

Composition of bottom sediments of Lake Sasyk (Ukraine) based on granulometric analysis

Maryna Krochak¹, Igor Shuraev², Oleksander Paryshev²

¹ Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

² State Scientific Institution 'Centre for Problems of Marine Geology, Geoecology, and Sedimentary Ore Formation, NAS of Ukraine' (Kyiv, Ukraine)

article info

key words

Lake Sasyk, bottom sediments, granulometric analysis, spatial distribution of fractions, silty clays, accumulation, Danube–Sasyk Canal.

correspondence to

Maryna Krochak; Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine; 55B Olesia Honchara Street, Kyiv, 01054 Ukraine, Email: mkrochak1960@gmail.com orcid: 0000-0003-4144-7098.

article history

Submitted: 18.04.2025. Revised: 19.06.2025. Accepted: 30.06.2025

cite as

Krochak, M., I. Shuraev, O. Paryshev. 2025. Composition of bottom sediments of Lake Sasyk (Ukraine) based on granulometric analysis). *GEO&BIO*, 27: 121–130. [Ukrainian, with English summary]

abstract

The aim of this study was to investigate the structure of sediments in Lake Sasyk (north-western coast of the Black Sea, Odesa Oblast, Ukraine) and the characteristics of their spatial distribution. The research was based on the results of a granulometric analysis of bottom sediment samples. To visualise the granulometric data, mathematical processing of the results was carried out using the *Surfer* graphical modelling software, and distribution maps of clay, silt, sand, and coarse-grained fractions across the lake's area were created. The coarse-grained fraction is represented by shell detritus of various sizes and is found only in the western part of the northern section of the lake. An increased sand fraction content was recorded in the northern part of the lake, near the inflows of the Sarata and Kogylnyk rivers, where solid discharge deposition and sediment accumulation occur in an underwater alluvial cone. The predominant bottom sediments of the lake consist of silt-clay and clayey silt. The content of the sandy fraction (grains 0.05–2 mm in size) is minimal and does not exceed a few per cents. The silt fraction (grains 0.005–0.05 mm) varies between 22% and 64%. The saturation of mud deposits with clastic material (sand and silt fractions) decreases towards the central parts of the lake, forming a zonal-concentric distribution pattern typical of lake basins. The distribution of the clay fraction is significantly influenced by the influx of fine-grained clay material transported by Danube waters entering the lake through the Danube–Sasyk Canal in its south-western part. A zone of intense clay sediment accumulation was identified, starting near the canal's mouth and extending from the south-west to the north-east, reaching the central part of the lake and further north. This pattern of clay fraction transport and deposition is controlled by the prevailing lake currents and contributes to the overall silting of the lake's water area. Additional electron microscopy and X-ray spectral studies of the sediments revealed a significant concentration of sulphate ions in the near-bottom waters, which is sufficient for gypsum sedimentation.

Склад донних відкладів оз. Сасик (Україна) за даними гранулометричного аналізу

Марина Крочак, Ігор Шураєв, Олександр Паришев

Резюме. Метою роботи є дослідження структури донних відкладів озера Сасик (північно-західне узбережжя Чорного моря, Одеська область, Україна) та особливостей їхнього просторового розподілу. Дослідження ґрунтується на результатах гранулометричного аналізу проб поверхневого шару відкладів. Для візуалізації табличних даних гранулометрії проведено математичну обробку результатів за програмою графічно-математичної обробки наукових даних *Surfer* та створено схеми розподілу глинистої, алевритової, піщаної та грубоуламкової фракції по акваторії озера. Грубоуламкова фракція представлена черепашковим детритом різного розміру та поширена лише в західній частині Північного Сасика. Підвищений вміст піщаної фракції зафіксовано в північній частині озера, поблизу місць впадіння річок Сарата та Когильник, де відбувається розвантаження твердого стоку та акумуляція осадового матеріалу у підводному конусі виносу. Основну масу донних відкладів складають алевритисті глини та глинисті алеврити. Вміст піщаної складової (зерна розміром 0,05–2 мм) є мінімальним і не перевищує кількох відсотків. Алевритова фракція (зерна розміром 0,005–0,05 мм) варіюється в межах 22–64%. Насиченість мулів уламковим матеріалом (піщаною та алевритовою фракціями) зменшується у напрямку до центральних частин озера та має зонально-концентричний характер, що є типовим для озерних басейнів. На розподіл глинистої фракції значний вплив має стік дрібнодисперсної глинистої речовини, що потрапляє у водойму з дунайськими водами через канал Дунай-Сасик у південно-західній частині озера. Встановлено зону інтенсивного накопичення глинистих мулів, яка починається біля гирла каналу та поширюється з південного заходу на північний схід, у центральну частину озера, а далі на північ. Такий характер транспортування та акумуляції глинистої фракції контролюється напрямком переважаючої течії в озері та сприяє загальному замулюванню його акваторії. Додаткові електронно-мікроскопічні та рентгеноспектральні дослідження речовини відібраних проб виявили значну концентрацію сульфат-іону в придонній воді, що є достатньою для осадження гіпсу.

Ключові слова: озеро Сасик, донні відклади, гранулометричний аналіз, просторовий розподіл фракцій, алевритові мули, акумуляція, канал Дунай-Сасик.

