

В. О. Ємельянов, Л. А. Прохорова

**КЛАСИФІКАЦІЯ МОРСЬКИХ ГЕОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ***(Рекомендовано чл. -кор. НАН України О. Ю. Митропольським)*

Приведена общая классификация морских геолого-экологических систем, построенная на основе анализа и учета геологических и инженерно-геологических различий отдельных subsystems глобальной геолого-экологической системы донных отложений Мирового океана. Каждый из выделенных в классификации таксонов может быть представлен определенной формулой, позволяющей при морских геоэкологических исследованиях, в частности при районировании и дифференциации геолого-экологических систем донных отложений, эффективно использовать современную вычислительную технику, что очень важно при обработке значительных объемов геолого-экологической информации.

General classification of marine geology-ecological systems, built on the basis of the analysis and review of geological and geotechnical differences subsystems of the global marine geology-ecological system of the World Ocean is presented. Each of the classification taxa may be represented by its own formula. This allows during marine geology-ecological studies, including zoning and differentiation of geology-ecological systems, effective use of modern computer technology, which is important when handling large volumes of geological and environmental information.

Освоєння природних ресурсів океанів і морів, зокрема мінеральних, вуглеводневих і живих ресурсів літосферного сегменту в сучасних межах Світового океану, потребує створення ефективної інформаційної системи. Структура такої системи має складатися з низки інформаційних subsystems, включаючи subsystem "геолого-екологічні умови", яка, в свою чергу, об'єднує різноманітні природні й антропогенні (техногенні) компоненти.

Особливості вивчення природних компонентів інформаційної системи "геолого-екологічні умови" полягають, в тому числі, у необхідності врахування взаємодії природної морської геолого-екологічної системи донних відкладів (МГЕС) [2] та її компонентів з інженерними спорудами, комунікаціями і механізмами. Ці взаємодії значною мірою обумовлюються різними речовинним і фазовим складом, властивостями, передусім інженерно-геологічними, і структурою МГЕС, тобто певними геолого-екологічними умовами. Це дозволяє диференціювати об'єкт досліджень з віднесенням його частин-subsystem до різних таксономічних підрозділів геолого-екологічної класифікації. Таким чином, класифікація МГЕС за геолого-екологічними умовами із врахуванням деяких інженерно-геологічних аспектів має стати основою як геоекологічного райо-

нування, так і стратифікації морського дна, в тому числі в практичних цілях.

Саме таку мету було поставлено при розробці класифікації МГЕС, яка представлена в таблиці і базується на відомих, передусім інженерно-геологічних, класифікаціях. Зауважимо, що згадані класифікації розроблялись та застосовувались в основному для умов суходолу і не завжди враховували специфіку субаквального, особливо морського й океанського седименто- і літогенезу. Саме тому їх застосування при регіональному геоекологічному вивченні морського й океанського дна є проблематичним. Головною вадю "суходольних" класифікацій є те, що вони не враховують широкого розповсюдження на дні океанів і морів тонкодисперсних слабоущільнених водонасичених осадків, які характеризуються щільністю, що часто не набагато перевищує щільність придонної морської води, мають високу пористість і об'ємну вологість (понад 80–90%) [1].

Характеризуючись великою різноманітністю, тонкодисперсні донні осадки морів й океанів за водно-фізичними властивостями, як правило, відносяться до утворень текучої, рідше в'язко-текучої і текучо-пластичної консистенції, входячи, відповідно до нормативних документів, до групи не стійких слабких ґрунтів. У той же час, наприклад, згідно з інженерно-геологічною класифікацією В. Д. Ломтадзе [3], практич-

но всі тонкодисперсні донні відклади Світового океану належать до групи дуже слабких осадків з гранично малою мірою літифікації, тоді як В. І. Осипов [6] включає їх до групи відкладів слабого ступеня ущільнення з далекими коагуляційними зв'язками. Відмітимо, що в класифікації Ф. П. Саваренського – В. Д. Ломтадзе [3, 7] подібні донні осадки віднесені до порід особливого складу, стану і властивостей і є несприятливими для використання в якості фундаментів споруд без спеціальної підготовки. При цьому "суходольними" інженерами-геологами часто не враховується те, що на дні океанів і морів "архімедова" сила істотно знижує навантаження на ґрунт, зокрема від ваги споруд і комунікацій, що дозволяє розглядати практично всі донні осадки в якості можливих природних фундаментів підводних споруд, комунікацій і механізмів.

