

УДК 551

[https://doi.org/10.18524/2303-9914.2024.2\(45\).318042](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2024.2(45).318042)

В. В. Янко, д. г-м. наук, професор

О. С. Дікол, аспірантка

С. В. Кадурін, канд. геол. наук, доцент

Г. О. Кравчук, канд. геол. наук, доцент

В. М. Кадурін, канд. г-м. наук, доцент

Т. О. Кондарюк, канд. геол. наук, доцент

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Україна,

кафедра морської геології, гідрогеології, інженерної геології та палеонтології

Шампанський пров. 2, Одеса, 65058, Україна

vl.kadurin@gmail.com

БЕЗПЕКОВА СКЛАДОВА ВИВЧЕННЯ РОЗВАНТАЖЕННЯ ГЛИБИННИХ ФЛЮЇДНИХ ПОТОКІВ НА ДНІ ЧОРНОГО МОРЯ

Викиди метану на дно Чорного моря є явищем, що часто зустрічається, і залежно від їхньої інтенсивності можуть різною мірою впливати на безпеку мореплавання. Так одними із небезпечних є катастрофічні викиди метану, пов'язані з грязьовими вулканами. Найбільшу небезпеку становлять великі сипи, в яких струмінь газу, що викидається, може підійматися на сотні метрів, іноді доходючи до поверхні, що призведе до втрати плавучості судна, яке потрапило в такий струмінь. Ще більшою мірою подібні явища впливатимуть на навігацію підводних суден.

Для врахування подібних ризиків необхідно мати детальну та інтерактивну карту розташування вже наявних метанових викидів. Нами для цих цілей була проведена робота з оцінки можливості виявлення таких явищ дистанційними методами, і насамперед через інтерпретацію геологічної інформації за космічними знімками.

Ключові слова: Чорне море, глибинні флюїди, термогенний метан, безпека мореплавства.

ВСТУП

Досягнення геологічної науки, разом з прогнозом нових джерел мінеральної сировини, особливо нафти й газу в морському середовищі, виявили і нові природні явища, що існують на дні Чорного моря. До них відносяться катастрофічні викиди метану через сипи та газові плюми схильні до самозаймання, виверження грязьових вулканів, що супроводжуються викидами вулканічної брекчії та мінералізованих розчинів, зміна фізичних і хімічних властивостей морської води в результаті проходження глибинних флюїдів через морську воду. Вочевидь ці природні явища становлять серйозну загрозу для безпечного плавання надводних і підводних суден. Наприклад, газові бульби від вивержень мета-

ну можуть потопити судно; аномалії в атмосфері з переваженням безкисневих газів можуть викликати практично миттєву загибель аеробної біоти; самозаймання метану. З огляду на, численні місця РГФП (Розвантаження глибинних флюїдних потоків) біля берегів Криму, в Керченській затоці, а також в області переходу шельфу в континентальний схил, такий сценарій виключити не можна. Основною ідеєю статті є результати вивчення місць РГФП на дні в економічній зоні України та прилеглий глибоководній частині Чорного моря, з метою оцінки ризику для безпечного руху цивільних і воєнних суден як надводних, так і підводних. Але воєнний стан радикально змінив концепцію поняття «безпека мореплавства» і перевів його в діаметральну протилежність. Тепер необхідно розглянути ці питання з погляду небезпеки мореплавання, тобто можливості використання наявних даних для забезпечення захисту Української частини акваторії Чорного моря від проникнення кораблів противника. Ідея підкріплена теорією глобального флюїдогенезу в геології, що розроблюється авторами статті, та знанням закономірностей проходження газових і нафтових потоків через осадовий чохол дна та товщу води шляхом геологічних, геофізичних, гідрогеологічних, геохімічних, мінералогічних, палеонтологічних та космічних, методів, ще дозволили створити єдину регіональну геоінформаційну систему (ГІС) РГФП на морському дні.

Крім того, актуальність наведених в статті матеріалів визначається тим фактом, що нині немає ні карт розташування РГФП, що становлять собою небезпеку для мореплавства, ні їх характеристик і можливих сценаріїв поведінки, ні можливості оцінки тимчасових інтервалів їх проявів. При цьому наявні розрізнені матеріали по геології, гідрології та дистанційно-спутниковому моніторингу показують, що Чорне море взагалі, та економічна зона України та прилегла до неї глибоководна частина особливо, є чи не найбільш активним в цьому відношенні об'єктом у світі. Причому максимальна кількість небезпечних природних об'єктів знаходиться в акваторії поблизу півострова Крим та Керченської затоки.