Адреса для зв'язку: Марина Крочак; Інститут геологічних наук НАН України; вул. О. Гончара, 55Б, Київ, 10054 Україна; Email: mkrochak1960@gmail.com, orcid: 0000-0003-4144-7098.

Вступ

Озеро Сасик — найбільше на сьогоднішній день прісноводне озеро на південно-західному узбережжі Чорного моря на півдні Одеської обл. До 1980 р. Сасик був солоним лиманом, що сполучався з морем Кундуцькою протокою. Окрім того, піщаний бар, що обмежував лиман від моря, часто проривався звивистими тимчасовими протоками, що сприяло потраплянню значних обсягів морської води в лиман. Постійний водообмін з морем обумовлював природний гідродинамічний режим у лимані та визначав всі особливості гідрохімічного, гідробіологічного і гідрологічного режимів водного басейну [Lozovitskyi 2013]. У період 1978–1980 рр лиман Сасик було переведено у стан водосховища з метою створення прісноводної водойми та використання її води для зрошення прилеглих сільськогосподарських угідь. Була побудована гребля, яка відокремилася Сасик від морської води, та побудований канал Дунай-Сасик, що постачав прісну воду з р. Дунай в озеро [Shuisky & Stoyan 2011].

Але, на жаль, вже на початку створення озера почали проявлятися негативні наслідки перебудови водойми. Це призвело до підтоплення, заболочення прилеглих до Сасика територій, абразії берегів, забруднення наявних підземних джерел питного водопостачання та низки інших екологічних проблем [Vasenko 2005]. Як зазначає дослідниця екологічного стану озера Сасик Н.О. Іванова [Ivanova 2010], «у водосховищі відбувається мулонакопичення та акумуляція забруднювачів у біоті та донних відкладах. У роки відносно інтенсивного водообміну за рік з дунайською водою у водойму надходило близько 130 тис. т забруднюючих речовин. Орієнтовні об'єми їх накопичення до другої половини 90-х рр. склали близько 1,7 мли т.» Все це негативно відображається на екосистемі озера Сасик. На сьогодні здійснюється моніторинг

хімічного складу води Сасику, її якості, вмісту завислих речовин тощо [Vasenko 2005; Ivanova 2010, 2018; Lozovitskyi 2013; Liashenko & Zorina-Sacharpva 2017].

Речовинний склад донних відкладів озера вивчений недостатньо. З метою дослідження літологічних особливостей донних відкладів співробітниками Державної наукової установи «Центр проблем морської геології, геоecології та осадового рудоутворення НАН України» протягом польових сезонів 2018–2019 та 2021 рр. були відібрані проби з поверхневої частини відкладів та встановлені закономірності поширення в них важких металів [Shuraiev *et al.* 2023]. Завданням даної роботи є вивчення характеру розподілу різних типів осадових утворень по площі озера та факторів, що сприяють їх транспортуванню та накопиченню в різних частинах водойми.

Методи

Фактичним матеріалом для виконання даної роботи є 9 зразків з проб, відібраних з донних відкладів з Південної частини оз. Сасик у 2018 та 2019 рр., та 7 зразків з ділянки Північного Сасику у 2021 р. На рис. 1 показано точки розташування робочих станцій. Автори здійснили відбір проб за сіткою точок з моторного човна за допомогою донного «Ковша Ван Віна», використовуючи орієнтування за GPS навігацією. Глибина відбору проб складала 20–30 см. Підготовка зразків до аналізу проводилася в лабораторних умовах. Процес містив очистку від детриту, знешламлення, сушку та дроблення зразків [Shuraiev *et al.* 2023].

Гранулометричний аналіз зразків Північної частини озера виконаний у відділі геології моря та осадового рудоутворення Державної наукової установи «Центр морської геології, геоecології та осадового рудоутворення НАН України» ситовим аналізатором РЛУ-2 та методом відмучування за методикою І. О. Сучкова та Н. О. Федорончука [Fedoronchuk *et al.*, 2001, 2015]; аналітики: Т. Б. Кулага, Є. І. Костючик.

Гранулометричний аналіз зразків з Південного Сасику був виконаний Стадниченко С.М. на лазерному седиментографі Mastersizer 2000 з модулем рідинної дисперсії Hydro 2000S (Malvern Instruments, UK) у Лабораторії фізичних методів дослідження Центра колективного користування Інституту геологічних наук НАН України (ІГН НАН України).

Рентгеноспектральний мікроаналіз хімічних елементів та фото мінералів зроблені на електронному скануючому мікроскопі (SEM JEOL JSM-6490 LV) в Лабораторії фізичних методів дослідження Центра колективного користування ІГН НАН України старшим науковим співробітником В. В. Пермяковим.

Для візуалізації табличних даних гранулометрії проведено математичну обробку результатів у програмі графічних побудов *Surfer* та створено схеми розподілу глинистої, алевритової, піщаної та грубоуламкової фракцій по акваторії озера.

