

УДК [(556.114:546.28) 550.461] 001.891

Жежеря Т.П., Линник П.М.

Інститут гідробіології НАН України, м. Київ

ОСОБЛИВОСТІ МІГРАЦІЇ СИЛІЦІЮ В СИСТЕМІ „ДОННІ ВІДКЛАДИ – ВОДА” ЗА ДІЇ РІЗНИХ ЧИННИКІВ СЕРЕДОВИЩА

Ключові слова: силіцій; донні відклади; аеробні умови; анаеробні умови; рН

Постановка та актуальність проблеми. Донні відклади – це складна динамічна система, важливий чинник формування гідрохімічного режиму водойм та якості води в них зокрема, оскільки саме донні відклади здатні до накопичення у своєму складі значних кількостей хімічних елементів, у тому числі забруднювальних. У цьому, насамперед, і полягає їхня роль у самоочищенні водного середовища. Хоча, з іншого боку, за певних умов (зміна рН та окисно-відновного потенціалу (Eh) на межі розділення фаз „донні відклади – вода”, дефіцит розчиненого кисню у воді та самих донних відкладах тощо), коли відбувається порушення рівноваги в системі „донні відклади – вода”, ті ж самі донні відклади можуть бути потенційним джерелом вторинного забруднення водного середовища різними хімічними сполуками. Це, в свою чергу, розглядається як негативне явище у функціонуванні водних екосистем, що проявляється також і на життєздатності гідробіонтів. Силіцій не належить до забруднювальних хімічних елементів поверхневих природних вод, однак з’ясування особливостей його міграції в системі „донні відклади – вода” становить значний науковий інтерес для прогнозування його поведінки та трансформації співіснуючих форм за дії різних чинників. Найчастіше значно більшу увагу приділяють вивченню міграційної рухливості інших біогенних елементів (нітрогену, фосфору, феруму), деяких груп розчинених органічних речовин та сполук металів [3, 6–8, 11, 13, 15]. Однак подібні роботи, які б стосувалися дослідження міграції силіцію в системі „донні відклади – вода”, на жаль, відсутні. Тому **метою** нашої роботи було з’ясування особливостей міграції сполук силіцію з донних відкладів за дії аеробних і анаеробних умов та зміни рН водного середовища.

Матеріали і методи досліджень. Вивчення особливостей міграції силіцію в системі „донні відклади – вода” проводилось шляхом експериментальних досліджень, під час яких вивчався вплив кисневого режиму, зокрема аеробних і анаеробних умов, та змін рН природної води на його міграцію. Було також приділено увагу дослідженню сукупної дії чинників – зниження рН та аеробних умов, оскільки при зниженні рН самовільно виникає дефіцит кисню. Для експерименту використовували 6 пластикових ємкостей об’ємом 6 дм³ кожна.

В першій експериментальній системі знаходилася лише природна вода з верхньої ділянки Канівського водосховища (затока Собаче Гирло). У наступних п’яти акваріумах знаходились свіжовідібрані донні відклади і вода у співвідношенні 1:10. За результатами гранулометричного аналізу склад донних відкладів був таким: пісок (> 0,15 мм) – 19,6%, мул крупний (0,15–0,05 мм) – 40,2%, мул середній (0,05–0,015 мм) – 29,6%, мул дрібний (0,015–0,005 мм) – 7,7%, глина (0,005–

0,0015 мм) – 2,9%. Вміст води у донних відкладах становив 85,7%, а вміст органічних речовин у їхньому складі, за результатами визначення втрат при прожарюванні (ВПП), – 15,8%. У другій експериментальній системі досліджувався вплив аеробних, а в третій – анаеробних умов на міграцію силіцію з донних відкладів у водне середовище. Для створення анаеробних умов використовували сульфід натрію (Na_2SO_3). Дослідження впливу зміни рН води на міграцію силіцію в системі “донні відклади – вода” проводили в четвертій, п'ятій і шостій експериментальних системах. Для зниження величини рН води у четвертому та шостому акваріумах до значень $\sim 6,0$ краплинно додавали концентровану оцтову кислоту (CH_3COOH), а для її підвищення у п'ятій експериментальній системі до значення $\sim 9,5$ – відповідно 8 моль/дм³ розчин NaOH .

Дослідження сукупної дії чинників, зокрема зниження рН і формування аеробних умов здійснювали у шостій експериментальній системі, в якій при зниженні рН застосовували штучну аерацію води за допомогою електричного компресора. Швидкість подачі повітря становила 1,2 см³/с.

