

ГЕОЛОГІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-63-01>

УДК 551.46-024:(28)(477)

Надійшла 16 липня 2025 р.

Прийнята 27 жовтня 2025 р.

Гранулометрична класифікація донних відкладів малих річок північного Приазов'я

Людмила Берюзкіна

мол. наук. співробітник, ДНУ «Центр проблем морської геології, геоелекології та осадового рудоутворення НАН України», Кривий Ріг, Україна,
e-mail: lkurazyeyeva@gmail.com,  <http://orchid.org/0000-0002-7444-6860>

В статті проаналізовано напрацювання вчених Європи та США в сфері дослідження морських донних відкладів, їх класифікації та картографування морського дна за гранулометричною приналежністю. Розмір зерен є ключовою характеристикою в дослідженнях донних відкладів. Існує велика кількість підходів до класифікації гранулометричного складу, однак більшість з них створено для осадових порід або ґрунтів, а не відкладів, тому постає питання вибору відповідної методики для опису саме донних осадів. Визначення меж гранулометричних фракцій загально прийняті та є спільними як для уламкових осадових порід, так і для відкладів, наведені в шкалі Вентворта. На основі цих фракцій відбувається укрупнення в так звані агрегати осаду: глина, мул, пісок, гравій. А вже шляхом співвідношення цих агрегатів визначають гранулометричні класи. Найпоширенішою серед дослідників донних відкладів є класифікація Роберта Фолка та її модифікації. Протягом останніх десятиліть відбулось значне укрупнення прибережних донних відкладів Азовського моря, в тому числі і в пригирлових ділянках річок. На сьогодні мулисті фракції переважно відсутні, або мають незначну відсоткову частку. Проте кількість частинок розміром більше 2 мм значно зросла. Таким чином попередньо описані підходи до класифікації азовських донних відкладів втратили свою актуальність. Тому для характеристики донних відкладів північного Приазов'я було використано спрощену класифікацію Фолка, яка складається з одинадцяти класів та представлена через тричленну залежність. Наведено порівняння традиційного для українських літологічних досліджень поділу на псефіти, псаміти, алеврити, пеліти з поділом на гранулометричні агрегати осаду за схемою Фолка. Засобами мови програмування Python створено шаблон тернарної діаграми розподілу на гранулометричні класи осаду. Обґрунтовано зроблено висновки про те, що сучасні літологічні дослідження в Україні потребують структурованих рекомендацій щодо інтерпретації та подання результатів, затвердження перекладів до термінів, запозичених з англійської літератури з метою інтеграції до європейської наукової спільноти.

Ключові слова: гранулометричний аналіз, донні відклади, тричленна гранулометрична класифікація, гранулометричні класи, гранулометричні агрегати, класифікація Фолка, малі річки, Азовське море.

Як цитувати: Берюзкіна Людмила (2025). Гранулометрична класифікація донних відкладів малих річок північного Приазов'я. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, (63), 12-22. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-63-01>

In cites: Berozkina Liudmyla (2025). Granulometric classification of bottom sediments of small rivers of the northern Azov Sea region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology*, (63), 12-22. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-63-01> [in Ukrainian]

Вступ. Питання класифікації донних відкладів за гранулометричним складом на сьогодні недостатньо висвітлене у вітчизняній літературі. Всі існуючі підходи запозичені з класифікації власне осадових порід або ж з класифікації ґрунтів.

Гранулометричний склад – одна з базових класифікаційних ознак дисперсних порід. Однак є суттєві відмінності у визначенні меж фракцій, а відтак, і складності кореляції традиційних для України та закордонних класифікаційних схем. Всі класифікації зарубіжних авторів західного світу опираються на шкалу Вентворта або ж так звана таблиця розміру зерен [1]. Сучасні дослідження та методичні рекомендації базуються на характеристиці донних відкладів через тричленну залежність [2-4].

Академік Шнюков Е.Ф. у своїх працях [5]

пропонував використовувати тричленну гранулометричну класифікацію для характеристики донних відкладів Азовського моря, відповідно до якої бралось співвідношення відсоткового вмісту псамітів, пелітів та алевритів. Однак, на сьогодні виникають труднощі щодо застосування цього підходу до типізації сучасних донних відкладів, оскільки отримані дані гранулометричного аналізу демонструють наявність вагової частки псефітової фракції (в більшості проб близько половини відсоткового складу), яка не враховується в згаданій класифікації, оскільки донний матеріал, який опрацьовувався під час досліджень Шнюкова та інших був дрібнорозмірним, тобто в ньому була відсутня псефітова фракція. На основі цього будуються наступні твердження:

- Протягом останніх 60 років грануломет-

ричний склад донних відкладів Азовського моря суттєво змінився в бік укрупнення від різкого переважання пелітової і алевритової фракції до домінування псамітової та псефітової фракції.

- Постає питання у підборі відповідного підходу до класифікації донного осаду на основі наявного гранулометричного складу.

Номенклатура, що описує розподіл текстури осаду, важлива для геологів та седиментологів, оскільки розмір зерен є найважливішою характеристикою осаду. Традиційно геологи поділяли осади на чотири фракції розмірів, що включають гравій, пісок, мул та глину, та класифікували ці осади на основі співвідношень різних пропорцій фракцій. Визначення фракцій давно стандартизовані за шкалою градацій, описаною Вентвортом. Зокрема, згідно зі шкалою градацій Вентворта, частинки розміру гравію мають номінальний діаметр 2 мм; частинки розміру піску мають номінальний діаметр від <2 мм до >62,5 мкм; частинки розміру мулу мають номінальний діаметр від <62,5 мкм до >4 мкм; а глини - <4 мкм [1, 4].

Хоча для опису приблизного співвідношення між фракціями розмірів було прийнято кілька схем класифікації, більшість седиментологів використовують одну з систем, описаних або Шепардом [6-8], або Фолком [9-11]. Оригінальна схема, розроблена Шепардом, використовувала одну потрійну діаграму з піском, мулом та глиною в кутах для графічного відображення відносних пропорцій між цими трьома агрегатами у вибірці. Однак ця схема не враховує осади зі значною кількістю гравію. Тому схема класифікації Шепарда була згодом змінена шляхом додавання другої потрійної діаграми для врахування гравійної фракції [12].