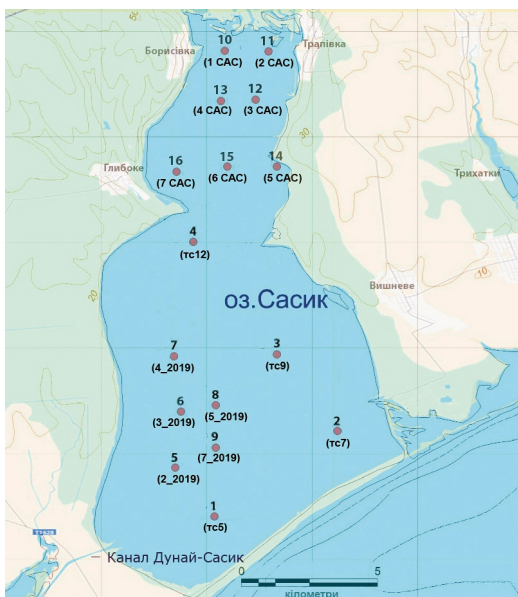


Рис. 1. Схема розміщення станцій відбору проб донних відкладів оз. Сасик. Цифри — номери зразків для дослідження, позначення в дужках — назва станцій.

Fig. 1. Layout of sampling stations for bottom sediments of Lake Sasyk. The numbers indicate the numbers of the studied samples; the names of the stations are in brackets.

Результати

Даних щодо стратиграфії розрізу донних відкладів оз. Сасик вкрай недостатньо. За даними поодиноких свердловин, що розкривають розріз, зверху залягають зволожені супіщані мули незначної товщини з домішкою рослинних решток, які переходять з глибиною у суглинисті мули, товщина яких змінюється від 0,7 до 7 м. Під мулами залягають верхньоплейстоценові супіски. Мули, ймовірно, сформувалися у каламітський час [Shnyukov 1984]. За даними макроскопічного дослідження проб, відібраних в різних частинах оз. Сасик, донні відклади представлені в'язкими сіро-чорними, чорними мулами, часто з домішкою черепашкового детриту. З наближенням до пересипу, в південно-західній частині озера, вони складені пісками, деколи мулистими, з рясною фауною. Піски також спостерігаються в прибережній ділянці поблизу сіл Борисівка та Лиман, де утворюють невеликі мозаїчні ділянки [Shuraiev *et al.* 2023].

Для вивчення складу донних відкладів оз. Сасик з різних частин водойми було відібрані зразки та проаналізовано їх на вміст фракції. Результати гранулометричного аналізу проб показано в Таблицях 1, 2.

При аналізі вмісту у пробах окремих фракцій була виявлена певна диференціація відкладів за їх структурою. Провідною класифікаційною структурною ознакою для теригенних порід є розмір часток, що їх складають. При визначенні структури традиційно використовується звичайна лінійна десяткова розмірна шкала, де границею пелітових та алевритових часток є розмір 0,01 мм, піщаних та алевритових — 0,1 мм. Вона є зручною, але будучи формально механічною, не відображає особливостей транспортування часток та осадконакопичення.

Більш наближеною до реальної ситуації при транспортуванні та накопиченні відкладів є інша шкала, де границями між уламковими фракціями є природні межі [Alekseev 2003, Logvinenko & Sergeeva 1986]:

- 1) 0,004 або 0,005 мм — межа між пелітовими (глинистими) і алевритовими частками; в осадженні дрібніших частинок інтенсивно проявлені процеси коагуляції;
- 2) 0,05 або 0,0625 мм — межа між класами алевритових і піщаних порід, обумовлена механізмом їх перенесення (суспензія — сальтація), яка також проявлена першим дефіцитом фракцій 0,03–0,06 мм, характерним для руйнування мінералів.
- 3) 2,0 мм — межа між пісками і гравієм, частково обумовлена також механізмом перенесення і, головне, підкреслена другим дефіцитом фракції 2,4–4,0 мм, обумовленим руйнуванням уламків порід (більші фракції майже не містять уламків мінералів) [Alekseev 2003].

Таблиця 1. Результати гранулометричного аналізу проб південної частини оз. Сасик. В таблиці показаний відсотковий вміст різних фракцій

Table 1. Results of granulometric analysis of sediment samples from the southern part of Lake Sasyk. The table shows the percentage content of different fractions

№ п/п	№ станцій	Фракція в мм								
		<0,001	0,001–0,005	Глини <0,005	0,005–0,01	0,01–0,05	Алеврити 0,005–0,05	0,05–0,1	>0,1	Піски
1	тн5	34,09	16,46	50,55	11,21	35,78	46,99	2,46		2,46
2	тн7	36,79	19,22	56,01	13,73	28,96	42,69	1,30		1,30
3	тн9	40,50	20,17	60,67	14,67	24,09	38,76	0,57		0,57
4	тн12	47,06	10,74	57,08	8,70	27,96	36,66	5,32	0,22	5,54
5	2_2019	42,47	16,98	59,45	10,03	28,96	38,99	1,56		1,56
6	3_2019	21,48	15,38	36,84	13,92	46,98	60,90	2,24		2,24
7	4_2019	36,01	18,05	54,06	13,57	30,23	43,80	1,48	0,66	2,14
8	5_2019	41,64	19,39	61,03	13,31	25,23	38,54	0,43		0,43
9	7_2019	29,67	22,19	51,86	14,81	32,02	46,83	1,31		1,31