Протягом експерименту, який тривав 14 діб, контролювали рН води за допомогою рН-метра 150 МИ (Росія), вміст у воді розчиненого кисню визначали загальноприйнятим методом Вінклера, а концентрацію $\text{Si}_{\text{розч}}$ – фотометричним методом у вигляді відновленої форми силіціймолібденової гетерополікислоти [2]. Вміст завислої форми силіцію визначали у початковій природній воді і у воді з кожного акваріума через 14 діб експерименту. Додатково досліджували вміст силіцію у складі зависі, яка утворювалася протягом експерименту та седиментувала на дно експериментальної системи, а також у складі оксидної плівки. Для цього на початку експерименту на дні експериментальних систем встановлювали пластикові уловлювачі завислих речовин площею 60,8 см². Після закінчення експерименту уловлювачі обережно витягували із експериментальних систем та, застосовуючи мембранну фільтрацію з використанням фільтрів “Synpor” з діаметром пор 0,4 мкм (Чехія), відокремлювали завислу форму силіцію від розчиненої. Вміст силіцію у складі зависі визначали після “мокрого спалювання” мембранних фільтрів із зависсю та подальшої гідротермальної обробки залишку завислих речовин у сильнолужному розчині NaOH протягом 5 год при температурі 230°C.

Розподіл сполук силіцію за знаком заряду у поровому розчині донних відкладів досліджували за допомогою йонообмінної хроматографії шляхом послідовного його пропускання через колонки, заповнені йонообмінними целюлозами – діетиламіноетилцелюлозою (ДЕАЕ-целюлозою) та карбоксиметилцелюлозою (КМ-целюлозою). Для дослідження молекулярно-масового розподілу сполук розчиненого силіцію ($\text{Si}_{\text{розч}}$) використовували метод гель-хроматографії [10].

Гранулометричний склад донних відкладів досліджували за допомогою вагового седиментометра [14]. Вміст силіцію у складі різних фракцій донних відкладів знаходили фотометрично після застосування до кожної з них постадійного екстрагування згідно методики [17]. Концентрацію силіцію, що знаходився у залишковій фракції донних відкладів, визначали після її гідротермальної обробки, як зазначено вище.

Вміст силіцію, що входить до складу діатомових водоростей ($\text{Si}_{\text{біог}}$), які містяться у донних відкладах, визначали відповідно до методики, описаної в роботі [1].

Результати досліджень та їх обговорення. Як показали результати експериментальних досліджень, для природної води з першого акваріума,

порівняно з іншими експериментальними системами, характерні незначні коливання концентрації розчиненого кисню (рис. 1). Так, протягом усього експерименту вміст кисню знаходився в межах 5,1–6,7 мг/дм³, а насичення води киснем у цьому акваріумі становило відповідно 62,0–81,3%.