Система, розроблена Фолком, також базується на двох трикутних діаграмах, але вона має 21 основну категорію та використовує термін «mud» (визначений як мул плюс глини). Структури в трикутниках обох систем відрізняються, як і акцент, що робиться на гравії. Наприклад, у системі, описаній Шепардом, гравійні осади містять понад 10 відсотків гравію; у системі Фолка злегка гравійні осади містять лише 0,01 відсотка гравію. Схема класифікації Фолка наголошує на гравії, оскільки його концентрація характеризує найвищі швидкості течії в момент осадження, а також максимального розміру зерен доступного детриту; схема класифікації Шепарда наголошує на співвідношенні піску, мулу та глини, оскільки вони відображають сортування та перевідкладення [9].

Геологічна служба Сполучених Штатів (USGS) наводить такі пояснення термінів, які використовуються в гранулометричному аналізі:

Ступінь осаду (sediment grade; український аналог терміну – фракція) – це група осадових зерен (ідентифікованих за допомогою аналізу розміру зерен), що є частиною класифікаційної послідовності з 23 ступенів, кожен з яких має діапазон розміру зерен у міліметрах, що подвоюється зі збільшенням діаметра зерен (схема, розроблена Удденом, 1914). Ступені, засновані на цій схемі, були названі Удденом (1914), Вентвортом (1922), а також Блером і Макферсоном (1999). Ступені, виражені в міліметрах, були перетворені на шкалу Фі Крум-Бейном (1936). Ступені базуються лише на розмірі зерен. Вони не обов'язково мають інтерпретаційне значення. Малоімовірно, що природний осад, описаний як клас осадових порід, представлений лише одним ступенем.

Комплексний ступінь осаду (composite sediment grade) – термін, запропонований для опису групи осадових зерен, утворених шляхом об'єднання від двох до семи ступенів осаду у комплексні ступені осаду, щоб спростити класифікацію ступенів Уддена, Вентворта та Блера та Макферсона, а також додати інтерпретаційне значення до класифікації (наприклад, грубозернистий пісок рухається як донний нанос, а дрібнозернистий пісок рухається у зависі).

Агрегат осаду (sediment aggregate): Вентворт згрупував осадові породи в один із чотирьох агрегатів: глини (clay), мул (silt), пісок (sand) та гравій (gravel). Фолк об'єднав глину та мул у агрегат грязь (mud). Агрегати можуть зустрічатися як природні класи осаду. Агрегати мають інтерпретаційне значення (наприклад, зерна мулу та гравію рухаються по-різному та відіграють різні екологічні ролі на морському дні).

Клас осаду (sediment class) – природна суміш зерен осадових порід. Клас осаду (на основі аналізу розміру зерен) визначається не певним діапазоном розмірів зерен (як у визначенні ступеню чи агрегату), а ваговими відсотками агрегатів та композитних класів, які він містить. Класи осаду мають інтерпретаційне значення. Вентворт класифікував природні осади на 10 класів осаду. Він визначив класи за ваговим відсотком кожного з чотирьох агрегатів (глина, мул, пісок, гравій) в осаді. Фолк класифікував природні осади на п'ятнадцять текстурних класів на основі вагових відсотків трьох агрегатів (грязь, пісок, гравій) в осаді. Класи Фолка можна змінювати та збільшувати їх кількість, додаючи терміни, що описують середній розмір зерен як гравійних, так і піщаних заповнювачів, виражений у вигляді класів (наприклад, гальковий крупнозернистий пісок), співвідношення мулу до глини та ступінь сортування [4].

Кожен осад являє собою суміш зерен різного

розміру. Існують різні визначення термінів, що використовуються для позначення різних розмірів окремих зерен, і аналогічно різні визначення термінів, що використовуються для опису відносних пропорцій зерен різних розмірів. Проте саме класифікація за Фолком лягає в основу досліджень відкладів морського дна. Вона поділяє зерна на грязь, пісок і гравій на основі їх діаметра з межею між зернами грязі та піску 63 мкм (0,063 мм) та межею між зернами піску та гравію 2 мм. Відносна частка зерен у трьох категоріях потім використовується для опису осаду і відображається на діаграмі, яку зазвичай називають «трикутником Фолка» [12].

Класифікацію осадових порід Фолка кілька разів спрощували з метою картографування європейських морських відкладів у регіональних масштабах 1:250 000 та 1:1 000 000. Британська геологічна служба (BGS) об'єднала 15 класів Фолка в 11 або 4 класи. Під час цього процесу нижню межу для розпізнавання гравію було підвищено з 0,01 вагового відсотка Фолка до 1, а потім до 5 вагових відсотків, а межу між піщаним мулом та мулистим піском було перевизначено. Цей підхід зменшував вміст гравію в осаді та наголошував на вмісті мулу. Розділення між осадом з вмістом гравію менше 1% та тим, що містить 1–5% гравію, було вилучено для серії карт BGS 1:1 000 000. Окрім об'єднання класів, важливо зазначити, що критерії розміру частинок, що використовуються для визначення цих класів, відрізняються від критеріїв звичайного трикутника Фолка. Основна відмінність полягає у розмежуванні мулистих пісків від піщаних мулів, де співвідношення піску до грязі становить 1:4; тобто осад може містити до 79,9% піску, а при 20,1% грязі на морському дні він все ще матиме характеристики середовища існування « грязь та піщана грязь » [4, 13].

Європейська мережа морського спостереження та даних (EMODnet) використовує модифіковану класифікацію Фолка, подібну до класифікації BGS, описаної Лонгом, для картографування осадових порід морського дна в масштабах 1:250 000 та 1:1 000 000. Для своїх досліджень науковці проекту EMODnet спростили 15 класів осадових порід Фолка до 6 або 4 класів та додали клас «скелі та валуни». Карти європейських морів EMODnet показують розподіл донних відкладів, використовуючи такі п'ять класів: від грязі до мулистого піску, пісок, змішаний осад, грубий осад і каміння та валуни. На сьогодні такий підхід стандартизований для європейських досліджень донних відкладів [14-18].

Класифікація осадових порід Фолка ідентична класифікації «неконсолідованого мінерального субстрату» Стандарту класифікації прибережної та морської екологічної зони (СМЕСС; Федеральний комітет географічних даних, 2012).

СМЕСС зберігає всі порогові значення вмісту грязі, піску та гравію, запропоновані Фолком для класифікації осаду. Основна відмінність між цими двома класифікаціями полягає у зміні термінології, що виникла внаслідок перейменування 15 класів осаду Фолка на групи та підгрупи субстратів СМЕСС [4].

Таким чином, саме модифікації класифікації Фолка є найбільш поширеними в дослідженнях західних вчених з геології, літології, картографії морського дна, екології та дотичних наук.