Метою роботи є всебічне вивчення місць РГФП на морському дні для створення комплексної та несуперечливої ГІС з визначенням місць їх розташування, оцінкою визначених місць за ступенем небезпеки (слабо, середньо, сильно і дуже сильно небезпечні) для надводного і підводного судноплавства в економічній зоні України та прилеглої глибоководної частини Чорного моря.

Завдання:

1. Створення бази геолого-геофізичної інформації, що характеризує геолого-структурні особливості зон РГФП на дні Чорного моря, тобто сипи, плюми та грязьові вулкани, що фактично входять у склад труб дегазации за їх геохімічними, мінералогічними, і палеонтологічними ознаками. В основу створення бази даних буде покладено комплексний метод направлено-рангової інтерпретації геологічної інформації, розробленої раніше авторами статті (патент № 150716).

2. Створення бази даних за гідрологічними особливостями водної товщі в місцях РГФП. Особлива увага при цьому приділена швидкості й характеру проходження газового фронту через водну товщу і зміна його фізичних і хімічних властивостей у морській воді, що впливають в першу чергу на плавучість морських суден.

3. Оцінка можливостей використання дистанційного зондування землі для виявлення і характеристик викидів метану з дна Чорного моря.

Об'єкт дослідження – Чорне море.

Предмет дослідження – Виверження флюїдних потоків на дно моря та їх роль в безпеці мореплавства.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Під час написання статті було використано переважно матеріали випробування, отримані під час морських експедиційних робіт, які виконувала Лабораторія НДЛ-3 ОНУ ім. І.І. Мечникова та їх обробка у 2008–2024 роках при виконанні міжнародної програми «Гермес» (Янко и др., 2014; Янко и др., 2017) та на конкурсній держбюджетній основі «Метан у Чорному морі» (Янко-Nombach et al, 2019; Шнюков, Янко, 2017), а також «Розробка прогностичних критеріїв пошуків покладів ВВ в Чорному морі на засадах теорії флюїдогенезу» (Чепіжко та ін, 2020; Чепіжко та ін., 2021; Дікол, 2022), «Вивчення розвантаження глибинних флюїдних потоків на дні Чорного моря з метою оцінки безпеки мореплавства».

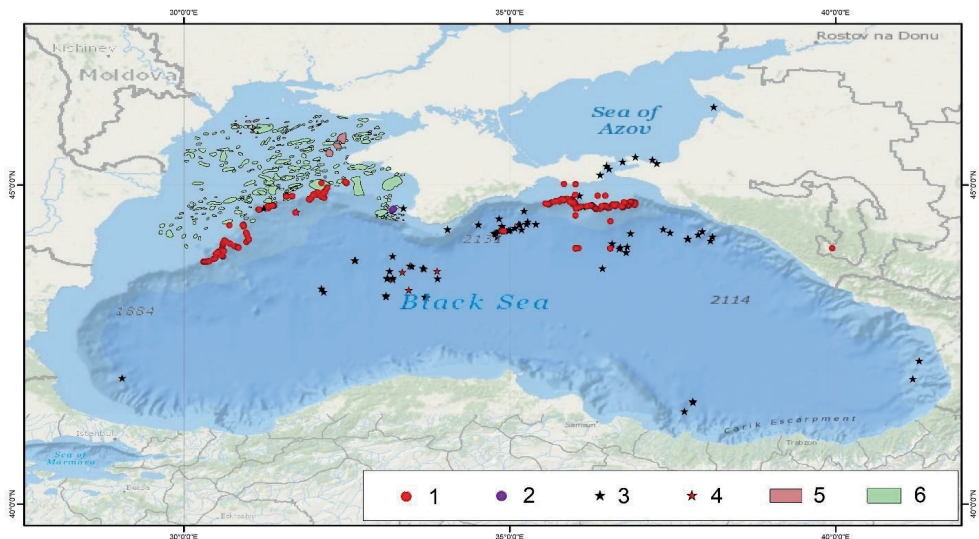


Рис. 1 – Розташування всіх наявних місць викидів метану в морську воду. Умовні позначення 1–6: 1 – газові факели, 2 – газуючі кратери, 3 – грязьові вулкани, 4 – глибоководні грязьові вулкани, 5 – труби дегазациї, 6 – перспективні структури на вуглеводневі за даними 80–90 рр.

