

УДК 551.464.3:552.5

Т. М. Альохіна

**ОСОБЛИВОСТІ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ДОННИХ
ВІДКЛАДІВ КАРАЧУНІВСЬКОГО ТА СОФІЇВСЬКОГО
ВОДОСХОВИЩ (УКРАЇНА)**

У статті наведені результати досліджень хімічного складу донних відкладів замикаючих водосховищ на річках Інгулець та Інгул — Карачунівського та Софіївського. Визначено спільні риси та відмінності геоморфології водосховищ, геохімічних особливостей і антропогенних чинників, що зумовлюють хімічний склад донних відкладів.

Ключові слова: гідроекосистема водосховища, седиментогенез, антропогенне навантаження, окисно-відновні умови, фаціальний фактор.

На сьогоднішній день дослідження седиментогенезу у водосховищах розглядається як самостійний розділ вивчення осадової речовини у верхньому шарі літосфери Землі. Існує прямий зв'язок між джерелами матеріалу, що накопичується у донних відкладах шляхом седиментогенезу, процесами, що відбуваються на водозборі та у водоймі, морфологією чаші водойми, її гідрологічним і гідродинамічним режимом, і, що надзвичайно актуально в останні десятиріччя, діяльністю людини [3, 5, 11]. Хімічний склад донних відкладів віддзеркалює геохімічні особливості водозбірної території, інтенсивність і масштаб техногенного забруднення ландшафтів [7, 8, 10]. Утворення значних об'ємів седиментів у водосховищах висвітлює новий важливий аспект — проблему накопичення та впливу забрудників на гідроекосистему. Останнє особливо актуальне для регіонів, розташованих у зонах значного антропогенно-техногенного навантаження [4, 6, 9, 12—15].

Кругообіг речовин у гідроекосистемах відбувається завдяки їх переходу з однієї форми в іншу у системі вода — донні відклади — біота, тому вміст певних хімічних елементів і сполук у седиментах може бути показником як забруднення водойми, так і трансформації самих забрудників у водних системах. За такою схемою оцінюють реальний екологічний стан біогеоценозів, адже вода є первинною ланкою на шляху надходження забрудників до гідроекосистем, а донні відклади і прибережні ґрунти їх депонують, забезпечуючи таким чином детоксикацію та/або пролонгацію негативного впливу, виступаючи за певних умов джерелами вторинного забруднення води [1]. Важливою ланкою у ланцюзі кругообігу речовин та енергії у водоймах є органічні речовини, з якими пов'язані міграція і трансформація більшості хімічних елементів. Джерелом енергії при ранньому діагенезі донних

© Т. М. Альохіна, 2016

відкладів є енергія, що утворюється у процесі мікробної деструкції органічних речовин. З їх концентрацією та складом тісно пов'язані інтенсивність біохімічних перетворень, перерозподіл хімічних елементів і утворення аутигенних мінералів [13]. Дослідження хімічного складу донних відкладів антропогенно змінених гідроекосистем є актуальною екологічною проблемою.

Метою цієї роботи було визначити та порівняти особливості хімічного складу донних відкладів Карачунівського та Софіївського водосховищ.

Матеріал і методика досліджень. Аналізували хімічний склад донних відкладів Карачунівського водосховища (на р. Інгулець), розташованого на території великого гірничо-видобувного та металургійного центру України — м. Кривий Ріг, і Софіївського водосховища (на р. Інгул). Обидві водойми розташовані в одній кліматичній зоні.