Наявні (через відсутність загальної, з охопленням інженерно-геологічної специфіки) класифікації морських донних відкладів, труднощі у районуванні і стратифікації геолого-екологічних умов морського дна були значною мірою усунені створенням загальної інженерно-геологічної класифікації донних ґрунтів Світового океану [5], яка розроблена на основі класифікацій Ф. П. Саваренського – В. Д. Ломтадзе з урахуванням класифікації Е. М. Сергеева [8] та Міждержавного стандарту ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) [4]. У цій класифікації були в основному враховані особливості умов океанського геологічного блока, зокрема виділені ґрунти "гранично малого ступеня літифікації", несуча здатність яких подекуди відрізняється на більш, ніж два порядки. Як відомо, саме такі ґрунти складають основну частину площі дна океанів і морів, а відповідні МГЕС, що функціонують на їх основі, є загалом найбільшою складовою (субсистемою) МГЕС Світового океану.

Безумовно, в одній, нехай загальній класифікації, неможливо врахувати всі особливості формування геологічного середовища різних, часто унікальних морських басейнів, наприклад Чорноморського, в яких екологічні умови значно відрізняються від таких інших морів і океанів. Тому для впорядкування їх геолого-екологічного вивчення, зокре-

ма в інженерно-геологічному аспекті, виникла потреба адаптувати класифікацію [5] до специфічних умов морського й океанського дна, практично не змінюючи основні принципи і підходи зазначеної класифікації до диференціації МГЕС, з виділенням за системою ознак подібних таксономічних одиниць: клас, група, підгрупа, тип, підтип, вид і різновид (див. таблицю).

Так, при відокремленні геоекологічних класів МГЕС брали до уваги реакцію системи, переважно її неживої складової, на зовнішній фізичний вплив та зміни навколишнього середовища. За цим показником виділено три класи: клас I – стійки МГЕС; клас II – відносно стійки МГЕС і клас III – не стійки МГЕС.

Зазначимо, що виключення живого компонента МГЕС і пов'язаних з ним можливих класифікаційних показників на цьому етапі створення загальної геолого-екологічної класифікації, на нашу думку, є доцільним, зокрема як через брак відповідних даних, так і наявність морських басейнів типу Чорного моря. Як відомо, в останньому активне функціонування живого компонента в МГЕС є мізерно малим нижче глибин 170–200 м внаслідок сірководневого зараження.

МГЕС, які віднесені нами до класу I (стійки МГЕС), характеризуються тим, що їх речовинний склад, інженерно-геологічні властивості, функції тощо практично не змінюються як при фізичних впливах на них, так і при змінах навколишнього середовища нижче критичної величини.

МГЕС класу II (відносно стійки МГЕС) слабо змінюються при фізичних впливах або (та) змінах умов навколишнього середовища нижче критичних.

Найбільш уразливими є МГЕС класу III (не стійки МГЕС), які зазнають інтенсивних змін аж до повного руйнування при фізичних впливах або (та) змінах умов навколишнього середовища нижче критичних.

За типом зв'язків між твердими компонентами МГЕС класу I підрозділяються на дві групи – А і Б. До групи А входять скельні стійки МГЕС переважно з кристалізаційними і міцними цементаційними зв'язками між твердими компонентами; до групи Б – напівскельні стійки МГЕС здебільшого з цементаційними та механічними зв'язками між твердими компонентами.