Загалом з дна Чорного моря за різними оцінками викидається 1 млрд м³ метану на добу. Близько 80 млрд м³ метану розчинено в морській воді, попри те, що води Чорного моря постійно оновлюються, хоча й повільно, через Босфорську протоку кожні 400–2000 років. Це означає, що чорноморська вода постійно насичена метаном, для чого повинен існувати потужний флюїдогенний потік вуглеводневих газів (ВГ) із глибинних порід, а отже, і наявність колекторів, які їх містять, під морським дном (Шнюков, Янко, 2014, 2017).

Проводились різноманітні дослідження речовинного складу відкладів (гранулометричний, мінералогічний, хроматографічний, рентгено-дифрактометричний, термобарогеохімічний, палеонтологічний аналіз) (Сучков та ін., 2017; Янко та ін., 2021). За допомогою цих методик було визначено кількісну характеристику вмісту метану в донних пробах та його гомологів та інших характеристик.

Метод визначення та використання ізотопів (вуглецю $\delta^{13}\text{C}$ та кисню $\delta^{18}\text{O}$), отриманих з раковин молюсків і форамініфер (Дікол, 2022; Yanko et al, 2024).

Метод дистанційного зондування землі. Для дослідження температури та інших параметрів поверхні моря було використано супутникові знімки Sentinel-3 (SLSTR).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Подібні дослідження за останні 5 років у світі відсутні, але є більш ранішні спостереження. Напередодні Кримського землетрусу 12.09.1927 японські водолази, що підіймали затонуле судно «Чорний принц», зупинили роботу через втрату прозорості води завдяки надмірному виділенню метанових бульбашок з морського дна (Димитров та ін., 2006). Мау, Monaghan (2003) промоделивали, що газова бульба, утворена природним розвантаженням метангідратів у Північному морі, може втопити судно, якщо її радіус рівний/перевищує довжину корпусу судна завдяки стовпу води, який підіймається над бульбою при її досягненні поверхні моря. У Відьминій дірі в Північному морі на дні кратера знаходиться рибальський траулер, який горизонтально лежить на дні підводного кратера що, як пишуть автори, виник в процесі великого викиду метану через грязьовий вулкан. Сгоров та ін. (2011) підраховали, що «При надходженні в поверхневий шар води в Чорному морі понад 30 л метану в секунду судно може втратити плавучість і затонути». І тому є приклади можливого впливу викиду метану на загибель суден «Amira-1» і «Memory of Mercury» в Чорному морі, які добре відомі. Крім того, при інжекції метану в атмосферу понад 150 л/сек можливе його смолоскипне загоряння і отруєння атмосфери. Так Чуйко і Штенгелов (2013) описали катастрофічне збагачення атмосферного повітря Одеси безкисневими газами H_2S , CH_4 , Ar , та ін. у 2008/2012 рр., які надійшли з нижньої частини земної кори та верхньої мантії через тектонічні розломи. Це знищило кисень у водоймах й атмосфері та супроводжувалося масовими заморами риб і, навіть, випадком загибелі людей.