Методи. Гранулометричний аналіз проводиться ситовим методом у сухий спосіб. В ході аналізу вихідні проби розділено на дванадцять фракцій таких розмірностей: +10, -10+5, -5+3, -3+2, -2+1, +0,45, +0,315, +0,25, +0,1, +0,063, +0,04, -0,04. Отримані результати було згруповано в класи відповідно до двох класифікацій. За В. Т. Фроловим: об'єднано в псефіти, псаміти, алеврити та пеліти. За Робертом Фолком: поєднано в гравій (gravel), пісок (sand), грязь (mud).

Для графічного відображення результатів, використовувалась бібліотека мови програмування Python Matplotlib [19] з розширенням MplTern [20].

Опрацьовано тридцять дев'ять проб донних відкладів, відібраних у 2017, 2018 та 2021 роках з підводного конусу виносу тимчасового водотоку балки Петрівська, узбережної ділянки між містами Бердянськ та Приморськ, з річок Обитична, Солона, Мокра Білосарайка, Комишуватка (рис. 1). Перед проведенням аналізу проби було висушено та відібрано наважку 150 грам методом квартування.

Результати та обговорення. За результатами аналізу використаних джерел для подання результатів гранулометричного аналізу було обрано спрощену модель Фолка (рис.2 а). Однак даний трикутник – це не масштабоване зображення і використовувати його як основу для тернарної діаграми неможливо. З метою спрощення процесу класифікації наявного матеріалу засобами бібліотеки MplTern [20] для мови програмування Python було створено масштабований шаблон, який коректно відображає співзалежність компонентів (рис. 2 б).

Потрібно перекласти терміни, які використовуються Фолком для опису його класифікації. Gravel і Sand мають сталі відповідники в українській мові та літології – це гравій та пісок. Однак термін Mud має прямий переклад – бруд. В інтерпретації Фолка це суміш глини (clay) та мулу (silt), відповідника такому терміну в українській науковій літературі автором не знайдено. А похідне слово «muddy», яке використовується в на-

звах класів на трикутнику перекладається, як «каламутний». Тому виникає декілька варіантів перекладу слова “mud” – це бруд, каламуть, грязь. Проте словник геологічних термінів [21]

використовує “mud” для перекладу терміну «грязь» (у значенні лікувальні грязі та бурова чи природна грязь). А відповідно до тлумачного словника Кембріджського університету [22] та



Рис. 1. Місця відбору проб донних відкладів / Fig. 1. Sampling places of bottom sediments

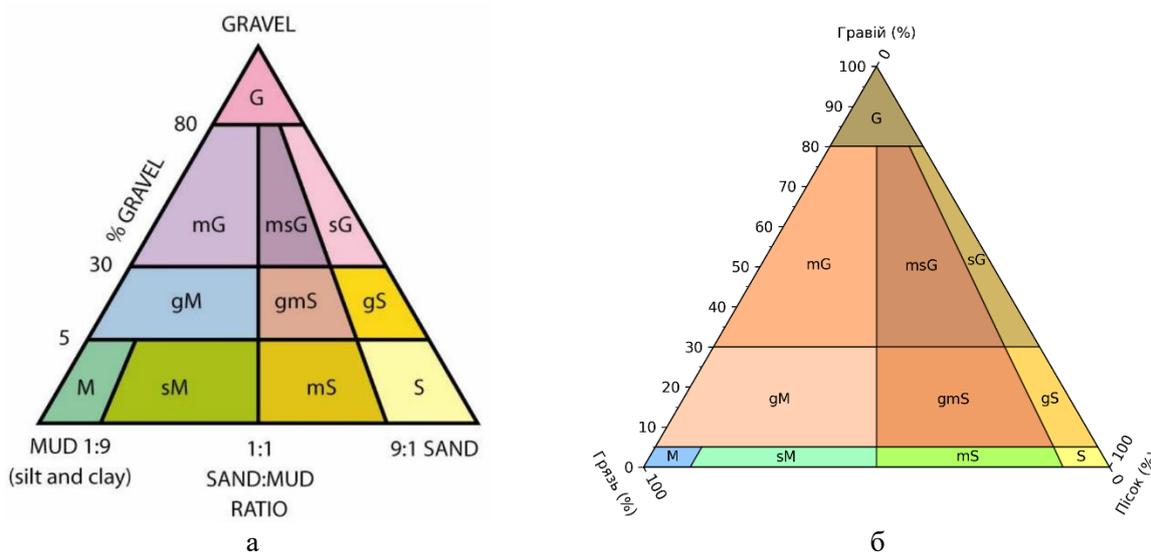


Рис. 2. Спрощений трикутник Фолка: а – немасштабований рисунок [13];

б – масштабована тернарна діаграма /

Fig. 2. Simplified Folk's triangle: a – unscaled picture; b – scalable ternary plot

тлумачного словника української мови [23] слова «mud» та «грязь» відповідно мають ідентичні тлумачення. Тому подаємо назви класів по Фолку англійською та українською у вигляді таблиці (табл. 1).

Досліджуваний матеріал згруповано відповідно до районів відбору проб. Результати ситового аналізу згруповано за двома методиками з метою порівняння. Перший спосіб групування на основі класифікації теригенно-уламкових порід

Назви класів на трикутнику Фолка

Скорочення	Англійська мова (11 класів)	Українська мова (11 класів)	Англ. мова (4 класи)	Укр. мова (4 клас)
G	Gravel	гравій	coarse sediment	грубі осадки
sG	sandy Gravel	піщаний гравій		
gS	gravelly Sand	гравійний пісок		
S	Sand	пісок	sand	пісок
mG	muddy Gravel	каламутний гравій	mixed sedi- ment	змішані осадки
gM	gravelly Mud	гравійна грязь		
msG	muddy sandy Gravel	каламутно-піщаний гравій		
gmS	gravelly muddy Sand	гравійно-каламутний пісок		
M	Mud	грязь	mud to muddy sand	грязь з каламу- тним піском
mS	muddy Sand	каламутний пісок		
sM	sandy Mud	піщана грязь		

(за Фроловим В.Т.) на чотири групи: псефіти, псаміти, алеврити і пеліти [24, 25]. Другий спосіб групування за схемою класифікації Фолка на три агрегати: гравій (gravel), пісок (sand), грязь (mud).

Як бачимо, суть розподілу за розмірністю зберігається в обох підходах (табл. 2). Групи псефітів і пелітів за Фроловим співвідносяться з агрегатами гравій і грязь за Фолком. Агрегат пісок за Фолком дорівнює сумі псамітів та алевритів. Однак для подальшої характеристики результатів буде використовуватись поділ за схемою Фолка тому що:

1. Класифікація Фролова розроблена для осадових порід і використовувалась для характеристики донних відкладів через відсутність подібної класифікації саме для них.