Вибір місць та точок відбору проб донних здійснювали згідно з методикою [2], що передбачає мінімальну кількість створів, необхідних для репрезентативного визначення і порівняльного аналізу літологічних, хімічних і екологічних характеристик донних відкладів у природних, антропогенних і техногенних зонах. У Карачунівському водосховищі було закладено три профілі: два поперечних і один діагональний, на Софіївському — чотири поперечні профілі (табл. 1). Проби відбирали за допомогою спеціального пробовідбірника шляхом підводного занурення чи буріння. Товщина шару відкладів для аналізу становила 0,10—0,65 м. Відібрані проби після висушування усереднювали по точкам відбору. Для хімічного аналізу відбирали наважку 100 г. Аналіз проводили за стандартними методиками. У пробах донних відкладів визначали вміст загального заліза ($Fe_{\text{заг.}}$), Fe_2O_3 , FeO , SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 і витрати при прожарюванні (ВПП). При статистичній обробці результатів застосовували кореляційний аналіз. Всього проаналізовано 64 проби (35 із Карачунівського водосховища і 29 із Софіївського).

Результати досліджень та їх обговорення

У процесі формування та становлення водосховищ відбувається низка змін, головними з яких є трансформація ландшафту (враховуючи переробку берегів і ложа водосховища) та накопичення донних відкладів (мінеральних і органічних сполук). Мінеральний склад є одним із головних чинників, що визначає сорбційну здатність донних відкладів, їхню гідрофільність і йонний склад. Обрані для дослідження показники дозволяють певною мірою оцінити як геохімічні особливості водозбірної території, так і ступінь техногенного навантаження на гідроекосистему.

Результати визначення хімічного складу донних відкладів Карачунівського та Софіївського водосховищ, наведені у табл. 2, свідчать, що всі досліджені показники мають широкий діапазон коливань. Найбільш варіативними (із коливанням понад десять раз) у пробах донних відкладів Карачунівського водосховища виявилися MnO , MgO , ВПП, CaO , P_2O_5 , Al_2O_3 , FeO і Fe_2O_3 . Меншою розбіжністю характеризувались вміст $Fe_{\text{заг.}}$ і K_2O . Найбільш сталими (коливання менше п'яти раз) були вміст Na_2O , TiO_2

1. Координати розташування профілів на Карачунівському і Софіївському водосховищах

Профілі	Координати
Карачунівське водосховище	
Профіль I	
Лівий берег р. Інгулець	N 47° 58'51,0'' E 33° 16'22,6''
Правий берег р. Інгулець	N 47° 58'52,06'' E 33° 16'09,0''
Профіль II	
Лівий берег р. Інгулець	N 47° 56'31,3'' E 33° 16'46,0''
Правий берег р. Інгулець	N 47° 57'23,3'' E 33° 15'11,6''
Профіль III	
Лівий берег р. Інгулець	N 47° 55'24,0'' E 33° 17'19,0''
Південний берег р. Інгулець	N 47° 54'36,1'' E 33° 15'51,2''
Софіївське водосховище	
Профіль I	
Лівий берег р. Інгул	N 47° 44'39,6'' E 32° 22'32,5''
Правий берег р. Інгул	N 47° 44'30,9'' E 32° 22'24,9''
Профіль II	
Лівий берег р. Інгул	N 47° 43'51,9'' E 32° 22'02,0''
Правий берег р. Інгул	N 47° 44'01,3'' E 32° 21'54,6''
Профіль III	
Лівий берег р. Інгул	N 47° 43'16,6'' E 32° 20'59,7''
Правий берег р. Інгул	N 47° 43'01,2'' E 32° 21'00,8''
Профіль IV	
Лівий берег р. Інгул	N 47° 42'57,4'' E 32° 21'51,5''
Правий берег р. Інгул	N 47° 42'48,9'' E 32° 21'41,7''

та SiO_2 . У найширших межах змінювався вміст MnO (у 30 разів), що, на нашу думку, зумовлено особливостями його накопичення. Ця сполука визначається переважно у пелітовій фракції донних відкладів (із розміром $< 0,05$ мм), що тяжіє до глибоководних ділянок водосховищ, тоді як на більш проточних мілкоководних ділянках MnO міститься у мінімальних кількостях. Також у широких межах варіював показник ВПП: на лотичних ділянках водосховища він був найменшим, а ближче до берегів зростав. Отримані результати свідчать про фаціальну диференціацію донних відкладів.