Klein et al. (2019) описали можливий механізм зародження вуглеводневих флюїдів на межі верхньої мантії і земної кори з зовнішніми частинами мантійних плюмів ультраосновного складу з домінуванням олівіну. Їх концептуальна модель включає 7 етапів: 1) охолодження порід з олівіном від магматичних температур до температур тендітних пластичних деформацій; 2,3) порушення тектонічного режиму, що дозволяє проникати і захоплювати корові води; 4,5) тривале охолодження, що викликає серпентинізацією стінок флюїдних включень, формування H_2 , і створювання коровими водами умов, що сприяють відновленню CO_2 до абіотичного CH_4 ; 6) вивільнення абіотичного CH_4 в циркуляційні гідротермальні джерела завдяки подальшій взаємодії олівінової матриці з водними розчинами, які транспортують його на морське дно; 7) скидання рідин, збагачених абіотичним CH_4 з допомогою сфокусованого, розсіяного або майже невидимого потоку в обстановці морського дна і лужних джерел на суші. Більшість включень в олівіні зустрічається в четвертинних породах, відібраних на краях сучасних плит або біля них. Але є приклади і більш ранніх проявів описуваного процесу. Подібні процеси за участю абіотичного CH_4 можуть відбуватися в інших місцях сонячної і інших зоряних системах, з важливими наслідками для розподілу і підтримки мікробного життя за межами Землі і можуть фіксуватися при астрофізичному вивченні далеких зорів і планет. Mazzini, Etiope (2017) вказують на грязьові вулкани та сипи як провідники РГФП в морі і на суші. Черных та ін. (2018) описують акустичний метод кількісної оцінки потоку метану з областей його розвантаження в системі донні відклади – водна товща. Газогеохімічне знімання вуглеводнів в морських осадових відкладах широко поширена (Шакиров, 2018). Dessandier et al. (2019), також як і ми, підкреслюють, що метандифузійні райони можуть бути отруйними для біоти. Дистанційне-спутникове зондування Землі в різних спектральних діапазонах та аспектах (Ayasse et al., 2019; Brown et al., 2020; Довгий та ін., 2020) забезпечує космічні знімки у відкритому доступі.

Як результат РГФП, з дна Чорного моря вивільняється до 1×10^9 м³, але є підрахунки які дають показники $5,0 \times 10^9$ – $6,0 \times 10^9$ м³ на рік метану через сипи або факели. Є приклади потужних з самозайманням одномоментних викидів метану (плюмів), зв'язаних із землетрусами, та грязьовими вулканами. Різні аспекти цих природних явищ вивчені авторами в низці проєктів та опубліковані. В них розглянуті питання від чинників появи метану та інших безкисневих газів в донних відкладах до формування газоносних покладів в осадовому чохлаі.

За результатами робіт створено цілісну і несуперечливу картину формування, руху і інтенсивності РГФП, насичених вуглеводними та іншими безкисневими газами, від незначного просочування через осадову товщу до потужних вибухів газових плюмів та грязьових вулканів. Захищено патентом методом пошуку на дні Чорного моря з використанням направлено-рангової інтерпретації геолого-геофізичної інформації. Але залишилась не розробленою проблема погрози РГФП на рух надводних і підводних суден.

Роботи із систематизації метанових проявів показали, що в північно-західній (ПЗ) частині Чорного моря всі РГФП можна розділити за ступенем прояву їхньої інтенсивності на три великі групи: а) грязьові вулкани, б) струменеві виділення (сипи) і в) області повільного просочування (Труби дегазації). Причому активний вплив на водну товщу чинять тільки перші дві. Нами було вперше створено інтерактивну карту всіх проявів, яка і лягла в основу ГІС, при цьому найдетальніше було вивчено тільки два грязьові вулкани на перегині шельфу і переході його в континентальний схил, які потрапили в зону наших експедиційних робіт, а загалом щодо грязьових вулканів було підготовлено й опубліковано у видавництві (Shnyukov, Yanko-Nombach, 2020).

Інформацію по струменевим виходам (сипах), крім наших досліджень, було зібрано з літературних джерел, зокрема і за нашою участю, та виробничих звітів. Ця інформація так само відображена в інтерактивній карті. Результати найбільш небезпечних, часто катастрофічних проявів (грязьових вулканів) було зібрано в окрему фундаментальну працю.

Що стосується безпосередньо сипів, то їх розподіл в акваторії Чорного моря має досить складний характер. Найпоширеніші вони на північному заході Чорного моря, у румунському та болгарському секторах Чорного моря, на Керченсько-Таманському схилі, біля берегів Грузії. У низці районів, наприклад, біля берегів Туреччини, можна очікувати широкий розвиток факелів, як показують дослідження, що проводилися для газопроводів, але даних про роботи в цій акваторії поки що немає. Загалом можна висунути пропозицію про майже повсюдний розвиток газових факелів по периферії Чорного моря на глибинах до 600–650 м. Нижче розташована зона гідратуутворення, де за термодинамічними умовами вільний метан утворює газогідрати. Газові факели тут рідкісні і на більшій частині є відгомонами діяльності грязьових вулканів. Флюїди грязьових вулканів подекуди навіть мають інший температурний режим і зумовлюють вищу температуру сопкової брекчії (Шнюков и др., 2005). Нерідко газові факели на грязьових вулканах у глибокому морі досягали 800, 900 і навіть 1300 метрів, за діаметром (вулкан Дворіченського) до 400 м. Іноді, однак, це невеликі фонтани.