2. Схема поділу за Фолком використовується седиментологами саме для характеристики донних відкладів, а не осадових порід

3. Підхід Фолка дозволяє не лише продемонструвати відсотковий вміст певної групи, але і на основі його співвідношення віднести донний осад до певного класу

4. Інтерпретація результатів гранулометричного аналізу донних відкладів за схемою Фолка надає можливості порівняння результатів подібних досліджень, проведених зарубіжними вченими.

В пробах з річки Обитічна переважає піщана фракція. Виключенням є Проба 1, де гравію та піску майже порівну. Частка грязі не перевищує 1,7%.

В пробах річки Солоня різко домінує пісок, відсоток гравію коливається від 4 до 30 %, а частка грязі найбільша 10,5% в Пробі 3, а найменша 1,6% в Пробі 1.

Чотири проби узбережної ділянки мають в своєму складі більше 90% піску. Лише в одній пробі пісок має менше 50%. В середньому вміст піску становить 75%. Частка гравію не перевищує 30% з середнім значенням 10%, і наймен-

шим 0,1 % в Пробі 15. Грязь або майже відсутня (менше 1%), або ж досягає 24-42%.

В пробах з підводного конусу виносу також переважає пісок 62-96%, вміст гравію в середньому 21%, а вміст мулистих компонентів не перевищує 5%. Virізняється Проба 8 найнижчими показниками гравію та грязі в 2,6% та 0,8% відповідно.

Проби річки Комишуватка характеризуються цілковитою відсутністю мулистих компонентів. Переважає пісок з вмістом гравію не більше 30%.

В пробах річки Мокра Білосарайка компоненти гравію та піску майже рівні. В Пробі 1 переважає гравій. Вміст грязі 1,2-1,8 %.

За розташуванням на трикутнику Фолка (рис. 3) проби розподілились наступним чином:

- Всі проби Мокрої Білосарайки – це піщаний гравій. Це найбільш грубозернистий матеріал серед районів дослідження

- Всі проби Комишуватки – це гравійний пісок

- Три проби Обитічної гравійний пісок та дві піщаний гравій

- Три проби Солоня гравійний пісок, одна пісок та одна гравійно-каламутний пісок

- Більшість проб з підводного конусу це гравійний пісок, дві – піщаний гравій та одна – пісок

Проби відібрані з узбережжя найбільш розпорошені по трикутнику, та містяться в чотирьох секторах. По п'ять проб в секторі гравійного піску, гравійно каламутного піску, три проби пісок та дві каламутний пісок

Якщо класифікувати за узагальненою схемою, то переважна більшість досліджуваного матеріалу це грубі відклади, з невеликою кількістю змішаних, піщаних відкладів та епізодичними пробами грязі з каламутним піском (рис. 4).

Висновки. Розмір зерен є ключовим для уламкової седиментології. Він характеризує швидкість седиментаційного потоку, допомагає

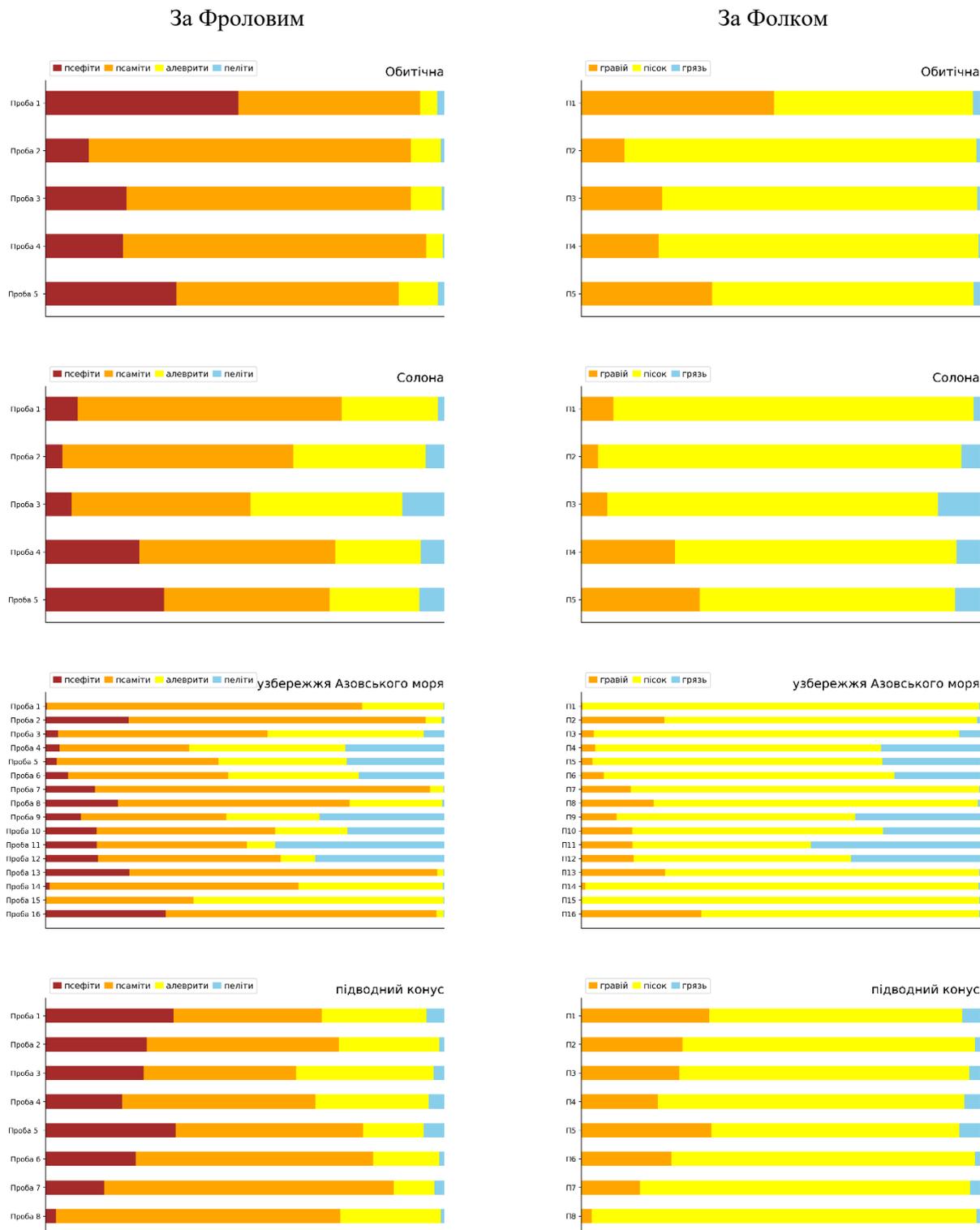
пояснити умови седиментаційних процесів.