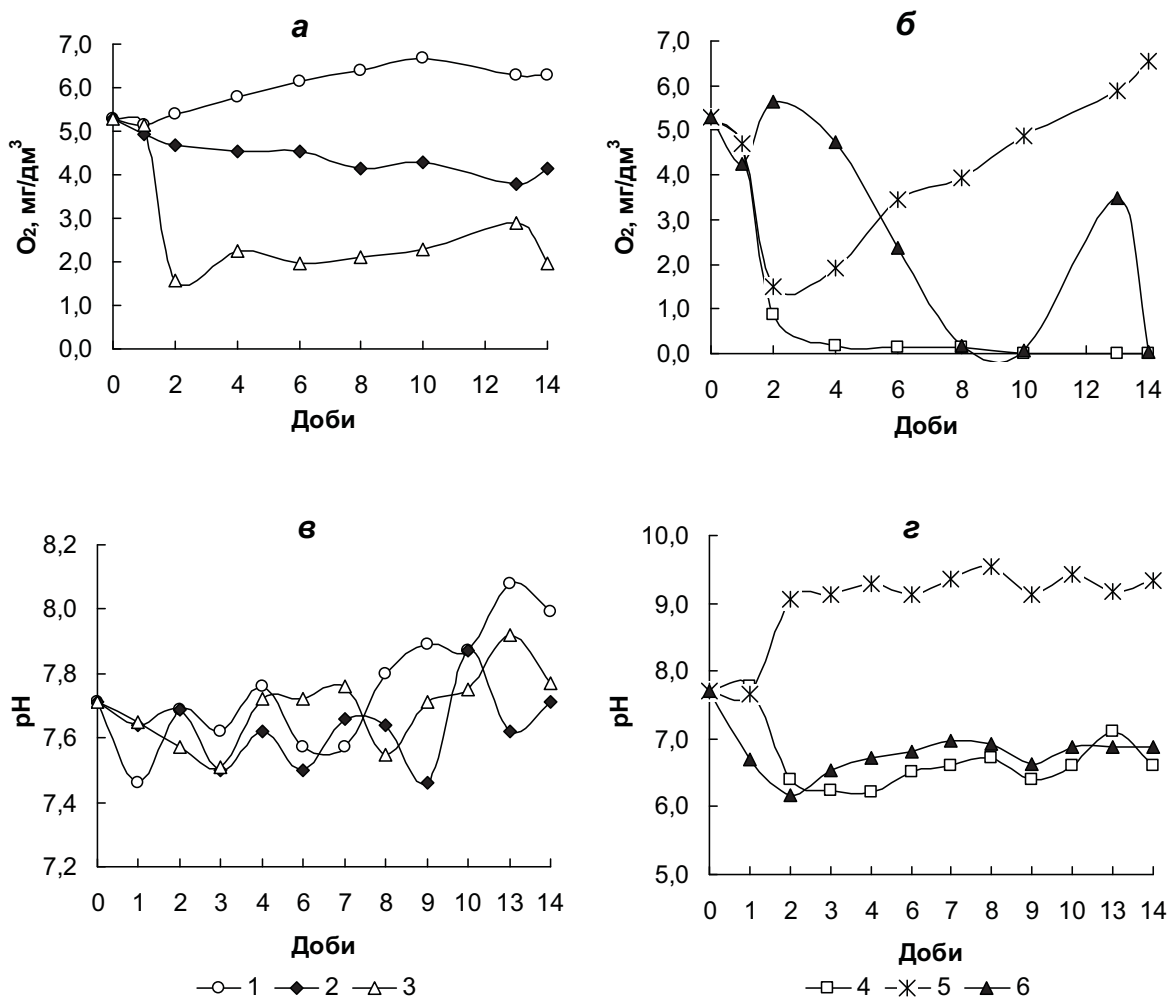


Рис. 1. Зміна концентрації розчиненого кисню (а, б) і величини pH (в, г) у воді експериментальних систем після її взаємодії з донними відкладами (ДВ) за дії різних чинників

Тут і на рис. 2, 4 і 5: 1 – природна вода; 2 – природна вода + ДВ (аеробні умови; pH 7,5–7,9); 3 – природна вода + ДВ (анаеробні умови; pH 7,5–7,9); 4 – природна вода + ДВ (~pH 6,5); 5 – природна вода + ДВ (pH ~9,5); 6 – природна вода + ДВ (pH 6,2–6,9 + штучна аерація)

Слід зазначити, що вміст розчиненого кисню у початковій природній воді був недостатньо високим, що зумовлено, очевидно, порівняно високою кольоровістю води навесні (68,3°Cr–Co шкали), а отже, підвищеним вмістом у ній гумусових речовин, на окиснення яких, як відомо, також витрачається кисень. Водночас, у воді другого акваріуму внаслідок її взаємодії з донними відкладами, вміст розчиненого кисню з кожним днем помітно зменшувався. Це було зумовлено, насамперед, його витратами на процеси окиснення речовин як у самій воді, так і в донних відкладах, а також тих речовин, що мігрували з їхнього складу до водної товщі (див. рис. 1, а). Вже наприкінці експерименту концентрація розчиненого

кисню в цій системі становила $3,8 \text{ мг/дм}^3$, а насичення води киснем не перевищувало 44,8%. У третьому акваріумі, де штучно створювався дефіцит кисню, концентрація розчиненого кисню знижувалась до $1,6 \text{ мг/дм}^3$ з подальшим незначним її зростанням до кінця експерименту.

Стосовно величини рН у перших трьох акваріумах слід зазначити, що суттєвих відмінностей для цього показника нами не було відмічено (див. рис. 1 в). У решті систем значення рН води впродовж експерименту підтримувалося на певному рівні: у четвертій – $\sim 6,5$ з незначними коливаннями, у шостій – спочатку $\sim 6,5$, а в подальшому – ближче до 7,0, а у п'ятій – $\sim 9,5$ (див. рис. 1, г). Необхідно зауважити, що задані величини рН було важко підтримувати на потрібному рівні, що зумовлено впливом процесів, які постійно відбуваються в системі „донні відклади – вода”.

Стосовно вмісту кисню у воді четвертої системи слід зазначити, що різке зниження його концентрації (до $0,9 \text{ мг/дм}^3$) спостерігалось вже на 2-у добу експерименту, а починаючи з 10-ї доби, вона взагалі знизилась до аналітичного нуля (див. рис. 1, б). Порівняно з четвертим акваріумом, у воді шостого експериментального акваріума різкого зниження вмісту кисню ще на початку дослідження не спостерігалось. Це зумовлено, очевидно, додатковою штучною аерацією цієї експериментальної системи, яка створювала значне насичення води киснем. Різке зниження вмісту кисню (до $0,2 \text{ мг/дм}^3$) було відмічене лише на 8-у добу експерименту (див. рис. 1, б). Дещо інший характер змін вмісту кисню спостерігався у воді п'ятого акваріума. Тут вже на 3-ю добу експерименту його концентрація знизилася до $1,5 \text{ мг/дм}^3$, а починаючи з 6-ї доби, навпаки, відбулося помітне її зростання із досягненням максимальних значень ($6,5 \text{ мг/дм}^3$, 78,9% насичення) наприкінці дослідження (див. рис. 1, б).

Нижче (рис. 2) наведено результати експериментальних досліджень міграції силіцію з донних відкладів у водну товщу за дії різних чинників. Виявилось, що надходження силіцію з донних відкладів має свої особливості, відмінні від тих, що були раніше описані для інших біогенних елементів [8].

