовувати гідротермальну обробку, яка забезпечує переведення силіцію у мономерно-димерну форму для подальшого його визначення фотометричним методом.

Із двох варіантів фотометричного визначення силіцію у воді запропоновано використовувати більш чутливий метод, який базується на утворенні синього (відновленого) комплексу силіціймолібденової гетерополікислоти. Це зумовлено тим, що у процесі аналізу використовується менший об'єм проби води. Крім того, зазначений метод придатний для

визначення силіцію у фракціях після іонообмінного і гель-хроматографічного розділення проб води і концентратів окремих фракцій, під час якого відбувається розбавлення проб.

Список літератури

1. Аналітична хімія поверхневих вод / [Набиванець Б. Й., Осадчий В. І., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б.]. – К. : Наукова думка, 2007. – 455 с.
2. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. – М. : Химия, 1984. – 432 с.
3. Воронков М. Г. Кремний в живой природе / М. Г. Воронков, И. Г. Кузнецов. – Новосибирск : Наука, 1984. – 158 с.
4. Геохимия кремнезема. / Под ред. Н. М. Страхова. – М. : Наука, 1966. – 421 с.
5. Гідрохімічний довідник: Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу / [Осадчий В. І., Набиванець Б. Й., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б.]. – К. : Ніка-Центр, 2008. – 656 с.
6. Драчева Л. В. Изучение состояния кремниевой кислоты в модельных и технологических процессах и поверхностных водах : Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. хим. наук : спец. 05.17.01 “Технология неорганических веществ” / Л. В. Драчева. – М., 1974. – 26 с.
7. Ивлев А. М. Биогеохимия / А. М. Ивлев. – М. : Высшая школа, 1986. – 127 с.
8. Линник П. Н. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах / П. Н. Линник, Б. И. Набиванец. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 270 с.
9. Мышляева Л. В. Аналитическая химия кремния / Л. В. Мышляева, В. В. Краснощеков. – М. : Наука, 1972. – 212 с.
10. Никаноров А. М. Гидрохимия / А. М. Никаноров. – СПб : Гидрометеиздат, 2001. – 444 с.
11. Перельман А. И. Геохимия / А. И. Перельман. – М. : Высш. шк., 1989. – 528 с.
12. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семенова. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.
13. Применение целлюлозных сорбентов и сефадексов в систематическом анализе органических веществ природных вод / [И. С. Сироткина, Г. М. Варшал, Ю. О. Лурье, Н. П. Степанова] // Журн. анал. химии. – 1974. – Т. 29, Вып. 8. – С. 1626–1631.
14. Скальный А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека / А. В. Скальный – М. : Мир, 2004. – 215 с.
15. Ходоровская Н. И. Исследование влияния концентраций кремния и фосфора на развитие диатомовой микрофлоры водоема / Н. И. Ходоровская, М. В. Стурова // Известия Челябинского научного центра. – 2002. – Вып. 2 (15). – С. 50–53.
16. Унифицированные методы анализа вод СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1978. – Вып. 1. – 144 с.
17. Berthon G. Aluminium speciation in relation to aluminium bioavailability, metabolism and toxicity / G. Berthon // Coordination Chemistry Reviews. – 2002. – Vol. 228. – P. 319–341.
18. Exley C. The reaction of aluminium with silicic acid in acidic solution: an important mechanism in controlling the biological availability of aluminium? / C. Exley, C Schneider, F. J. Doucet // Coord. Chem. Reviews. – 2002. Vol. 228. – P. 127–135.
19. Relation between Aluminum Concentrations in Drinking Water and Alzheimer's Disease: an 8-Year Follow-Up Study // [J. Rondeau, D. Commenges, H. Jacqmin-Gadda, J. Dartigues] // American Journal of Epidemiology. – 2000. Vol. 152, №1. – P. 59–66.

Методичні аспекти дослідження форм знаходження силіцію у природних поверхневих водах

Линник П. М., Дика Т. П.

Розглянуто методичні аспекти вивчення форм знаходження силіцію у воді поверхневих водних об'єктів та запропоновано загальну схему проведення окремих етапів дослідження. Для розділення форм силіцію за знаком заряду рекомендується метод іонообмінної хроматографії з використанням целюлозних іонітів, а для дослідження молекулярно-масового розподілу сполук силіцію – метод гель-хроматографії. Руйнування силіційвмісних завислих речовин досягається методом гідротермальної обробки зависі при 150 °С. Із відомих варіантів фотометричного визначення силіцію доцільно використовувати метод, який базується на утворенні синього (відновленого) силіціймолібденового комплексу і характеризується більшою чутливістю. В статті наведено результати дослідження

форм знаходження силіцію у різномісних водних об'єктах, що були отримані з використанням зазначених методів пробопідготовки та визначення.

Ключові слова: силіцій; форми знаходження; методи дослідження.

Методические аспекты исследования форм нахождения кремния в природных поверхностных водах

Линник П. Н., Дикая Т. П.

Рассмотрены методические аспекты изучения форм нахождения кремния в воде поверхностных водных объектов и предложено общую схему проведения отдельных этапов исследования. Для разделения форм кремния по знаку заряда рекомендуется метод ионообменной хроматографии с использованием целлюлозных ионитов, а для исследования молекулярно-массового распределения соединений кремния – метод гель-хроматографии. Разрушение кремнийсодержащей взвеси достигается методом её гидротермальной обработки при 150 °С. Из известных вариантов фотометрического определения кремния целесообразно использовать метод, основанный на образовании синего (восстановленного) кремниймолибденового комплекса и характеризующийся большей чувствительностью. В статье приведены результаты исследования форм нахождения кремния в различных водных объектах, полученные с использованием предложенных методов пробоподготовки и определения.

Ключевые слова: кремний; формы нахождения, методы исследования.

Methodical aspects of investigation of silicon coexisting forms in natural surface waters

Linnik P. N., Dyka T. P.

Methodical aspects of investigation of silicon coexisting forms in surface water are considered. The general scheme of research of silicon coexisting forms is suggested. To separate the coexisting forms of silicon with respect to its charges, it is recommended to use the ion-exchange chromatography method with using cellulose ionites. To investigate the molecular-weight distribution of silicon compounds, the gel chromatography method is used. To destruct suspended matter containing silicon, the hydrothermal method is used. The destruction of suspended matter containing silicon is carried out under the temperature 150 °C. Among the distinguished methods of silicon photometric determination, it should be used the method based on formation of the reduced silicon-molybdenum complex. That method yields the most accurate results. The results of investigation of silicon coexisting forms in various type surface water are considered in this paper. Those results are obtained by means of the methods pointed out above.

Keywords: silicon, coexisting forms; methods of investigation.

Надійшла до редколегії 28.02.12