Існує велика кількість підходів до класифікації відкладів відповідно до їх гранулометричного складу. Більшість класифікацій спирається на співвідношення розмірних груп (агрегатів): гравій, пісок, глина, мул. Тому вони описані че-

рез тричленну залежність у вигляді трикутників. Як правило кожна наукова група, описуючи результати своїх досліджень, обирає найбільш доцільний підхід, спираючись на характеристики досліджуваного матеріалу та цілі свого дослідження.

Таблиця 2

Результати гранулометричного аналізу – діаграми співвідношень агрегатів



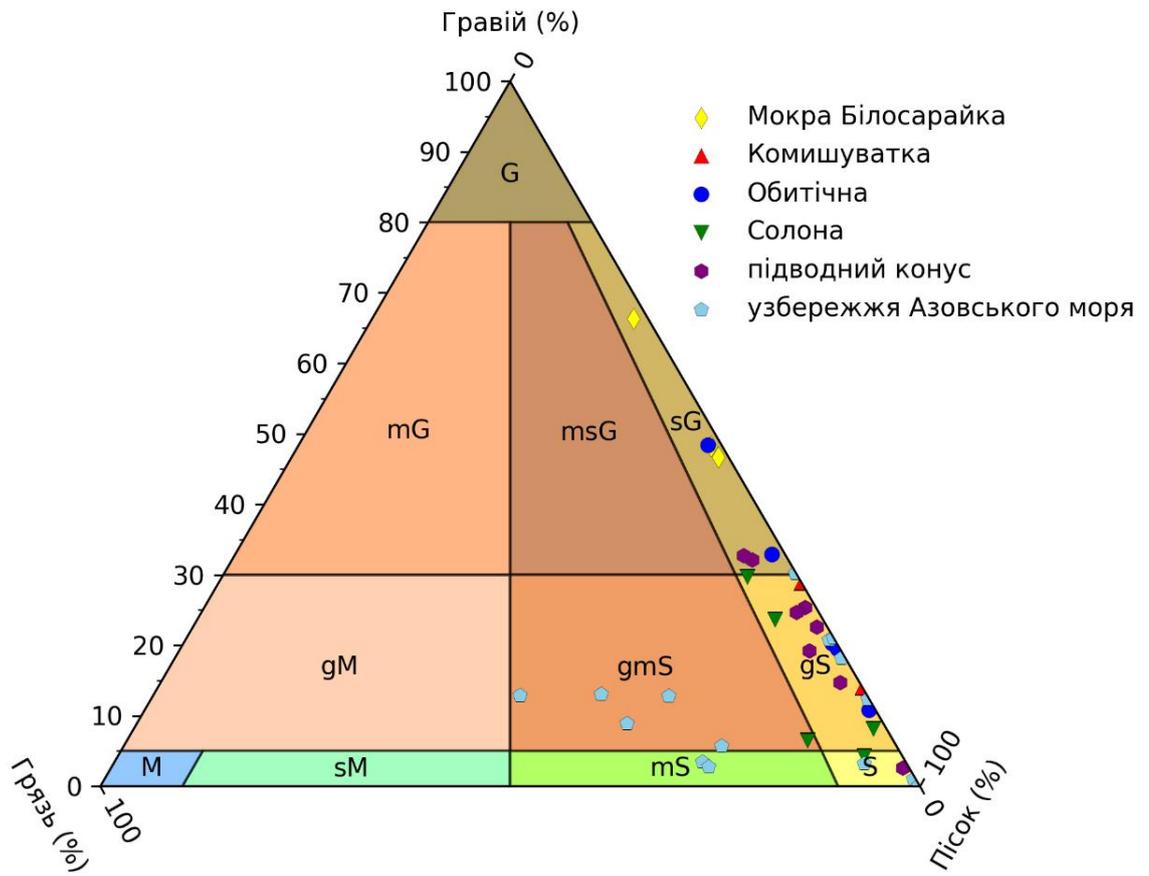
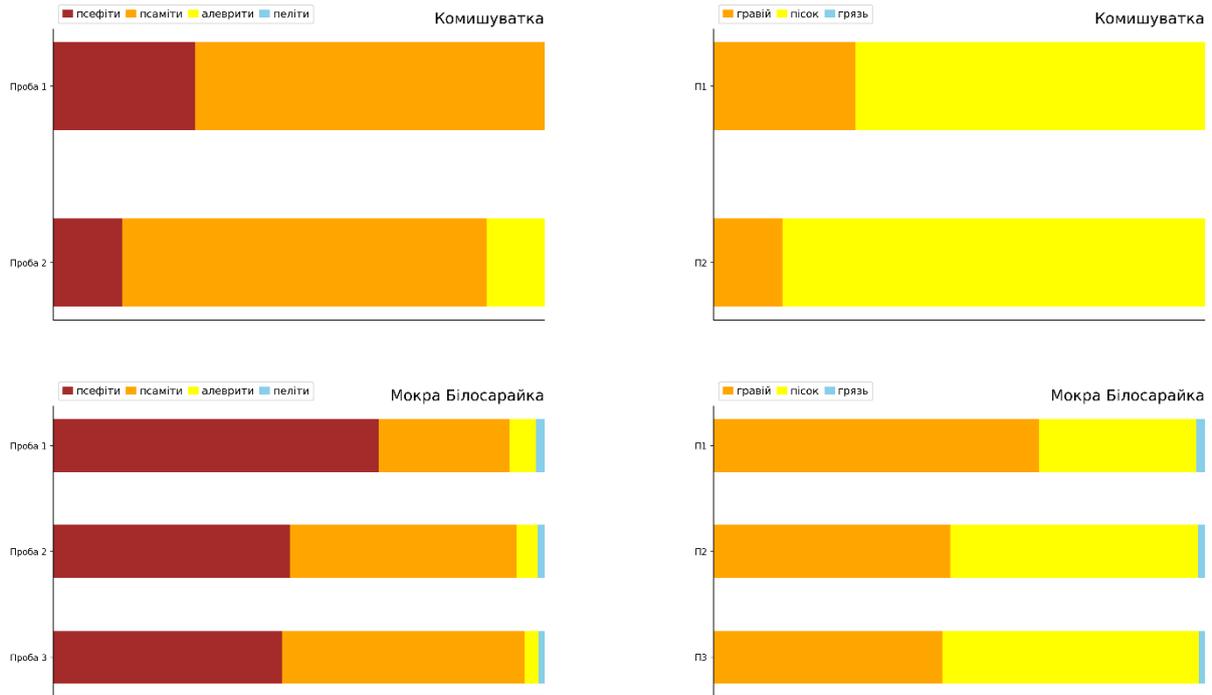