# Класифікація МГЕС

Групи	Підгрупи	Генетичні типи	Генетичні підтипи	Види	Різновиди	
1	2	3	4	5	6	
<p><b>Клас I. Стійкі МГЕС (практично не змінюються при фізичних впливах нижче критичної величини)</b></p>						
<p>А. Скельна (переважно з кристалізаційними і міцними цементаційними зв'язками між твердими компонентами)</p> <p>Б. Напівскельна (переважно з цементаційними та механічними зв'язками між твердими компонентами)</p>	1. Високоміцна ( $R_{CT} \text{ понад } 400 \text{ МПа}$ )	А. Магматогенний	1. Інгузливий	А. Гранітовий. Б. Діоритовий. В. Габро тощо	а. Слабо газонасичений ( $G_{газ} \text{ менше } 1 \text{ см}^3/\text{кг}$ )	
	1. Високоміцна ( $R_{CT} \text{ понад } 400 \text{ МПа}$ ). 2. Міцна ( $R_{CT} - 400-50 \text{ МПа}$ )	Б. Метаморфогенний	1. Регіонально-метаморфізований	А. Андезитовий. Б. Базальтовий. В. Туфовий. Г. Порфіровий. Д. Туфобрекчівий тощо	1. Масивний	
	2. Міцна ( $R_{CT} - 400-50 \text{ МПа}$ )	В. Осадовий	2. Контактково-метаморфізований	А. Роговиковий тощо	1. Масивний. 2. Сланцевий, гнейсовий (смугастий)	
	1. Високоміцна ( $R_{CT} \text{ понад } 400 \text{ МПа}$ ). 2. Міцна ( $R_{CT} - 400-50 \text{ МПа}$ )	Г. Штучний	3. Динамо-метаморфізований, перекристалізований	А. Тектонічно-брекчівий. Б. Мармуризований тощо	1. Щільний монолітний. 2. Щільний шаруватий	б. Середньо газонасичений ( $G_{газ} - \text{від } 1,0 \text{ до } 10 \text{ см}^3/\text{кг}$ )
	3. Середньоміцна ( $R_{CT} - 50-2,5 \text{ МПа}$ )	А. Осадовий теригенний	1. Перетворений природний	А. Сформований з будьяких природних матеріалів (мармур, пісковики тощо)	1. Щільний монолітний. 2. Щільний шаруватий	
	4. Низькоміцна ( $R_{CT} - 2,5 - 0,5 \text{ МПа}$ )	Б. Осадовий біохемогенний	2. Техногенний	А. Сформований з будьяких техногенних матеріалів (бетон, залізобетон тощо)	1. Щільний монолітний. 2. Щільний шаруватий	
	1. Високоміцна ( $R_{CT} \text{ понад } 400 \text{ МПа}$ ). 2. Міцна ( $R_{CT} - 400-50 \text{ МПа}$ ). 3. Середньоміцна ( $R_{CT} - 50-2,5 \text{ МПа}$ ). 4. Низькоміцна ( $R_{CT} - 2,5 - 0,5 \text{ МПа}$ )	В. Осадовий гідрогенний	1. Алювіальний. 2. Морський	А. Конгломератовий. Б. Брекчівий. В. Пісковиковий. Г. Туфотовий; Д. Алевролітовий. Е. Аргілітовий тощо	1. Щільний монолітний. 2. Щільний шаруватий	
	1. Високоміцна ( $R_{CT} \text{ понад } 400 \text{ МПа}$ ). 2. Міцна ( $R_{CT} - 400-50 \text{ МПа}$ ). 3. Середньоміцна ( $R_{CT} - 50-2,5 \text{ МПа}$ ). 4. Низькоміцна ( $R_{CT} - 2,5 - 0,5 \text{ МПа}$ )	Г. Антропогенний	1. Алювіальний. 2. Морський	А. Радіоляритовий. Б. Діатомітовий. В. Доломітовий. Г. Ваннаковий. Д. Мергельний	1. Щільний монолітний. 2. Щільний шаруватий	в. Сильно газонасичений ( $G_{газ} \text{ понад } 10 \text{ см}^3/\text{кг}$ )
			1. Перетворений природний	А. Залізний. Б. Марганцевий. В. Залізомарганцевий тощо	1. Щільний шаруватий. 2. Осолтовий	
			2. Техногенний	А. Складений з будьяких природних матеріалів (мармурів, пісковиків тощо)	1. Щільний монолітний. 2. Щільний шаруватий. 3. Хаотичний	
		3. Природно-техногенний	А. Складений з будьяких техногенних матеріалів	1. Щільний монолітний. 2. Щільний шаруватий 3. Хаотичний		