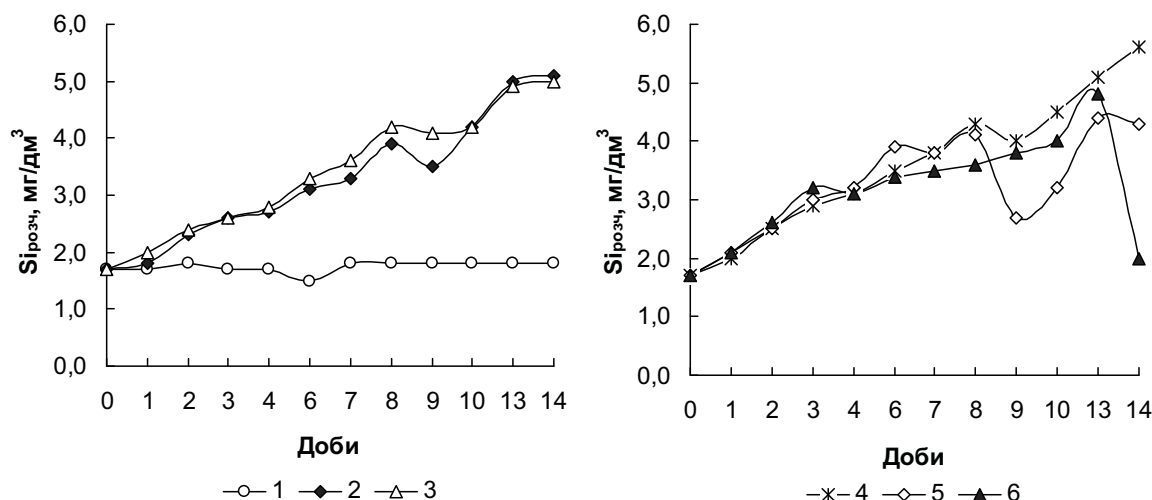


Рис.2. Зміна концентрації $Si_{розч}$ у воді експериментальних систем після її взаємодії з донними відкладами за дії різних чинників

За дії як аеробних, так і анаеробних умов щодня протягом експерименту до водної товщі з донних відкладів надходила майже однакова кількість $Si_{розч}$, що, очевидно, свідчить про відсутність впливу зміни вмісту розчиненого у воді кисню на

міграційну рухливість силіцію (рис. 3). Так, на 14-у добу експерименту було виявлено, що вміст $Si_{розч}$ у воді за дії як аеробних, так і анаеробних умов водного середовища був близьким і становив відповідно 5,1 і 5,0 $мг/дм^3$.

Аналізуючи вплив різних величин рН водної фази на надходження $Si_{розч}$ з донних відкладів, необхідно зазначити, що протягом перших 8-ми діб експерименту щоденно надходили майже однакові його кількості, а починаючи вже з 10-ї доби, вони дещо збільшилися і вміст $Si_{розч}$ за дії понижених значень рН був вищим, аніж при рН $\sim 9,5$ (див. рис. 3). Крім того, порівняно з іншими експериментальними системами, саме в четвертій із них було відмічено максимальні концентрації $Si_{розч}$ (див. рис. 2; 3).

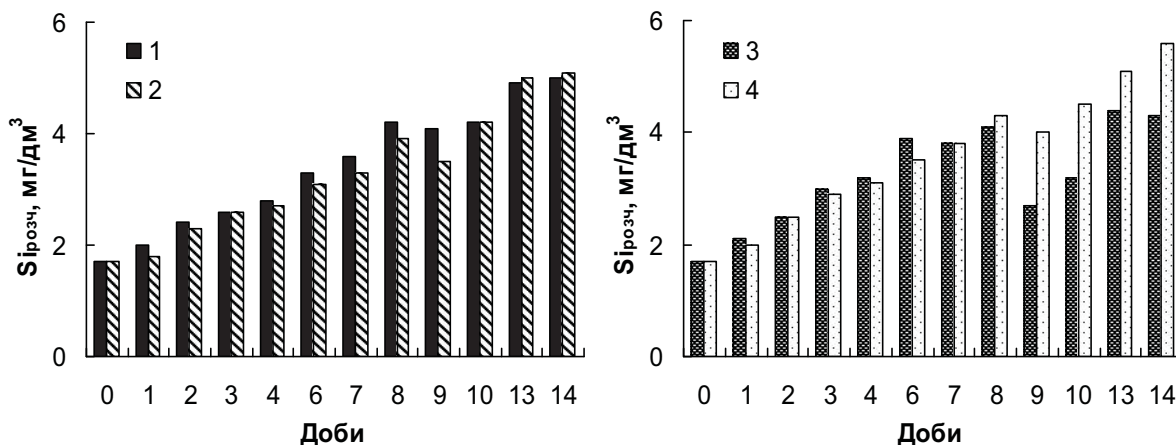


Рис.3. Зміна концентрації $Si_{розч}$ у воді експериментальних систем за дії:
1 – анаеробних умов; 2 – аеробних умов; 3 – підвищення величини рН до $\sim 9,5$; 4 –
зниження величини рН до $\sim 6,5$

Для порівняльної оцінки та з'ясування ролі окремих чинників у міграції силіцію в системі „донні відклади – вода” нижче (рис. 4) наведено максимальні величини концентрації $Si_{розч}$ у воді експериментальних систем. Можна пересвідчитися, що зниження рН найбільше впливає на міграцію силіцію з донних відкладів.