Рис. 3. Проби донних відкладів на трикутнику Фолка (11 класів) /
 Fig. 3. Samples of bottom sediments on Folk's triangle (11 classes)

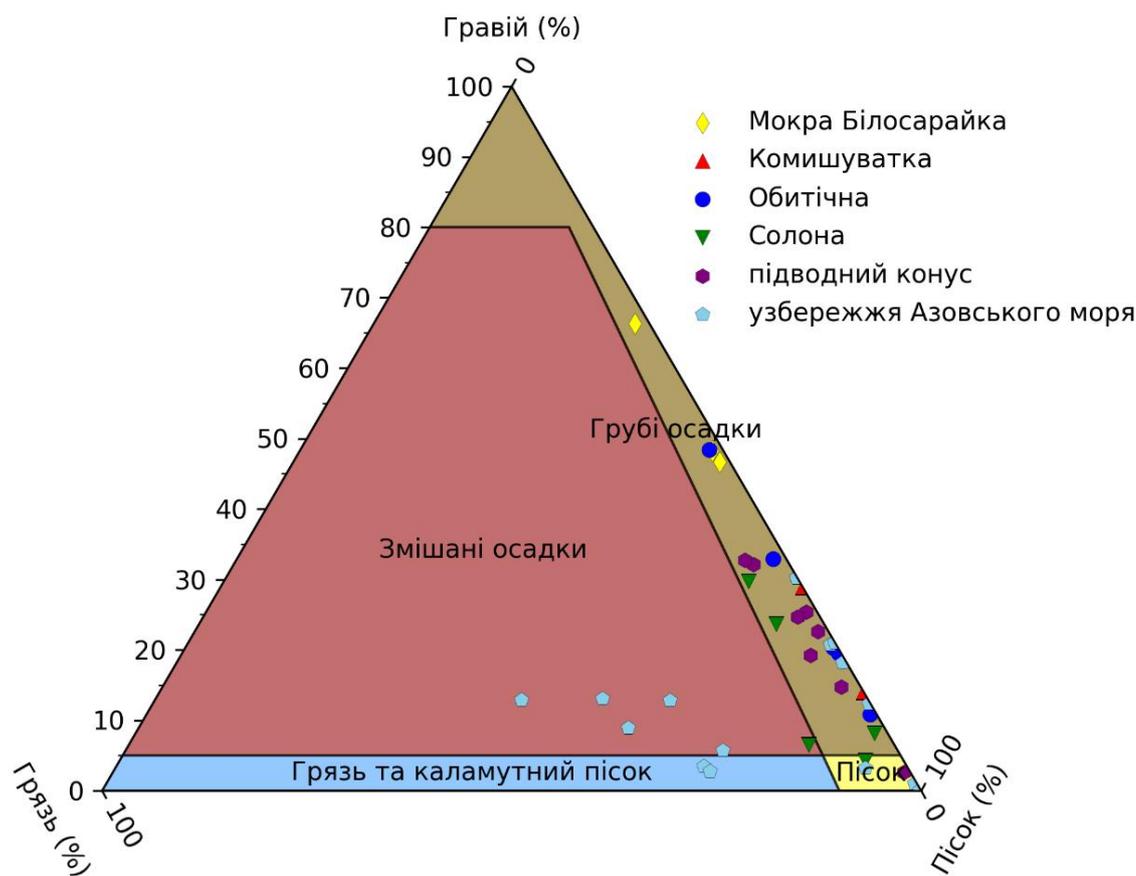


Рис.4. Проби донних відкладів на трикутнику Фолка (4 класи) /
 Fig. 4. Samples of bottom sediments on Folk's triangle (4 classes)

В світовій науковій спільноті постає питання стандартизації результатів для того, щоб їх можна було порівняти між собою. Спираючись на закордонні практики було охарактеризовано донні відклади північного Приазов'я за спрощеним трикутником Фолка (виділяє 11 класів відкладів). Досліджуваний матеріал дуже строкатий. Найбільша кількість проб – 18 штук – відноситься до класу гравійний пісок, 7 проб до класу піщаний гравій, 6 – до класу гравійно-мулистий пісок, 5 – до класу пісок та 3 до класу мулистий пісок. Описані донні відклади – це переважно грубозернистий піщаний матеріал. Якщо брати

до уваги лише результати гранулометричного аналізу, то вони вказують на такі седиментаційні процеси: матеріал мало транспортується, сили перенесення матеріалів недостатні для його подрібнення та ущільнення, матеріал мобільний, несортований та слабо накопичується – постійно розмивається та перевідкладається.

Сучасні літологічні дослідження в Україні потребують структурованих рекомендацій щодо інтерпретації та подання результатів, затвердження перекладів до термінів, запозичених з англійської літератури з метою інтеграції до європейської наукової спільноти.

Список використаних джерел

1. Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), 377–392. <https://doi.org/10.1086/622910>
2. Blott, S.J. & Pye, K. (2012) Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: review and recommended procedures. *Sedimentology*, 59, 2071-2096. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2012.01335.x>
3. Fournier-sowinski, J. (2024). *Practical Handbook of Grain Size Analysis Principles and methods*. Marine Station MNHN. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13836369>
4. Valentine, P. C. (2019) *Sediment classification and the characterization, identification, and mapping of geologic substrates for the glaciated Gulf of Maine seabed and other terrains, providing a physical framework for ecological research and seabed management*. U.S. Geological Survey <https://doi.org/10.3133/sir20195073>
5. Шнюков, С.Ф., Орловський, Г.М., Усенко, В.П., Григор'єв, О.В., & Гордієвич, В.А. (1974). *Геологія Азовського моря*. Наукова думка.