Вихідні дані фракційного аналізу проб були перераховані на їх структурні складові, відповідно структурної класифікації, наведеної вище: глини (< 0,005 мм), алевритові частки (0,005–0,05 мм), піщані частки (0,05–2,0 мм) та крупну фракцію складових розміром 2–10 мм і більше. В нашому випадку, остання фракція відповідає, здебільшого, черепашковому детриту

Таблиця 2. Результати гранулометричного аналізу проб північної частини оз. Сасик
 Table 2. Results of granulometric analysis of sediment samples from the northern part of Lake Sasyk

№ зразка	№ станції	Вага проб, г	Фракція, мм					Черепашковий детрит					Пісок				Алерит		
				>10	10-5	5-3	3-2		2-1	1-0,5	0,5-0,315	0,315-0,25		0,25-0,16	0,16-0,063	0,063-0,05		0,05-0,01	0,01-0,005
10	1 САС	100	вага, г	2,329	4,319	6,090	1,395		10,218	8,454	8,409	5,562	10,365	13,921	0,358	20,215	4,825		
			вага, %	2	4	6	1	13	10	9	8	6	10	14	57	0	20	5	25
11	2 САС	100	вага, г	1,053	1,066	0,757	0,067		0,851	0,663	0,880	1,941	15,670	73,154	1,409	0,453	0		
			вага, %	1	1	1	0	3	1	1	1	2	16	73	94	1	0	0	1
12	3 САС	100	вага, г	2,657	6,804	4,514	0,387		7,053	8,294	6,424	4,953	31,190	26,429	0,034	0,080			
			вага, %	3	7	5	0	15	7	8	6	5	31	26	83	0	0	0	0
13	4 САС	50	вага, г	4,930	22,754	14,556	1,007		4,839	0,480	0,328	0,143	0,228	0,416	0,040	0,258			
			вага, %	10	46	29	2	87	10	1	1	0	0	1	13	0	1	0	1
14	5 САС	40	вага, г	0,209	0,040	0,163	0,000		0,230	0,170	0,127	0,098	0,174	0,295	0,058	24,167	15,760		
			вага, %	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	60	39	99
15	6 САС	50	вага, г	3,905	0,847	0,443	0,090		0,542	0,320	0,312	0,167	0,227	0,545	0,064	28,720	18,030		
			вага, %	8	2	1	0	11	1	0	0	0	0	1	2	0	56	36	92
16	7 САС	100	вага, г	5,126	2,263	1,747	0,050		1,454	1,360	4,859	7,723	31,487	13,125	0,257	20,245	9,095		
			вага, %	5	2	2	0	9	1	1	5	8	31	13	59	0	20	9	29

та цілим мушлям двостулкових молюсків. Макроскопічний польовий опис зразків, що використовувалися для гранулометричного аналізу, та фактична їхня назва після проведення аналізу представлені в Таблиці 3. За нашими результатами майже в усіх мулах присутній значний домішок алевритового компоненту.

Таблиця 3. Склад донних відкладів оз. Сасик за макроскопічним описом та за даними гранулометричного аналізу

Table 3. Sediment composition of Lake Sasyk according to macroscopic description and granulometric analysis data

№ зразка	№ станції	Назва донних відкладів за макроскопічним описом	Назва донних відкладів за гранулометричним складом
1	тс5	Мул черно-бурий рідкий	Алеврито-глинисті відклади (глина/ алеврит 51%/45%)
2	тс7	Мул чорний рідкий	Алеврито-глинисті відклади (глина/алеврит 56%/43%)
3	тс9	Мул чорний рідкий	Глина сильно алевритова (глина/алеврит 60%/38%)
4	тс12	Мул чорний рідкий	Глина сильно алевритова (глина/алеврит 57%/36%)
5	2_2019	Мул текучий, сіро-чорний, в'язкий, сіро-чорний, в'язкий	Глина сильно алевритова (глина/алеврит 59%/38%)
6	3_2019	Мул черно-сірий, з домішками мушель, в'язкий	Алеврит глинистий (алеврит/глина 60%/36%)
7	4_2019	Мул рідкий, сіро-чорний, в'язкий	Алеврито-глинисті відклади (глина/алеврит 54%/43%)
8	5_2019	Мул рідкий, сіро-чорний, в'язкий, темний	Алеврито-глинисті відклади (глина/алеврит 61%/39%)
9	7_2019	Мул текучий, сіро-чорний, в'язкий	Алеврит глинистий (алеврит/глина 51%/46%)
10	1 САС	Глина сіра, світло-сіра під шаром черепашкового детриту	Пісок алевритовий з черепашковим детритом (пісок/ алеврит/ черепашковий детрит 57%/27/13%)
11	2 САС	Пісок сірий, дрібнозернистий с цілими ступками молюсків	Пісок слабо алевритистий (алевриту 2%)
12	3 САС	Пісок черепашковий	Пісок з черепашковим детритом (пісок/ черепашковий детрит 83%/15%)
13	4 САС	Черепашник	Черепашник піщаний (черепашковий детрит/пісок 87%/13%)
14	5 САС	Мул в'язко текучий з черепашковим детритом	Глина алевритова (глина /алеврит/пісок 54/28/2%)
15	6 САС	Мул текучий чорний з черепашковим детритом	Глина алевритова з черепашковим детритом (глина/ алеврит/ черепашковий детрит 64/28/11%)
16	7 САС	Мул в'язко пластичний темно-сірий з черепашковим детритом	Пісок алевритовий з черепашковим детритом (пісок/ алеврит/ черепашковий детрит 59%/29/9%)

Візуалізація та математична обробка наукових результатів у картографічному вигляді дали змогу виявити певні закономірності у розподілі глинистої, алевритової, піщаної та грубоуламкової фракцій в донних відкладах по площі озера (рис. 2).