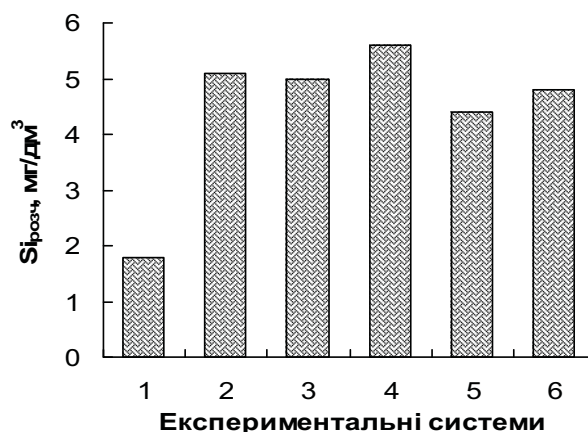


Рис. 4. Максимальні величини концентрації $Si_{розч}$ у воді експериментальних систем після її взаємодії з донними відкладами за дії різних чинників

З метою отримання повнішої інформації стосовно міграційної рухливості силіцію в системі “донні відклади – вода” та його надходження з донних відкладів до водної товщі нами було використано його загальну концентрацію на 14-ту добу

експерименту (рис. 5). Зумовлено це, насамперед, тим, що залежно від умов водного середовища може відбуватися трансформація співіснуючих форм силіцію, тобто перехід його розчинної форми у завислу чи навпаки. Так, концентрація загального силіцію ($Si_{\text{заг}}$) у початковій природній воді наприкінці експерименту становила лише $1,9 \text{ мг/дм}^3$, а максимальні величини його вмісту у воді четвертої і п'ятої експериментальних систем – відповідно $19,6$ і $14,1 \text{ мг/дм}^3$. Враховуючи також концентрацію силіцію, що знаходився у складі оксидної плівки ($0,4 \text{ мг/дм}^3$), утвореної на поверхні води четвертої експериментальної системи, загальний вміст силіцію збільшився до $20,0 \text{ мг/дм}^3$. Отже, протягом експерименту силіцій найінтенсивніше надходив з донних відкладів у водне середовище в експериментальній системі, де підтримувалось слабокисле середовище. Крім того, як показали результати експерименту, досить інтенсивно відбувалась міграція силіцію також і у п'ятій експериментальній системі, де було слаболужне середовище (див. рис. 5). Таким чином, на міграцію силіцію в системі „донні відклади – вода” найбільший вплив спричинює зміна рН водного середовища, аніж зміна кисневого режиму. Так, на 14-у добу експериментального дослідження у четвертій і п'ятій експериментальних системах концентрація $Si_{\text{заг}}$ збільшилася відповідно в $10,5$ і $7,4$ рази порівняно з контролем, тоді як у другій і третій експериментальних системах – відповідно лише в $3,5$ і $3,1$ разів порівняно із загальним його вмістом у природній воді. Отже, зниження рН води сприяло найбільшому надходженню силіцію з донних відкладів та його трансформації з розчинної форми у завислу, а також знаходженню певної частини силіцію у складі оксидної плівки, яку можна віднести до завислої форми досліджуваного елемента. Найвірогідніше, знаходження силіцію у складі утвореної оксидної плівки у четвертій експериментальній системі зумовлене процесами його адсорбції на аморфних частинках зависі, що утворилися на межі розділення фаз у процесі окиснення $Fe(II)$ і $Mn(II)$ відповідно до $Fe(III)$ та $Mn(IV)$.

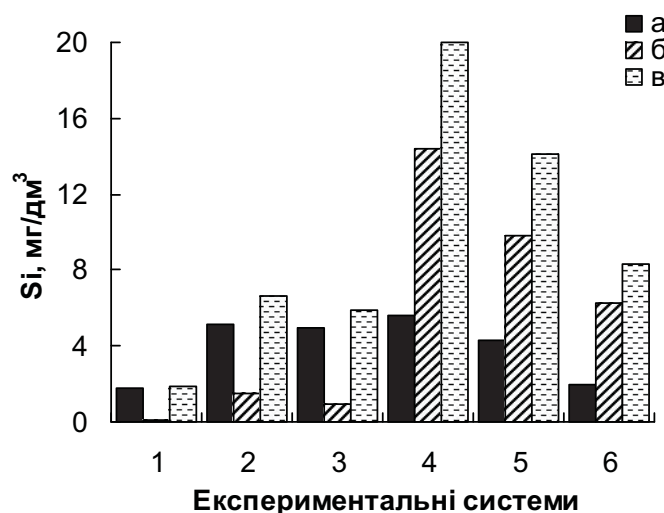


Рис. 5. Вміст розчиненого (а), завислого (б) та загального (в) силіцію у воді експериментальних систем після її взаємодії з донними відкладами через 14 діб експерименту за дії різних чинників

Як відомо, зниження рН водного середовища викликає самовільне зниження концентрації розчиненого кисню, тобто формування анаеробних умов. Звідси постає питання, як саме кисневий режим впливає на міграцію силіцію з донних відкладів до водного середовища за зниження рН? У зв'язку з цим виникла необхідність створення шостої експериментальної системи, в якій досліджувалася