Фаціальна диференціація донних відкладів означає, що переважне накопичення кремнезему SiO_2 відбувається у прибережних ділянках водойми, а карбонатного мулу, оксидів і гідроксидів — на глибоководних.

2. Хімічний склад донних відкладів(мас %) Карачунівського і Софіївського водосховищ

Показники	Карачунівське водосховище		Софіївське водосховище	
	Діапазон коливань значень (min—max)	$M \pm m, n = 35$	Діапазон коливань значень (min—max)	$M \pm m, n = 29$
Fe _{зар.}	0,50—4,80	3,36 ± 1,32	0,60—3,50	1,92 ± 0,91
Fe ₂ O ₃	0,40—4,15	2,77 ± 1,25	0,30—2,10	0,92 ± 0,60
FeO	0,30—3,20	1,83 ± 0,72	0,40—3,05	1,73 ± 0,75
SiO ₂	34,06—93,24	57,06 ± 15,45	33,92—84,68	68,33 ± 15,99
Al ₂ O ₃	1,16—13,90	10,42 ± 3,96	3,01—11,57	8,19 ± 2,38
TiO ₂	0,16—0,64	0,50 ± 0,15	0,08—0,68	0,33 ± 0,13
MnO	0,02—0,75	0,25 ± 0,19	0,01—0,13	0,48 ± 0,35
MgO	0,10—2,22	1,42 ± 0,58	0,14—2,13	1,02 ± 0,57
CaO	1,21—22,76	7,66 ± 4,61	2,16—23,00	6,39 ± 5,52
Na ₂ O	0,14—0,66	0,53 ± 0,15	0,37—2,29	1,03 ± 0,62
K ₂ O	0,24—2,30	1,85 ± 0,65	0,76—1,94	1,45 ± 0,35
P ₂ O ₅	0,05—0,35	0,26 ± 0,09	0,07—0,37	0,17 ± 0,09
ВПП	1,45—28,83	15,34 ± 6,45	2,13—27,59	10,05 ± 7,97

Межі коливань показників хімічного складу Софіївського водосховища менші, вони не перевищують 15 раз. За варіативністю досліджувані показники формують наступний ряд: MgO > ВПП > MnO > CaO > TiO > FeO > Fe₂O₃ > Na₂O > Fe_{зар.} > P₂O₅ > Al₂O₃ > K₂O > SiO₂.

Середні значення показників у досліджених водосховищах дещо відрізнялись. Так, вміст Fe_{зар.} у Карачунівському водосховищі у 1,75 разу вищий, ніж у Софіївському, а вміст Fe₂O₃ — утричі. Цей факт можна пояснити геохімічною аномалією, пов'язаною із залізорудними родовищами Кривбасу і діяльністю численних підприємств гірничо-збагачувального комплексу. У природних умовах частина мінералів заліза надходить до гідросистем з кори вивітрювання, передусім це стосується залізорудних провінцій. Значне збільшення вмісту мінералів заліза або постійне надходження до гідросистем вказує на їх техногенне походження, оскільки потрапити до водойми вони можуть лише внаслідок технологічних процесів видобутку і збагачення залізних руд. Середній вміст P₂O₅ та ВПП у Карачунівському водосховищі у 1,5 разу вищий, ніж у Софіївському, що, ймовірно, зумовлено різницею у геоморфологічних характеристиках водосховищ (Софіївське — видовжене, Карачунівське — складної морфологічної будови), ступенем антропогенного впливу, особливостями геологічної будови водозбірної території, а також їх віком, який визначає об'єм накопичених відкладів.