За нашими результатами донні відклади північної частини оз. Сасик складаються, переважно, з алевритових пісків із черепашковим детритом, тоді як біля західного узбережжя поширені піщані черепашники. У південній частині, згідно з класифікацією змішаних алеврито-глинистих порід [Atlas... 1962], відклади представлені різновидами глин, алевритів та їх сумішами, при цьому переважають більш глинисті різновиди.

Грубоуламкова фракція представлена цілими мушлями та черепашковим детритом двостулкових молюсків різного розміру, яка поширена здебільшого у західній частині Північного Сасику (рис. 2 а). За даними Шуйського [Shuisky & Stoyan 2011] біогенний фактор став відігравати помітну роль в осадконакопиченні в останні десятиріччя, що не було властивим для лиману Сасик у природному стані. Піщаний матеріал постачається в осадок озера річковим стоком та процесами берегової абразії.

Підвищені значення піщаних часток відмічаються у північній частині озера у місці впадіння річки Сарата. Тут на незначній відстані від гирла (0,5–1 км) відбувається розвантаження уламкового піщаного матеріалу у підводному конусі виносу.

За межами дії річкового стоку піщана складова в мулах мінімальна (не перевищує перші відсотки). Розподіл піщаних часток має концентрично-зональний характер зі зменшенням їх кількості від берега до центральних частин водойми (рис. 2 б). Це відповідає природній механічній диференціації речовини під час її транспортування та осадженні в басейнах озерного типу.

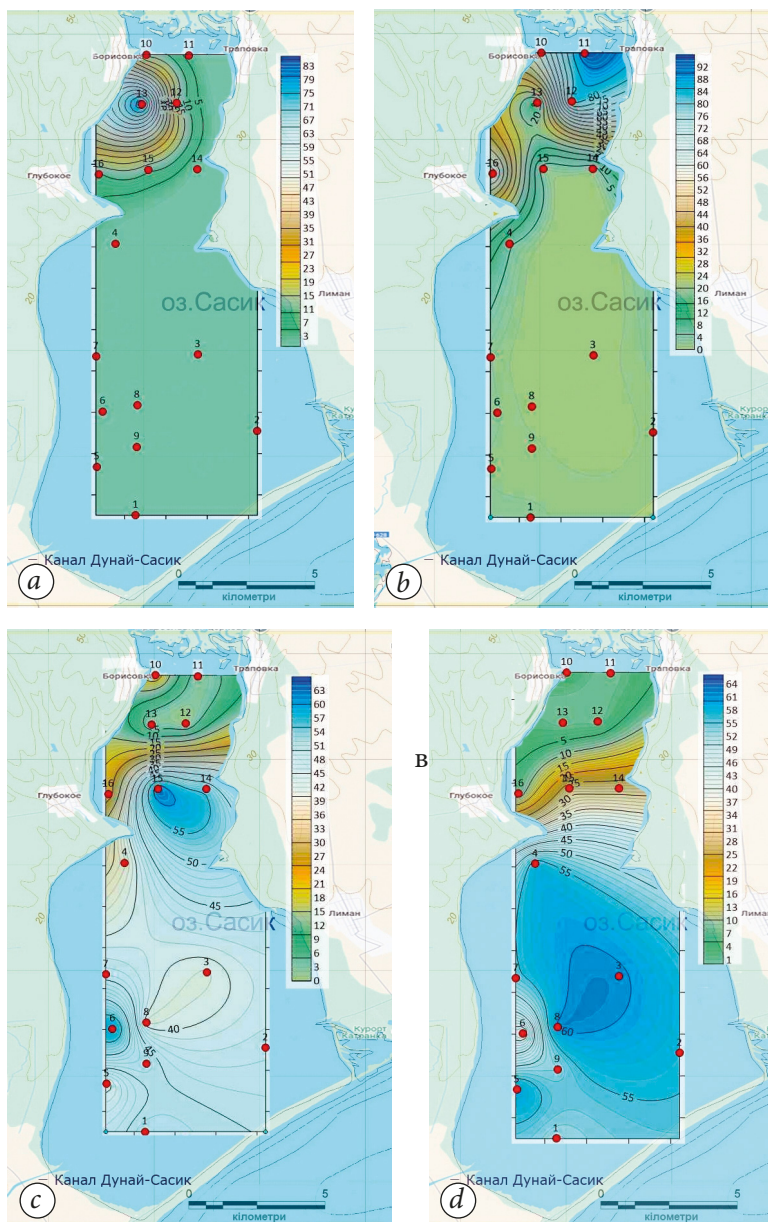
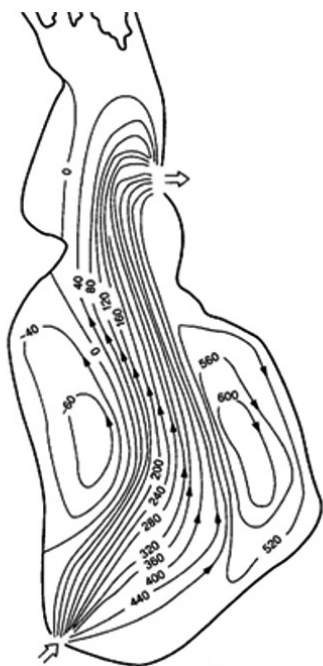


Рис. 2. Схеми розподілу фракційних компонентів донних відкладів (у відсотках) на ділянці оз. Сасик: (а) грубоуламкова фракція, (б) піщана фракція, (с) алевритова фракція, (д) глиниста фракція.