сукупна дія чинників – зниження рН та формування аеробних умов. У даному випадку ця система була контрольною по відношенню до четвертої експериментальної системи. Згідно одержаних результатів досліджень (див. рис. 5) видно, що найкраще силіцій мігрував з донних відкладів у воду за сукупної дії чинників, коли при зниженні рН виникали також і анаеробні умови. В той же час, за понижених величин рН води (6,2–6,9) та штучної аерації, десорбція силіцію з донних відкладів у шостій експериментальній системі відбувалося меншою мірою, ніж у четвертій експериментальній системі. Так, за загальним вмістом силіцію, його концентрація при зниженні рН і додатковій аерації виявилася майже у 2,5 рази меншою порівняно із системою, де проводили лише зниження рН води (4-та система), а формування дефіциту кисню відбувалося самодовільно. Також ці результати досліджень дали змогу зрозуміти, що саме зниження рН води – це первинний чинник, який найбільше впливає на міграційну рухливість силіцію в системі „донні відклади – вода”, тоді як анаеробні умови, які при цьому виникають, лише підсилюють цей вплив. Однак самі по собі анаеробні умови впливають майже так само, як і аеробні на міграцію силіцію з донних відкладів у водне середовище (див. рис. 5).

Надходження речовин з донних відкладів у воду, що контактує з ними, відбувається переважно за рахунок їхньої молекулярної дифузії з порових розчинів. Швидкість останньої залежить від градієнта концентрації речовин, які містяться у поровому розчині донних відкладів і у самій воді, та від коефіцієнта дифузії [9]. У поровому розчині концентрація $Si_{розч}$ становила $10,0 \text{ мг/дм}^3$. Методом йонообмінної хроматографії встановлено, що переважна частина $Si_{розч}$ (майже 91%) знаходилася у складі сполук нейтральної фракції (рис. 6). Серед них домінували сполуки з молекулярною масою $<0,2 \text{ кДа}$ (92,4%), які цілком очевидно, характеризуються найбільшою швидкістю молекулярної дифузії. Оскільки концентрація $Si_{розч}$ у поровому розчині значно перевищує його вміст у природній воді, тому з донних відкладів до водної товщі він мігрує шляхом дифузії за градієнта концентрації.

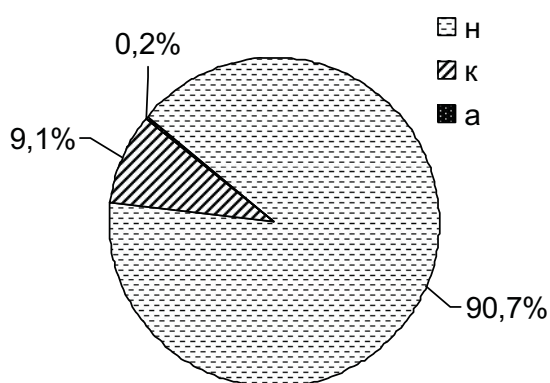


Рис. 6. Розподіл сполук силіцію за знаком заряду у поровому розчині досліджуваних донних відкладів: а, к, н – відповідно аніонна, катіонна і нейтральна фракції

В свою чергу, до порового розчину силіцій може надходити з твердої фази донних відкладів, насамперед, з обмінної, карбонатної і оксидної фракцій. Тому для з'ясування оцінки рухливості силіцію та його розподілу між різними фракціями донних відкладів, було проведено їхнє постадійне екстрагування згідно методики [17]. Як відомо, хімічні елементи у різних фракціях донних відкладів характеризуються різною рухливістю. Вони мають більшу рухливість, коли

містяться у складі обмінної, карбонатної та оксидної фракцій і вважаються малорухливими за умови переважного знаходження в органічній та залишковій фракціях донних відкладів. В зв'язку з цим виникла необхідність дослідження вмісту силіцію у складі вище зазначених фракцій донних відкладів. Згідно результатів наших досліджень, вміст силіцію у складі перших трьох фракцій становив 1,83 мг/г сухої маси донних відкладів. Зокрема, в обмінній фракції концентрація силіцію складала 0,03 мг/г, в карбонатній – 0,40 мг/г, а в оксидній – 1,40 мг/г. Оскільки силіцій – це основний мінералоутворюючий елемент, тому слід було очікувати, що серед усіх фракцій донних відкладів він домінує у складі залишкової фракції, де його концентрація складала 666,9 мг/г, що становить відповідно 99,7% від загального вмісту у донних відкладах (таблиця). Не зважаючи на те, що відносний вміст рухливого силіцію у складі донних відкладів не перевищував 0,3%, його абсолютна концентрація досягає немалих значень. Це означає, що за певних умов (зниження або зростання рН води) саме з цих фракцій донних відкладів силіцій буде надходити до порового розчину. Останній, як відомо, є своєрідним „депо” розчинених форм багатьох хімічних елементів, які в результаті молекулярної дифузії чи скаламучення донних відкладів можуть мігрувати у водне середовище [12]. Згідно проведених розрахунків, максимальна концентрація силіцію, який може надходити з перших трьох фракцій донних відкладів спочатку до порового розчину, а потім і до водного середовища експериментальних систем, становить майже 29,7 мг/дм³.