Для аналізу отриманих даних було розраховано парні коефіцієнти кореляції. Результати кореляційного аналізу проб донних відкладів Кара-

чунівського водосховища (табл. 3) свідчать, що вміст SiO_2 має високі від'ємні коефіцієнти кореляції з усіма іншими показниками. Максимальний від'ємний коефіцієнт ($r = -0,97$) між вмістом SiO_2 і ВПП є цілком логічним з огляду на фізичну природу цих показників і вказує на фаціальну диференціацію відкладів. Привертає увагу високий позитивний коефіцієнт ($r = 0,881$) між P_2O_5 і ВПП і водночас високий від'ємний між P_2O_5 і SiO_2 ($r = -0,915$). В осадових породах найбільш розповсюджені дві форми P_2O_5 — теригенна у вигляді апатиту, який наближений до кварцових пісків і розсипів, і біогенна (органогенна). Отримані зв'язки свідчать про переважання біогенної форми. На нашу думку, найбільш важливою є різниця у коефіцієнтах кореляції Fe_2O_3 і FeO з ВПП (відповідно $r = 0,45$ і $r = 0,84$). Це свідчить на користь тези про формування відновлювальних умов у верхньому шарі донних відкладів. Таке явище можна використовувати як специфічний показник для виділення застійних ділянок водосховищ і оцінки екологічного стану водойм.

У Софіївському водосховищі також відмічені високі від'ємні коефіцієнти кореляції між вмістом SiO_2 і FeO ($r = -0,93$), P_2O_5 ($r = -0,96$), ВПП ($r = -0,98$) (табл. 4). Високі високі позитивні коефіцієнти пар ВПП/ FeO ($r = 0,95$), ВПП/ P_2O_5 ($r = 0,93$), ВПП/ CaO ($r = 0,93$) і ВПП/ MnO ($r = 0,87$) найвірогідніше зумовлені фаціальною диференціацією відкладів і відображають вплив геоморфологічних параметрів чаші водосховища. Слід зазначити, що пелітова фракція у Софіївському водосховищі переважає як на застійних прибережних ділянках, так і на малопроточних глибоководних, саме це, ймовірно, визначає вищезгадані позитивні коефіцієнти кореляції.

Різниця між коефіцієнтами кореляції пар ВПП/ Fe_2O_3 ($r = 0,59$) і ВПП/ FeO ($r = 0,95$) становить 1,6, що свідчить на користь поступової зміни середовища седиментогенезу на глибоководних ділянках біля греблі водосховища з окиснювального на відновлювальне.

Хімічний склад донних відкладів Карачунівського та Софіївського водосховищ відображає надходження хімічних елементів до річкового алювію у складі мінералів і сполук, які відрізняються між собою за фізико-хімічними властивостями і походженням (природним та техногенним). Таким чином у хімічному складі донних відкладів досліджуваних водосховищ є відмінності та схожі риси. Найбільша відмінність зумовлюється розташуванням Карачунівського водосховища у межах Криворізького залізрудного басейну, де до геохімічної аномалії додається техногенний чинник. До спільних рис можна віднести фаціальний розподіл певних сполук у донних відкладах і значний антропогенний вплив. Останній визначається постійно зростаючим потоком промислово-побутових скидів і зниженням темпів біодеструкції і здатності водойм до самоочищення. Регулювання природного руху води у річках через створення гребель призводить до уповільнення течії, утворення застійних ділянок, що, у свою чергу, є одним із чинників, який сприяє формуванню відновлювальних умов.

Результати проведених досліджень є цілком логічними і підтверджують тезу щодо формування нової просторової послідовності геосистем з техногенними об'єктами і явищами, взаємодія яких із природними компонентами поступово, але невпинно, перетворює природні екосистеми у техногенні.