Fig. 2. Schemes of distribution of fractional components of sediments (in per cents) in the area of Lake Sasyk: (a) coarse-grained fraction, (b) sand fraction, (c) silt fraction, (d) clay fraction.

Основними типами донних відкладів оз. Сасик є глини алевритові та алеврити глинисті (рис. 2 *c-d*). У прибережних ділянках, розташованих на відстані 1–2 км від берега, переважають алеврити глинисті, в центральній частині — глини алевритові. У напрямку до центральних частин озера спостерігається збільшення глини та зменшення частки дрібно-уламкових алевритових зерен. Локальні суттєво алевритові зони відмічені у західних частинах озера, що пов'язано з розмиванням мисів, кіс та виступаючої в озеро частиною берега.

На розподіл глинистої фракції значний вплив має стік дрібнодисперсної глинистої речовини, що потрапляє у водойму з дунайськими водами через канал Дунай-Сасик у південно-західній частині озера. На схемах показана зону інтенсивного накопичення глинистих відкладів, яка починається біля гирла каналу та поширюється з південного заходу на північний схід, у центральну частину озера, а далі на північ (рис. 2 *d*). Такий характер транспортування та акумуляції глинистої фракції контролюється напрямком переважаючої течії в озері [Shuisky & Stoyan 2011] та сприяє загальному замулюванню його акваторії (рис. 3). Потік прісної води з каналу, з одного боку, розмиває прибережні алевритові накопичення в місці його впадіння, а з іншого — приносить значні обсяги завислого тонкодисперсного глинистого матеріалу, який поступово осідає в озері. Це спричиняє зміну гранулометричного складу донних відкладів у бік дрібніших фракцій та збільшення їхньої загальної маси.



За останні роки частка завислого глинистого матеріалу, що потрапляє в оз. Сасик з каналу, має тенденцію до збільшення. Непрямим доказом є результати моніторингу якості води, здійснені протягом останніх десятиліть [Lozovitskyi 2013; Ivanova 2018]. Так, воду з вмістом зважених часток з оз. Сасик у періоди 1986–1990 і 1996–2005 рр. відносили до 3 класу 5-ї категорії якості (помірно-забруднена), а вже у в періоди 1991–1995 та 2006–2012 рр. — до 5 класу, 7-ї категорії якості (дуже брудна) [Lozovitskyi 2013]. Водночас, майже завжди спостерігається домінування мінеральної частки у зависях, порівняно з органічною речовиною [Ivanova 2018].

Рис. 3. Схема циркуляція води в оз. Сасик під час дії найбільш ймовірного помірного вітру північного напрямку. Великими стрілками вказано місце впадіння каналу Дунай Сасик (знизу) і насосної станції (нагорі). Тонкі лінії з цифрами позначають потоки води та їх функції, м³/с [Shuisky & Stoyan 2011].

Fig. 3. The scheme of water circulation in Lake Sasyk during the most probable moderate north wind. Large arrows indicate the location of the Danube–Sasyk Canal (bottom) and the pumping station (top). Thin lines with numbers indicate water flows and their functions, m³/s [Shuisky & Stoyan 2011].

Увесь цій матеріал поступово акумулюється на дні озера. Це призводить до замулення водойми. За даними О. Г. Васенко [Vasenko 2005], за роки існування прісноводного Сасика лише за рахунок надходження води з Дунаю у водоймі сформувалося близько 2,5 млн т донних відкладів.

За даними електронної мікроскопії та рентгеноспектрального аналізу мінеральний склад відкладів представлений переважно глинистими мінералами. Серед уламків поширені зерна кварцу, лужних польових шпатів, а також луски біотиту. Поміж акцесорних мінералів присутні циркон (майже в усіх зразках), ільменіт, рідкісноземельні сполуки (з Os La, U, Nd, Ce, Th) (зр. 2, 4, 5, 6, 8), іноді хроміт та гематит (зр. 2, 8). Органогенна складова представлена дрібними карбонатними черепашками остракод (рис. 4) (зр. 4, 5, 6, 7, 8, 9).