Таблиця. Фракційний розподіл силіцію у донних відкладах, що використовувались в експериментальних дослідженнях

Вміст силіцію у різних фракціях донних відкладів				
Обмінна	Карбонатна	Оксидна	Органічна	Залишкова
<u>0,03 мг/г</u> 0,004%	<u>0,4 мг/г</u> 0,1%	<u>1,4 мг/г</u> 0,2%	<u>0,01 мг/г</u> 0,001%	<u>666,9 мг/г</u> 99,7%

Примітка. Над рискою – абсолютні величини, під рискою – відносні значення з розрахунку до загальної концентрації силіцію в донних відкладах.

Результати досліджень показали, що найбільший вміст силіцію характерний для оксидної фракції. Це, вірогідно, пов'язано з тим, що за певних умов утворюються аморфні гідроксиди феруму і мангану, які є добрими сорбентами щодо інших хімічних елементів [4]. Не виключено, що до таких хімічних елементів належить і силіцій. В результаті виникнення відновлювальних умов ці гідроксиди можуть розчинятися, а сорбовані ними хімічні елементи – вивільнятися та мігрувати у водне середовище.

Враховуючи особливості силіцію як біогенного елемента та його здатність накопичуватися у складі діатомових водоростей, можна очікувати, що частина діатомового фітопланктону після відмирання депонуватиметься у донних відкладах. У подальшому, в результаті його розчинення, до порового розчину буде також надходити і розчинений силіцій [5]. До того ж відомо, що швидкість розчинення кремнезему, який входить до складу діатомей, на п'ять порядків величин вища, ніж силікатних мінералів [цит. за 16]. Тому для оцінки ролі біотичної складової у надходженні розчиненого силіцію з донних відкладів до водного середовища нами було використано величину концентрації $Si_{\text{біог}}$, що входить до складу діатомових

водоростей, які містяться у цих донних відкладах. Згідно результатів дослідження, вміст $\text{Si}_{\text{біог}}$ у складі досліджуваних донних відкладів становив 1,1 мг/г або 0,11% від їхньої сухої маси.

Висновки. На підставі результатів проведених експериментальних досліджень виявлено деякі особливості міграційної рухливості силіцію в системі „донні відклади – вода”. Встановлено, що зміна величини рН води в системі „донні відклади – вода” в бік зниження або підвищення – це найважливіший чинник, що сприяє інтенсивному надходженню силіцію з донних відкладів у водне середовище. Водночас, зміна кисневого режиму не проявляє помітного впливу на міграцію силіцію в системі „донні відклади – вода”, оскільки як за аеробних, так і за анаеробних умов до водної товщі надходить майже однакова кількість силіцію. Крім того, результати досліджень засвідчили, що максимальні кількості силіцію надходили за сумісної дії чинників – зниження рН і самовільного формування анаеробних умов. Так, за сумісної дії зазначених чинників концентрація $\text{Si}_{\text{заг}}$ збільшилася в 10,5 разів порівняно з його вмістом у початковій природній воді. Міграція силіцію з донних відкладів до водного середовища відбувається шляхом молекулярної дифузії з порового розчину сполук, молекулярна маса яких становить $< 0,2$ кДа, тобто у вигляді мономерно-димерної форми силікатної кислоти. Частка цих сполук у поровому розчині досягає 92,4% $\text{Si}_{\text{нейтр}}$. Вміст рухливого силіцію у складі донних відкладів становив 1,83 мг/г. Це, очевидно, дозволяє, за певних умов (зміна рН водного середовища), вивільнитися силіцію з донних відкладів та переходити в розчиненому стані до порового розчину, а надалі – до водної фази, що контактує з донними відкладами.