3. Парні коефіцієнти кореляції показників хімічного аналізу донних відкладів Карачунівського водосховища

Показники	Fe _{заг}	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ВПП
Fe _{заг}	1												
Fe ₂ O ₃	0,95*	1											
FeO	0,86*	0,65*	1										
SiO ₂	-0,78*	-0,63*	-0,86*	1									
Al ₂ O ₃	0,95*	0,94*	0,76*	-0,77*	1								
TiO ₂	0,87*	0,86*	0,69*	-0,64*	0,92*	1							
MnO	0,62*	0,50**	0,66*	-0,61*	0,50**	0,44**	1						
CaO	0,20	0,016	0,46**	-0,75*	0,18	0,06	0,32	1					
MgO	0,95*	0,89*	0,84*	-0,81*	0,91*	0,78*	0,75*	0,27	1				
Na ₂ O	0,87*	0,77*	0,81*	-0,81*	0,88*	0,92*	0,52**	0,34***	0,83*	1			
K ₂ O	0,93*	0,91*	0,74*	-0,75*	0,98*	0,96*	0,49**	0,19	0,88*	0,93*	1		
P ₂ O ₅	0,80*	0,65*	0,86*	-0,91*	0,75*	0,65*	0,55*	0,62*	0,76*	0,80*	0,73*	1	
ВПП	0,65*	0,45*	0,84*	-0,97*	0,60*	0,48**	0,59*	0,85*	0,69*	0,71*	0,60*	0,88*	1

Примітка. Тут і у табл. 4: * $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,05$.

4. Парні коефіцієнти кореляції показників хімічного складу донних відкладів Софіївського водосховища

Показники	Fe _{3ог.}	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ВПП
Fe _{3ог.}	1												
Fe ₂ O ₃	0,93*	1											
FeO	0,91*	0,70*	1										
SiO ₂	-0,83*	-0,62*	-0,93*	1									
Al ₂ O ₃	0,70*	0,70*	0,58*	-0,58*	1								
TiO ₂	0,83*	0,79*	0,74*	-0,61*	0,42***	1							
MnO	0,79*	0,60*	0,88*	-0,83*	0,46***	0,59*	1						
CaO	0,61*	0,36	0,78*	-0,9*	0,28	0,36	0,76*	1					
MgO	0,96*	0,84*	0,94*	-0,87*	0,65*	0,84*	0,82*	0,67*	1				
Na ₂ O	-0,47**	-0,34	-0,55**	0,40***	0,22	-0,62*	-0,52**	-0,5**	-0,5**	1			
K ₂ O	0,62*	0,68*	0,45***	-0,44***	0,91*	0,40**	0,33	0,13	0,58*	0,28	1		
P ₂ O ₅	0,86*	0,67*	0,93*	-0,96*	0,66*	0,59*	0,83*	0,13	0,88*	0,36	0,51**	1	
ВПП	0,82*	0,59*	0,95*	-0,98*	0,47**	0,62*	0,87*	0,93*	0,87*	-0,57**	0,31	0,93*	1

Висновки

До особливостей хімічного складу донних відкладів Карачунівського водосховища можна віднести значний вміст заліза та його сполук через геохімічну аномалію і внаслідок значного видобутку та переробки залізних руд; фаціальний характер розподілу донних відкладів, що зумовлює специфічні асоціації хімічних сполук; утворення відновного середовища на певних ділянках його дна внаслідок дії антропогенних чинників.

Більшість хімічних сполук донних відкладів Софіївського водосховища утворюють стійкі зв'язки (позитивні та негативні), які у цілому пояснюються дією природних і антропогенних чинників. Найбільш значущим чинником седиментаційної диференціації хімічних сполук можна вважати фаціальний, який відображає вплив геоморфологічних параметрів і гідрологічних особливостей водосховища. Також має місце зміна середовища седиментогенезу на пригребельних ділянках водосховища з окиснювального на відновлювальне.

Відмінності у хімічному складі донних відкладів Карачунівського та Софіївського водосховищ зумовлені особливостями геоморфології їх чаш, гідрологічних показників, ступенем антропогенного навантаження, характером регулювання стоку, а також належністю до різних геохімічних провінцій.

**

Представлены результаты исследований химического состава донных отложений замыкающих водохранилищ на реках Ингулец (Карачунивского) и Ингул (Софиевского). Установлены сходные черты и различия геоморфологии ложа водохранилищ, геохимических особенностей и антропогенных факторов, определяющие химический состав донных отложений.