6. Shepard, F. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal Sedimentary Petrology*, 24, 151-158. <https://doi.org/10.1306/D4269774-2B26-11D7-8648000102C1865D>
7. Ayodele, O.S. and Madukwe, H.Y. (2019) Granulometric and Sedimentologic Study of Beach Sediments, Lagos, Southwestern Nigeria. *International Journal of Geosciences*, 10, 295-316. <https://doi.org/10.4236/ijg.2019.103017>
8. Cutroneo, L., Carbone, C., Consani, S., & Capello, M. (2020). Sediment distribution on the continental shelf in relation to stream inputs and contamination: hydrodynamic, chemical, mineralogical, and sedimentological characteristics (Ligurian Sea, Italy). *Environmental Science and Pollution Research*, 27(35), 43755-43768. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10259-4>
9. Folk, R. L. (1954). The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature. *The Journal of Geology*, 62(4), 344-359. <https://doi.org/10.1086/626171>
10. Folk, R. L. (1966). A review of grain-size parameters. *Sedimentology*, 6(2), 73-93. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1966.tb01572.x>
11. Moses, C.A., & Vallius, H. (2020). Mapping the Geology and Topography of the European Seas (European Marine Observation and Data Network, EMODnet). *Quarterly. Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 54 (1), qjegh2020-131. <https://doi.org/10.1144/qjegh2020-131>
12. Schlee, J. (1973). Atlantic Continental Shelf and Slope of the United States sediment texture of the northeastern part. U.S. Geological Survey Professional Paper, 529-L. United States Government Printing Office <https://doi.org/10.3133/pp529L>
13. Long, D. (2006). BGS detailed explanation of seabed sediment modified Folk classification. MESH
14. Kaskela, A., Kotilainen, A., Alanen, U., Cooper, R., Green, S., Guinan, J., van Heteren, S., Kihlman, S., van Lancker, V., & Stevenson, A. (2019). Picking Up the Pieces—Harmonising and Collating Seabed Substrate Data for European Maritime Areas. *Geosciences*, 9(2), 84. <https://doi.org/10.3390/geosciences9020084>
15. Vallius, H., Kotilainen, A., Asch, K., Fiorentino, A., Judge, M., Stewart, H.A. & Pjetursson, B. (2020). Discover Europe's seabed geology. The EMODnet concept of uniform collection and harmonization of marine data. *Geological Society, Special Publications*. <https://doi.org/10.1144/SP505-2019-208>
16. Mareano. (2023, September 28). Classification of sediments based on grain size composition (Folk, 1954, modified). Geological Survey of Norway (NGU). <https://www.ngu.no/Mareano/Grainsize.html>
17. Kaskela, A. M., Kihlman, S., Kotilainen, A. T., Alanen, U. (2025, March 11-13). Harmonising seabed substrate data of European Seas - EMODnet Geology. [Conference poster]. EMODnet Geology Consortium, Oulu, Finland. https://oceandataconference.org/wp-content/uploads/2025/01/50_Seabed_poster.pdf
18. Kaskela, A. et al., (2025, March 10-13). EMODnet Geology: Compiling Marine Geological Data Sets to support sustainable development of marine areas [Conference poster]. IODC-III, Santa Marta, Colombia <https://oceandataconference.org/postersession-iodc3/>
19. Hunter J. D., (2007). Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90-95. <http://dx.doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>
20. Ikeda, Yu. (2024). yuzie007/mpltern: 1.0.4 (1.0.4). Zenodo <https://doi.org/10.5281/zenodo.11068993>
21. Михайлов, В.А., Пастушенко, Т.В., & Мірончук, Т.А. (2020). Словник геологічних термінів: українсько-російсько-англійський. ВПЦ «Київський університет»
22. Cambridge Advanced Learner's Dictionary & Thesaurus. Mud. In Cambridge Advanced Learner's Dictionary & Thesaurus. Retrieved March 3, 2020, from <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/mud>
23. Словник української мови online. Грязь. В Словник української мови online. Взято 3 березня 2025 з <https://sum20ua.com/?page=689&searchWord=%D0%B3%D1%80%D1%8F%D0%B7%D1%8C&wordid=20421#>
24. Степанов, В.Б., Побережська, І.В., Костюк, О.В., & Гнатів, І.Г. (2014) Методи вивчення осадових порід: методичні рекомендації до лабораторних занять і самостійної роботи студентів напряму підготовки 6.04.01.03 – геологія. Львівський національний університет імені Івана Франка.
25. Павлова, О.О., & Павлов, Г.Г. (2018). Базові терміни та поняття в літології: довідковий посібник з «Основ літології» для студентів 2 курсу за спеціальністю «Науки про Землю».

Granulometric classification of bottom sediments of small rivers of the northern Azov Sea region

Liudmyla Berozkina

Junior Researcher, SSI «Center for Problems of Marine Geology, Geoecology and Sedimentary Ore Formation of the NAS of Ukraine», Kryvyi Rih, Ukraine

ABSTRACT

Introduction. Grain size is a key characteristic in the study of bottom sediments. There are a large number of approaches to the classification of granulometric composition, but most of them were created for sedimentary rocks or soils, not sediments, so arises a problem of choosing an appropriate methodology for describing bottom sediments. The most common among researchers of bottom sediments is the Folk classification and its modifications. This approach is used by Geological Surveys of the USA and the countries of European Union for seabed mapping and research of bot-

tom sediments. Therefore, to characterize the bottom sediments of the northern Sea of Azov region, a simplified Folk classification was used. It consists of eleven classes and is represented through a three-term dependence. The generalized scheme consist of four classes.

Methods. Granulometric analysis was conducted by dry sieve method. Results were grouped according to two classification schemas (by Frolov and by Folk). Graphics were made with the Python programming language, libraries Matplotlib and MplTern.

Results and Discussions. Grain size distribution was calculated for 39 samples of bottom sediments from rivers the Obytichna, the Solona, the Mokra Bilosaraika, the Komyshuvatka, underwater discharge cone of the temporary steam in Petrivska ravine and from beach zone between cities Prymorsk and Berdyansk. Years of sampling 2017, 2018, 2021. A comparison is made of the traditional for Ukrainian lithological studies division into psephites, psamites, siltstones, and pelites with the division into sediment granulometric aggregates (gravel, sand, mud) according to the Folk scheme. Psephites is equal to gravel, pelites is equal to mud. Sand consist of psamites and siltstones. Folk's approach allows not only to demonstrate the percentage content of a certain group, but also to attribute the bottom sediment to a certain class based on its ratio. According to Folk's triangle: all samples from the Mokra Bilosaraika river are sandy gravel; bottom sediments of the Komyshuvatka are gravelly sand; the Obytichna river – three samples of gravelly sand and two samples of sandy gravel; the Solona river – tree gravelly sand, one sand and one gravelly muddy sand; samples from underwater discharge cone are mostly gravelly sand, but two of them sandy gravel and one is sand; coastline samples are five gravelly sand, five gravelly muddy sand, three sand and two muddy sand. If classified according to a generalized scheme, the vast majority of the studied material is coarse sediments, with a small amount of mixed, sandy sediments and occasional samples of mud with muddy sand.