Список літератури

1. Аккумуляция биогенного кремнезема в донных отложениях Байкала / Гранина Л. З., Грачев М. А., Карабанов Е. Б. и др. // Геология и геофизика. – 1993. – Т. 34, №10. – 11. – С. 149–159.
2. Аналітична хімія поверхневих вод / Набиванець Б. Й., Осадчий В. І., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б. – К.: Наук. думка, 2007. – 455 с.
3. Влияние рН на миграцию различных форм металлов в системе „донные отложения – вода” в экспериментальных условиях / Линник П. Н., Зубко А. В., Зубенко И. Б. и др. // Гидробиол. журн. – 2009. – Т. 45, №1. – С. 99–109.
4. Волков И. И. Химические элементы в речном стоке и формы их поступления в море (на примере рек Черноморского бассейна) / И.И. Волков // Проблемы литологии и геохимии осадочных пород и руд. – М.: Наука, 1975. – С. 85–113.
5. Выхристюк Л.А. Аморфный кремнезем в донных осадках Байкала / Л.А. Выхристюк // Литология и полезные ископаемые. – 1979. – №1. – С. 43–50.
6. Ігнатенко І.І. Міграція молібдену в системі „донні відклади – вода” за підвищеної мінералізації води / І. І. Ігнатенко, П. М. Линник // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2008. – Т. 15. – С. 98–102.
7. Линник П.Н. Влияние различных факторов на десорбцию металлов из донных отложений в условиях экспериментального моделирования / П.Н. Линник // Гидробиол. журн. – 2006. – Т. 42, №3. – С. 97–114.
8. Линник П.М. Десорбція сполук азоту, фосфору і заліза з донних відкладів за дії різних чинників / П.М. Линник, А.О. Морозова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2006. – Т. 10. – С. 73–81.
9. Линник П.Н. Донные отложения водоемов как потенциальный источник вторичного загрязнения водной среды соединениями тяжелых металлов / П. Н. Линник // Гидробиол. журн. – 1999. – Т. 35, №2. – С. 97–109.
10. Линник П.М. Методичні аспекти дослідження форм знаходження силіцію у природних поверхневих водах / П.М. Линник, Т.П. Дика // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2012. – Т. 1(26). – С. 8–18.
11. Линник П.Н. Особенности миграции металлов в системе „донные отложения – вода” при снижении рН и повышении концентрации фульвокислот / П.Н. Линник, В.А. Жежеря // Гидробиол. журн. – 2011. – Т. 47, №3. – С. 91–109.
12. Линник П.М. Особливості міграції речовин з донних відкладів водойм у водне середовище залежно від їх форм знаходження у порових розчинах / Линник П. М., Васильчук Т. О., Зубенко І. Б. // Наук. зап. Терноп. держ. пед. ун-

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. – Т.1(32)

ту. Сер.: Біологія. Спец. вип. „Гідроекологія”. – 2001. – №3(14). – С. 208–211. **13. Линник П. М.** Особенности миграции разных форм металлов из донных отложений за действием некоторых факторов среды / П.М. Линник, О.В. Зубко // Гидрология, гидрохимия и гидроэкология. – 2010. – Т. 2(19). – С. 122–129. **14.** Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / Арсан О. М., Давидов О. А., Дьяченко Т. М. та ін. ; за ред. В.Д. Романенка. – К. : Логос, 2006. – 408 с. **15. Осипенко В.П.** Влияние минерализации воды на поведение некоторых групп органических веществ в системе „донные отложения – вода” / В.П. Осипенко, Т.А. Васильчук // Гидробиол. журн. – 2008. – Т. 44, №1. – С. 105–114. **16. Conley D.J.** Riverine contribution of biogenic silica to the oceanic silica budget / D.J. Conley // Limnology and Oceanography. – 1997. – Vol. 42(4). – P. 774–777. **17. Tessier A.** Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals / A. Tessier, P.G.C. Campbell, M. Bisson // Analyt. Chem. – 1979. – Vol. 51. – P. 844–851.

Особенности миграции силиция в системе „донные отложения – вода” за действием разных факторов среды

Жежеря Т.П., Линник П.М.

Розглянуто результати експериментальних досліджень міграції силицію в системі „донні відклади – вода” за дії аеробних і анаеробних умов, а також за зниження та підвищення величини рН води. Встановлено, що за анаеробних умов надходження силицію з донних відкладів у водне середовище виявилось приблизно таким же, як і в аеробних умовах. Показано, що зниження рН води, яка контактує з донними відкладами, до 6,0–6,5, сприяє найбільшій міграції силицію у водне середовище. Наведено результати досліджень вмісту та розподілу силицію серед різних фракцій донних відкладів.

Ключові слова: силицій; донні відклади; аеробні умови; анаеробні умови; рН.

Жежеря Т.П., Линник П.Н.

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований миграции кремния в системе „донные отложения – вода” под влиянием аэробных и анаэробных условий, а также при снижении и повышении величины рН воды. Установлено, что при анаэробных условиях поступление кремния из донных отложений в водную среду оказалось приблизительно таким же, как и в аэробных условиях. Показано, что снижение рН воды, контактирующей с донными отложениями, до 6,0–6,5, способствует наибольшей миграции кремния в водную среду. Приведены результаты исследований содержания и распределения кремния среди разных фракций донных отложений.

Ключевые слова: кремний; донные отложения; аэробные условия; анаэробные условия; рН.

Peculiarities of silicon migration in the system «bottom sediments – water» under influence of different factors of environment

Zhezherya T.P., Linnik P.N.

The results of experimental research of silicon migration in the system “bottom sediments – water” under influence of aerobic and anaerobic conditions, as well as decrease and increase of pH value of water are considered. It was established that under anaerobic conditions receipt of silicon from the bottom sediments in the water has appeared approximately same, as well as in aerobic conditions. It is shown that decrease of pH value of water contacting with bottom sediments to 6,0–6,5 contributes the largest of silicon migration in the water. The results research of content and distribution of silicon among different fractions of bottom sediments are shown.

Keyword: silicon; bottom sediments; aerobic conditions; anaerobic conditions; pH.

Надійшла до редколегії 10.02.2014