**

Results of investigation of the chemical composition of the bottom sediments of the Karachunivske reservoir in the Ingulets River and Sophiivske reservoir in the Ingul River are presented. The features geomorphology of reservoirs, hydrological parameters, the degree of anthropogenic pressure, water flow regulation and belonging to different geochemical provinces, which determine differences in chemical composition of the bottom sediments of the considered reservoirs are stated.

**

1. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. — Л.: Гидрометеоиздат, 1986. — 268 с.
2. Літологія сучасних донних осаdkів поверхневих водойм Криворізького залізорудного басейну / Під ред. І. М. Малахова. — Кривий Ріг: Ок-тан-принт, 2008. — 110 с.
3. Огородніков В.І. Особливості формування донних відкладів в великих рівнинних водосховищах // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. географія. — 2000. — № 46. — С. 21—24.
4. Савченко І.Г. Особливості забруднення важкими металами донних відкладень водойм антропогенного ландшафту // Питання біоіндикації та екології. — 2011. — Т. 16, № 2. — С. 180—187.

5. *Холодько О.П.* Особливості формування донних відкладів Київського водосховища у сучасний період // Современные проблемы гидроэкологии. Перспективы, пути и методы решений: Материалы III межд. конф., Херсон, май, 2012. — Херсон, 2012. — С. 376—378.
6. *Audry S., Grosbois C., Bril H., Schäfer J.* Post-depositional redistribution of trace metals in reservoir sediments of a mining/smelting-impacted watershed (the Lot River, SW France) // *Appl. Geochemistry*. — 2010. — Vol. 25, N 6. — P. 778—794.
7. *Burton G.A.* Sediment quality criteria in use around the world // *Limnology*. — 2002. — N 2. — P. 65—75.
8. *Chalmers A.T., Van Metre P.C., Callender E.* The chemical response of particle-associated contaminants in aquatic sediments to urbanization in New England, U.S.A. // *J. Contam. Hydrology*. — 2007. — Vol. 91, N 1—2. — P. 4—25.
9. *Friese K., Schmidt G., Carvalho de Lena J.* Anthropogenic influence on the degradation of an urban lake — the Pampulha reservoir in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil // *Limnologica — Ecology and Management of Inland Waters*. — 2010. — Vol. 40, N 2. — P. 114—125.
10. *Gantzer P.A., Bryant L.D., Little J.C.* Controlling soluble iron and manganese in a water-supply reservoir using hypolimnetic oxygenation // *Water Res.* — 2009. — Vol. 43, N 5. — P. 1285—1294.
11. *Mann K.C., Peck J.A., Peck M.C.* Assessing dam pool sediment for understanding past, present and future watershed dynamics: An example from the Cuyahoga River, Ohio // *Anthropocene*. — 2013. — Vol. 113. — P. 76—88.
12. *Sarmiento A.M., Olhas M., Nieto J.M.* Natural attenuation processes in two water reservoirs receiving acid mine drainage // *Sci. Tot. Environ.* — 2009. — Vol. 407. — P. 2051—2062.
13. *Torres E., Ayora C., Canovas C.R.* Metal cycling during sediment early diagenesis in a water reservoir affected by acid mine drainage // *Ibid.* — 2013. — Vol. 461—462. — P. 416—429.
14. *Vukovic D., Vukovic Z., Stankovic S.* The impact of the Danube Iron Gate Dam on heavy metal storage and sediment flux within the reservoir // *Catena*. — 2014. — Vol. 113. — P. 18—23.
15. *Yang H., Rose N.* Trace element pollution records in some UK lake sediments, their history, influence factors and regional differences // *Environ. Int.* — 2005. — Vol. 31, N 1. — P. 63—75.

Відділення морської геології та
осадочного рудоутворення НАН України,
Кривий Ріг

Надійшла 14.03.16