Conclusions. The studied sediments are predominantly coarse-grained sandy material. If we take into account only the results of granulometric analysis, they indicate the following sedimentation processes: the material is poorly transported, the forces of material transfer are insufficient for its crushing and compaction, the material is mobile, unsorted and poorly accumulated - it is constantly eroded and redeposited. Modern lithological studies in Ukraine require structured recommendations for the interpretation and presentation of results, approval of translations of terms borrowed from English-language literature for the purpose of integration into the European scientific community.

Keywords: *granulometric analysis, bottom sediments, three component granulometric model, sediment class, sediment aggregate, classification by Folk, small rivers, the Azov Sea.*

References

1. Wentworth, C. K. (1922). *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. *The Journal of Geology*, 30(5), 377–392. <https://doi.org/10.1086/622910>
2. Blott, S.J. & Pye, K. (2012) *Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: review and recommended procedures*. *Sedimentology*, 59, 2071-2096. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2012.01335.x>
3. Fournier-sowinski, J. (2024). *Practical Handbook of Grain Size Analysis Principles and methods*. Marine Station MNHN. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13836369>
4. Valentine, P. C. (2019) *Sediment classification and the characterization, identification, and mapping of geologic substrates for the glaciated Gulf of Maine seabed and other terrains, providing a physical framework for ecological research and seabed management*. U.S. Geological Survey <https://doi.org/10.3133/sir20195073>
5. Shniukov, Ye.F., Orlovskiy, H.M., Usenko, V.P., Hryhoriev, O.V., & Hordiievych, V.A. (1974). *Geology of the Sea of Azov*. *Naukova dumka*. [in Russian]
6. Shepard, F. (1954). *Nomenclature based on sand-silt-clay ratios*. *Journal Sedimentary Petrology*, 24, 151-158. <https://doi.org/10.1306/D4269774-2B26-11D7-8648000102C1865D>
7. Ayodele, O.S. and Madukwe, H.Y. (2019) *Granulometric and Sedimentologic Study of Beach Sediments, Lagos, Southwestern Nigeria*. *International Journal of Geosciences*, 10, 295-316. <https://doi.org/10.4236/ijg.2019.103017>
8. Cutroneo, L., Carbone, C., Consani, S., & Capello, M. (2020). *Sediment distribution on the continental shelf in relation to stream inputs and contamination: hydrodynamic, chemical, mineralogical, and sedimentological characteristics (Ligurian Sea, Italy)*. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(35), 43755-43768. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10259-4>
9. Folk, R. L. (1954). *The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature*. *The Journal of Geology*, 62(4), 344–359. <https://doi.org/10.1086/626171>
10. Folk, R. L. (1966). *A review of grain-size parameters*. *Sedimentology*, 6(2), 73–93. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1966.tb01572.x>
11. Moses, C.A., & Vallius, H. (2020). *Mapping the Geology and Topography of the European Seas (European Marine Observation and Data Network, EMODnet)*. *Quarterly. Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 54 (1), qjegh2020–131. <https://doi.org/10.1144/qjegh2020-131>
12. Schlee, J. (1973). *Atlantic Continental Shelf and Slope of the United States sediment texture of the northeastern part*. U.S. Geological Survey Professional Paper, 529-L. United States Government Printing Office <https://doi.org/10.3133/pp529L>
13. Long, D. (2006). *BGS detailed explanation of seabed sediment modified Folk classification*. MESH.

14. Kaskela, A., Kotilainen, A., Alanen, U., Cooper, R., Green, S., Guinan, J., van Heteren, S., Kihlman, S., van Lancker, V., & Stevenson, A. (2019). *Picking Up the Pieces—Harmonising and Collating Seabed Substrate Data for European Maritime Areas*. *Geosciences*, 9(2), 84. <https://doi.org/10.3390/geosciences9020084>
15. Vallius, H., Kotilainen, A., Asch, K., Fiorentino, A., Judge, M., Stewart, H.A. & Pjetursson, B. (2020). *Discover Europe's seabed geology. The EMODnet concept of uniform collection and harmonization of marine data*. Geological Society, Special Publications. <https://doi.org/10.1144/SP505-2019-208>
16. Mareano. (2023, September 28). *Classification of sediments based on grain size composition (Folk, 1954, modified)*. Geological Survey of Norway (NGU). <https://www.ngu.no/Mareano/Grainsize.html>
17. Kaskela, A. M., Kihlman, S., Kotilainen, A. T., Alanen, U. (2025, March 11-13). *Harmonising seabed substrate data of European Seas - EMODnet Geology*. [Conference poster]. EMODnet Geology Consortium, Oulu, Finland. https://oceanataconference.org/wp-content/uploads/2025/01/50_Seabed_poster.pdf
18. Kaskela, A. et al., (2025, March 10-13). *EMODnet Geology: Compiling Marine Geological Data Sets to support sustainable development of marine areas* [Conference poster]. IODC-III, Santa Marta, Colombia <https://oceanataconference.org/postersession-iodc3/>
19. Hunter J. D., (2007). *Matplotlib: A 2D Graphics Environment*. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90-95. <http://dx.doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>
20. Ikeda, Yu. (2024). *yuzie007/mpltern: 1.0.4 (1.0.4)*. Zenodo <https://doi.org/10.5281/zenodo.11068993>
21. Mykhailov, V.A., Pastushenko, T.V., & Mironchuk, T.A. (2020). *Vocabulary of geological terms: Ukrainian-russian-English*. VPTs «Kyivskiyi universytet» [in Ukrainian]
22. *Cambridge Advanced Learner's Dictionary & Thesaurus. Mud*. In *Cambridge Advanced Learner's Dictionary & Thesaurus*. Retrieved March 3, 2025, from <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/mud>
23. *Ukrainian language dictionary online. Mud*. In *Ukrainian language dictionary online*. Retrieved March 3, 2025, from <https://sum20ua.com/?page=689&searchWord=%D0%B3%D1%80%D1%8F%D0%B7%D1%8C&wordid=20421#> [in Ukrainian]
24. Stepanov, V.B., Poberezhska, I.V., Kostiuk, O.V., & Hnativ, I.H. (2014) *Methods of studying sedimentary rocks: methodological recommendations for laboratory classes and independent work of students of the direction of training 6.04.01.03 - geology*. Lvivskiyi natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka. [in Ukrainian]
25. Pavlova, O.O., & Pavlov, H.H. (2018). *Basic terms and concepts in lithology: a reference guide to "Fundamentals of Lithology" for 2nd year students majoring in "Earth Sciences"* [in Ukrainian]

Received 16 July 2025
Accepted 27 October 2025