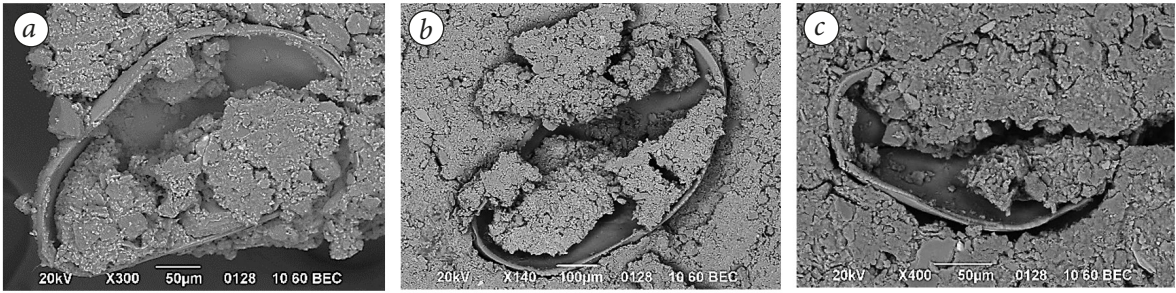


Рис. 4. Стулки черепашок остракод в глинистому мулі, SEM: (a) зразок 4 (станція тн12), (b) зразок 5 (станція 2_2019), (c) зразок 6 (станція 3_2019).

Fig. 4. Valves of ostracod carapaces in the clayey sediment, SEM: (a) sample 4 (station Tn12), (b) sample 5 (station 2_2019), (c) sample 6 (station 3_2019).

Серед аутигенних мінералів майже скрізь поширені мікроскопічні кристали гіпсу та їх зростки (рис. 5), присутні також скупчення мікрозернистого бариту, фрамбоїди піриту.

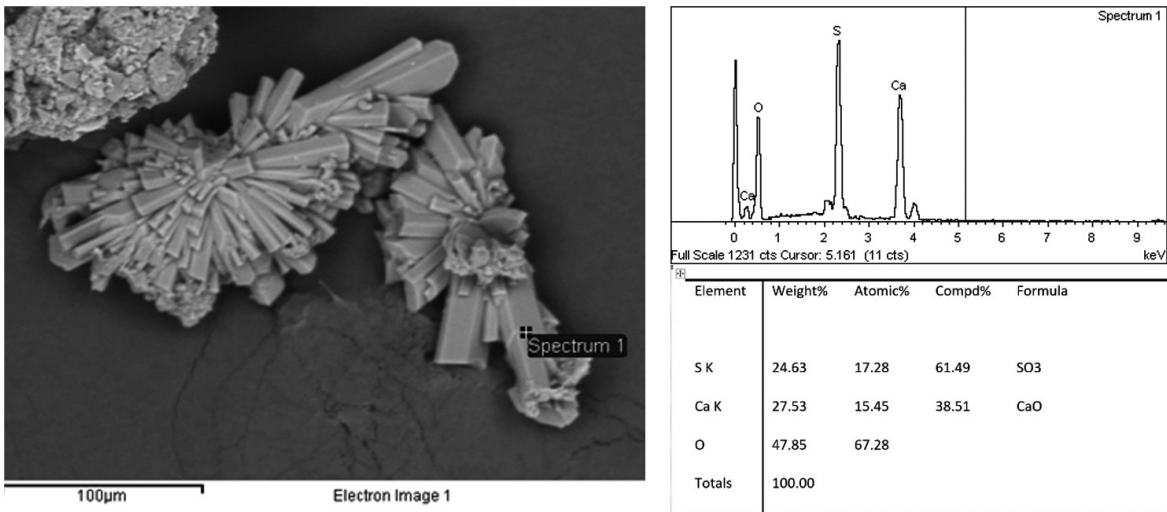


Рис. 5. Фото мікроскопічних кристалів та зростків гіпсу в зразках донних відкладів оз. Сасик та дані рентгеноспектрального хімічного аналізу (SEM, зразок 4, станція тн12).

Fig. 5. Photo of microscopic gypsum crystals and intergrowths in samples of bottom deposits of Lake Sasyk and X-ray spectral chemical analysis data (SEM, sample 4, station Tn12).

Наявність гіпсу в усіх пробах, відібраних з поверхневого шару, свідчить про значну солоність наддонних та порових вод, в яких концентрація сульфат-іонів достатня для хімічної кристалізації гіпсу. Незважаючи на той факт, що після відокремлення лиману Сасик від моря та приєднання Дунайських вод, загальна мінералізація води оз. Сасик зменшилася майже на порядок, а вміст $(SO_4)^{2-}$ в три рази (з 1364 мг/дм³ (1966–1970 рр.) до 481 мг/дм³ (2006–2012 р.) [Lozovitskyi 2013], концентрація сульфат-іону наддонних вод залишається значною. Ймовірно, на підвищений сольовий склад впливає стік високо мінералізованих дренажних і підземних вод, а також конвективна дифузія раніше накопичених морських солей в донних відкладах лиману [Liashenko & Zorina-Sacharpva 2017]. Не виключаємо, що на появу та накопичення сульфат-іону має вплив процес розкладання органіки.

Висновки

Донні відклади озера Сасик представлені, переважно, алевритовими глинами та глинистими алевритами. Наявність в них уламкових фракцій є результатом абразивної діяльності хвиль та зсувних берегових процесів. Внаслідок транспортування зворотними хвилями відбувається

диференціація матеріалу за розміром: у напрямку від берега до центральної частини озера зменшується вміст дрібноуламкової складової та зростає частка глинистого матеріалу.