1	2	3	4	5	6	7
<b>Клас II. Відносно стійкі МГЕС (слабо змінюються при фізичних впливах або (та) змінах умов навколишнього середовища нижче критичних)</b>						
А. Пухка (переважно з механічними зв'язками між твердими компонентами)	1. Відносно міцна (** $\phi > 30^\circ$ )	А. Осадовий теригенний	1. Морський. 2. Алювіальний 3. Болотний. 4. Змішаний	А. Кварцовий. Б. Кварц-польовошпатовий. В. Польовошпатово-кварцовий тощо	1. Велкоуламковий (кам'яний, валунний) 2. Уламковий (песбевний, гальковий) 3. Дрібноуламковий (жорсткий, гравійний) 4. Піщаний 5. Піщано-алевритовий 6. Алевритовий тощо	а. Слабо газонасичені (***) $G_{газ} < 1 \text{ см}^3/\text{кг}$
	2. Відносно слабка ( $\phi < 30^\circ$ )	Б. Осадовий біогенний В. Осадовий гетерогенний Г. Антропогенний	1. Морський. 2. Змішаний 1. Змішаний 1. Перетворений природний 2. Техногенний 3. Природно-техногенний	А. Черепашковий. Б. Черепашково-дегритовий. В. Дегритовий тощо А. Черепашково-дегритово-кварцовий. Б. Дегритово-черепашково-кварцовий тощо А. Складений з будь-яких перетворених природних матеріалів (гальки, піску тощо) Б. Складений з будь-яких техногенних матеріалів В. Складений з будь-яких природних і техногенних матеріалів	б. Середньо газонасичені ( $G_{газ}$ – від 1,0 до 10 $\text{см}^3/\text{кг}$ ) в. Сильно газонасичені ( $G_{газ} > 10 \text{ см}^3/\text{кг}$ )	
Б. М'яка (здебільшого з ближніми коагуляційними зв'язками між твердими компонентами)	1. Тугопластична ( $C$ – від 50 до 20 кПа)	А. Осадовий теригенний	1. Морський. 2. Алювіальний 3. Болотний. 4. Змішаний	А. Кварц-каооліт-монт-морилонтовий. Б. Кварц-каооліт-гідрослюдиствий. В. Польовошпат-каооліт-гідрослюдиствий. Г. Польовошпат-монтморилоніт-гідрослюдиствий тощо А. Коколітовий. Б. Діатомовий. В. Радіоларієвий. Г. Сапропелевий. Д. Сапропелоподібний тощо А. Коколітово-каоолітовий. Б. Коколітово-монтморилонтовий. В. Діатомово-монтморилонтовий. Г. Радіоларієво-монтморилонтовий тощо	1. Глиняно-алевритовий 2. Алевритово-глиняний 3. Глиняний тощо	г. Із включенням газодіагнів
	2. Мякопластична ( $C$ – від 20 до 10 кПа)	Б. Осадовий біогенний В. Осадовий гетерогенний	1. Морський. 2. Змішаний 1. Змішаний	1. Морський. 2. Алювіальний 3. Болотний. 4. Змішаний	А. Коколітово-каоолітовий. Б. Коколітово-монтморилонтовий. В. Діатомово-монтморилонтовий. Г. Радіоларієво-монтморилонтовий тощо	