Значне поширення піщаних відкладів зафіксоване у північній частині озера, у місці впадіння річки Сарата. У північно-західній частині переважають грубоуламкові осади, представлені мушлями двостулкових молюсків та їхнім детритом. Ця органогенна складова суттєво збільшила загальну масу донних відкладів за останні десятиліття.

Переважно глинистий склад осадів (за винятком прибережних зон) є характерною особливістю донних відкладів оз. Сасик. Окрім абразії та зсувів берегів, додатковим джерелом глинистої речовини після трансформації лиману в озеро стали наноси дунайських вод, що надходять через канал Дунай-Сасик. Значні обсяги тонких глинистих мулів відкладаються в місці впадіння каналу та поширюються субмеридіональною течією у завислому стані до центральної частини озера, де поступово осідають на дно та накопичуються. Це призводить до стійкого замулювання водойми.

Наявність гіпсу у більшості зразків поверхневих осадів свідчить про значну солоність наддонних та порових вод, у яких концентрація сульфат-іонів є достатньою для хімічної кристалізації гіпсу. Ймовірно, підвищений сольовий склад наддонних вод зумовлений стоком високомінералізованих дренажних і підземних вод, а також конвективною дифузією раніше накопичених морських солей із донних відкладів лиману. Можливим джерелом сульфат-іону може бути процес розкладання органіки.

Подяки

Автори щиро вдячні співробітникам Лабораторії фізичних методів досліджень ІГН НАН України: канд. геол. наук С. М. Стадніченко за проведення інструментального гранулометричного аналізу зразків на седиментографі *Mastersizer 2000* та канд. техн. наук В. В. Пермякову за виконання фото на SEM та рентгеноспектрального мікроаналізу. Також автори висловлюють подяку співробітникам відділу проблем геології моря та осадового рудоутворення Державної наукової установи «Центр морської геології, геоecології та осадового рудоутворення НАН України» Т. Б. Кулазі та Є. І. Костючику за проведення якісного гранулометричного аналізу зразків та аналітичної обробки.

Декларації

Фінансування. Дослідження виконані в рамках науково-дослідницької теми теми «Геоecотон «Чорне море — суходіл» в межах України (сучасний стан, процеси, ресурси)» (2020–2021 рр.), № державної реєстрації — 0120U100854.

Конфлікт інтересів. Автори не мають жодних конфліктів інтересів, які могли б вплинути на зміст цієї статті.

References

- Atlas... 1962. Atlas of textures and structures of sedimentary rocks. The book is in three parts. Part 1. Clastic and clayey rocks. Moscow, 1–730. [Russian]
- Alekseev, V. P. 2003. *Lithofacies analysis: Teaching-methodical instruction of sediments and self-learning in lithology*. Ural Academy of Mining & Geology, Ekaterinburg, 1–147. [Russian]
- Ivanova, N. O. 2010. Hydrological regime of the Sasyk reservoir. *Scientific Notes of the Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology*, 2 (43): 213–215. [Ukrainian]
- Ivanova, N. O. 2018. Characteristics of the sedimentation regime of the Sasik reservoir. *Current Hydroecology: a Place of Scientific Research on the Most Pressing Problems: a collection of materials*. Kyiv, 19–20. [Russian]
- Fedoronchuk, N. O., I. O. Suchkov, V. P. Reznik, V. G. Ivanov. 2001. Lithology of bottom sediments and sedimentation conditions in the North-western Black Sea shelf², *Geological Journal*, No.3: 41–52. [Ukrainian]
- Fedoronchuk, N. A., A. A. Snigirova, I. A. Suchkov. 2015. Grain composition of the Odessa sand beaches, its changes as a result of beach renourishment and influence on biota. *Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine*. Kyiv, 8: 173–180. [Ukrainian] <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146766>
- Liashenko, A. V., E. E. Zorina-Sacharpva. 2017. Hydroecological characteristics of the Sasyk liman and the Sasyk reservoir. *Hydrobiological Journal*, 1 (53): 28–46. [Russian] <https://doi.org/10.1615/HydroBJ.v53.i3.30>

- Logyinenko, N. V., E. I. Sergeeva. 1986. *Methods for Determining Sedimentary Rocks: Textbook. Manual for Universities*. Nedra, Leningrad, 1–240. [Russian]
- Lozovitskyi, P. S. 2013. Hydrology regime AND water quality estimation of lake-reservoir Sasyk in time. *Journal of Cartography*, **6**: 146–170. [Ukrainian]
- Shnyukov, Y. F. (ed.). (1984). *Geology of the Shelf of the Ukrainian SSR. Limans*. Naukova Dumka, Kyiv, 1–189. [Russian]
- Shuisky, Y. D., A. A. Stoyan. 2011. Experience of analysis of anthropogenic reorganization of the natural estuary on the northwestern coast of the Black Sea. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Integrated Use of Shelf Resources*, **1** (25): 38–48. [Russian]
- Shuraiev, I., T. Kulaha, O. Paryshev. 2023. Heavy metals in the bottom sediments of the Sasyk estuary. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*, **58**: 386–399. [Ukrainian] <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-29>
- Vasenko A. G., Lungu M. L. 2005. The assessment of the current ecological condition of the Sasyk Reservoir. *Water and Water Purification Technologies*, **1** (13): 11–15. [Ukrainian]