1	2	3	4	5	6	7
<b>Клас III. Не стійкі МГЕС (піддаються інтенсивним змінам аж до повного руйнування при фізичних впливах або (га) змінах умов навколишнього середовища нижче критичних)</b>						
А. Слабка переважно з далекими коагуляційними зв'язками між твердими компонентами)	1. Текуче-пластична (С – від 10 до 5 кПа)	А. Осадковий теригенний	1. Морський. 2. Алювіальний. 3. Еоловий. 4. Змішаний	А. Кварц-каолінт-монтморилітовий. Б. Кварц-каолінт-гідролітовий. В. Польвошпатово-каолінт-гідролітовий. Г. Польвошпатово-гідролітовий тощо	1. Муловий алевроитово-пелітовий	а. Слабо газонасичені (C <sub>газ</sub> – менше 1 см <sup>3</sup> /кг)
	2. В'язко-текуча (С – від 5 до 1 кПа)	Б. Осадковий біогенний	1. Морський. 2. Змішаний	А. Коколітовий. Б. Фораміферовий. В. Діатомовий. Г. Радіоларійовий. Д. Коколітово-фораміферовий. Е. Діатомово-радіоларійовий. Ж. Сапропелеподібний. З. Сапропелевий тощо	2. Муловий пелітовий	б. Середньо газонасичені (C <sub>газ</sub> – від 1,0 до 10 см <sup>3</sup> /кг)
	3. Рідинно-текуча (С < 1 кПа)	В. Осадковий гетерогенний	1. Змішаний	1. Коколітово-каолінтовий. 2. Коколітово-монтморилітовий. 3. Діатомово-монтморилітовий. 4. Діатомово-каолінтовий. 5. Радіоларійово-монтморилітовий. 6. Радіоларійово-каолінтовий тощо	3. Муловий глиняний газодіатріт	в. Сильно газонасичені (C <sub>газ</sub> – понад 10 см <sup>3</sup> /кг)

\*R<sub>СТ</sub> – межа міцності на стиснення, \*\*φ – кут внутрішнього тертя, \*\*\*С – опір обертальному зрізу, \*\*\*\*C<sub>газ</sub> – об'єм газу в одиниці маси МГЕС.

МГЕС класу II також поділяються на дві групи: групу А – пухкі відносно стійки МГЕС (в основному з механічними зв'язками між твердими компонентами); групу Б – м'які відносно стійки МГЕС (здебільшого з ближніми коагуляційними зв'язками між твердими компонентами).

У МГЕС класу III виділено одну групу, до якої увійшли дуже м'які, не стійкі МГЕС переважно з далекими коагуляційними зв'язками між твердими компонентами. Зауважимо, що це найбільш поширена серед МГЕС група. Геолого-екологічні субсистеми, які входять до неї, характеризуються, зазвичай, значним вмістом рідкого компонента, підвищеним вмістом органічної речовини, газів, іноді – їх кристалогідратів. Все це і визначає особливості структури даної групи МГЕС, її властивості та геоекологічне значення.

За показниками механічних властивостей різних груп МГЕС проведено їх підрозділ на відповідні підгрупи. Так, групу скельних і напівскельних МГЕС поділено на підгрупи за опором стисненню у водонасиченому стані. Таким чином, до підгрупи високоміцних увійшли скельні МГЕС з межею міцності на одноосьове стиснення у водонасиченому стані (R<sub>СТ</sub>) понад 400 МПа. Скельні МГЕС з R<sub>СТ</sub> від 400 до 50 МПа віднесено до підгрупи міцних. Група напівскельних МГЕС теж складається з двох підгруп – середньоміцних МГЕС (R<sub>СТ</sub> – від 50 до 2,5 МПа) і низькоміцних МГЕС (R<sub>СТ</sub> < 2,5 МПа).

Група відносно стійких пухких МГЕС ділиться на дві підгрупи – відносно міцну і відносно слабку. При цьому критерієм підрозділу є кут внутрішнього тертя між елементами твердого компонента МГЕС (φ).

До першої підгрупи відносяться МГЕС з  $\varphi > 30^\circ$ , до другої – з  $\varphi < 30^\circ$ .

Група м'яких відносно стійких МГЕС складається також з двох підгруп. Вони виділяються за показником опору МГЕС оберտальному зрізу (С). У МГЕС, що складають підгрупу тугопластичних, С становить 50–20 кПа, а до підгрупи м'якопластичних входять МГЕС, у яких С може коливатися від 20 до 10 кПа.

Група дуже м'яких не стійких МГЕС за величиною С підрозділяється на три підгрупи, а саме: текуче-пластичну (С – від 10 до 5 кПа), в'язко-текучу (С – від 5 до 1 кПа) і рідинно-текучу (С < 1 кПа).

За генетичними ознаками МГЕС різних підгруп було підрозділено на генетичні типи і підтипи. Так, за основними процесами походження твердих компонентів МГЕС різних класів, груп і підгруп виділено 11 типів геолого-екологічних систем, а за різновидами основних процесів і джерел походження твердих компонентів МГЕС – 11 їх підтипів.

За типоморфними літологічними (горні породи, органічна речовина, мінерали) і (або) штучними компонентами, а також вмістом основних осадкоутворюючих складових генетичні типи і підтипи МГЕС підрозділяються на відповідні види, яких у класифікації нараховується більш ніж 70.

За характерними структурою, текстурою та іншими ознаками, зокрема за вмістом газового компонента, серед МГЕС можна виділити певні різновиди. В класифікації (див. таблицю) виділено три різновиди у МГЕС класу I, а також по чотири різновиди у класах II і III МГЕС.

Варто відмітити, що кожний з виділених і представлених в таблиці таксонів МГЕС може бути вираженим певною формулою. Наприклад, формула "IIIA2B1A2a" означає таке: "МГЕС не стійка, слабка, в'язко-текуча, осадково-біогенна, морська, коколітова, мулова пелітова, слабо газонасичена". Це дозволяє при диференціації МГЕС широко й ефективно використовувати сучасну обчислювальну техніку, що є дуже важливим при обробці значних об'ємів геолого-екологічної інформації.

Слід зазначити, що диференціація МГЕС донних осадків морів і океанів за показниками, що використовуються в представленій класифікації, поки що не є

повністю досконалою. Зокрема, недостатньо обґрунтованим є розподіл МГЕС на різновиди за газонасиченістю. Автоматичне запозичення методів і показників, що вживаються при оцінці газонасиченості гірських порід у практиці нафтогазової геології, для геоecологічних оцінок і диференціації МГЕС за газонасиченістю для потреб фундаментальної морської геології і геоecології, на нашу думку, не є доцільним. Постає питання пошуку більш інформаційного показника газонасиченості для використання при оцінці та диференціації МГЕС. Кількісний показник, який застосовується в даній класифікації для виділення різновидів МГЕС (див. таблицю) є певною мірою, умовним. Його використання потребує додаткового теоретичного і експериментального обґрунтування, а також методичного забезпечення.

Крім того, бажано, щоб класифікація МГЕС будувалась із врахуванням ознак, залежних від наявності і функціонування живої речовини як її компонента. Тому сьогодні залишається питання пошуку відповідного показника, який можна було б використовувати при оцінці та диференціації геолого-екологічних систем, що мають мізерно малу кількість біотичного компонента у своєму складі, подібних, наприклад, глибоководним МГЕС Чорного моря.

Автори мають на меті доопрацювати зазначені питання в процесі подальшої роботи над удосконаленням теоретико-методологічної бази морських геоecологічних досліджень. Але, незважаючи на певну недосконалість, представлена класифікація вже сьогодні може бути основою для ґрунтової диференціації, районування та стратифікації МГЕС.

1. *Бабинец А. Е., Митропольский А. Ю., Емельянов В. А. и др.* Физико-механические свойства донных отложений Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1981. – 203 с.
2. *Емельянов В. А.* Основы морской геоэкологии: Теоретико-методологические аспекты. – Киев: Наук. думка, 2003. 238 с.
3. *Ломтадзе В. Д.* Инженерная геология. Инженерная петрология. – Л.: Недра, 1984. – 511 с.
4. *Міждержавний стандарт ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95).* Ґрунти. Класифікація. – К.:

- Міждержавна науково-технічна комісія з стандартизації і технічного нормування в будівництві, 1995.
5. *Неизвестнов Я. В.* Общая инженерно-геологическая классификация донных грунтов океана // Методы изучения физико-механических свойств донных отложений Мирового океана. – Л.: ПГО "Севморгеология", 1989. – С. 47–58.
6. *Осипов В. И.* Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 232 с.
7. *Саваренский Ф. П.* Инженерная геология. – Л.; М.: ГОИТИ, 1937. – 422 с.
8. *Сергеев Е. М.* Инженерная геология. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 384 с.
- Ін-т геол. наук НАН України,  
Київ  
E-mail: eva@nas.gov.ua
- Стаття надійшла  
29.08.11