Рельєф морського дна, де розвиваються газові сипи, найрізноманітніший. Локалізація сипів за глибинами дна в Чорному морі показує, що найбільш насиченими факелами є зовнішній шельф і верхня частина континентального схилу (рис. 2).

Але водночас сипи можуть фіксуватися на інших глибинах. У кожному регіоні розвитку газових сипів у Чорному морі свої специфічні особливості. Заслуговує на увагу питання про верхню межу розвитку сипів у Чорному морі. Вважається, що сипи майже не зустрічаються при глибинах моря менш як 100 м. Це не так. Фактично дослідження сипів проводили на великих судах, які на невеликих глибинах не працюють. За рідкісних досліджень з невеликих суден зафіксовано, наприклад, сипи в гирлі р. Чорної (Шнюков и др., 2021).

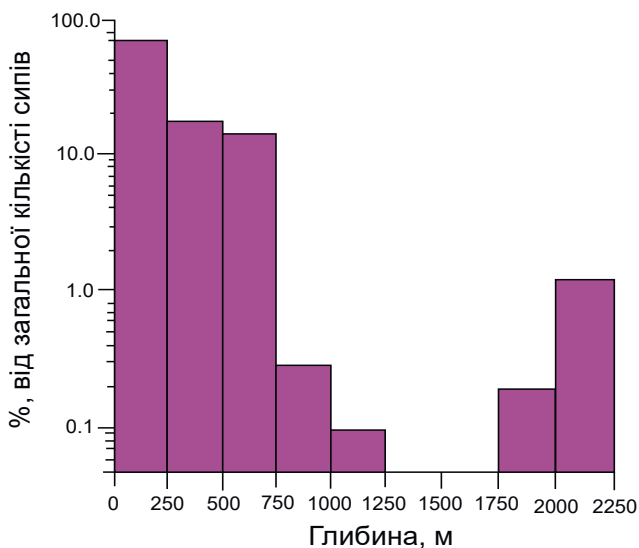


Рис. 2. Гістограма розподілу газовиділень за глибиною Чорного моря

Масштаби газовіддачі різні в різних районах моря. Якоюсь мірою інтенсивність газовіддачі відбивається в потужності та висоті газових факелів. Проведено вивчення цих параметрів для всіх районів розвитку сипів у Чорному морі. Виявилось, що найпотужніші факели спостерігалися на північному заході Чорного моря. Їхня висота сягала 600–700 м, але, як правило, переважали висоти 100–20 м. Досить наочно показує локалізацію великих факелів гістограма, на якій відображено статистику їхніх знахідок на глибинах 100, 100–200, 200–300, 300–400, 400–500, 500–600, 600–700 м.

Фізично кожен факел являє собою безліч бульбашок, що послідовно виділяються і підіймаються вгору. Модель газообміну в системі «водне середовище бульбашок» математично вивчена В.М. Єгоровим та ін. (2011). Акустичний портрет, за якими вивчаються сипи, створює відображення маси бульбашок газів різного розміру, що рухаються від поверхні дна до поверхні води. Досить імовірно, що розмірність бульбашок, які виділяються з дна, має в різних районах різні значення. В.М. Єгоров та ін. (2011) наводять, наприклад, дані щодо розмірності бульбашок, що виділяються у водну товщу з глибин 80–100 м і 150–230 м у районі палеодельти Дніпра. У першому випадку діапазон початкових розмірів бульбашок становив 1,3–18,3 мм із середнім значенням 5,1 мм, у другому – 2,0–15,7 мм із середнім значенням 7,7 мм. Звичайно, розмірність бульбашок обумовлюється насиченістю породи або осаду газом. Так, в іншому районі моря в районі гирла р. Супса за глибини полігона 36 м розмірність бульбашок змінювалася від 1,3 до 30,0 мм за середнього значення 12,0 мм. Виділення бульбашок із дна навіть у межах сипу відбувається нерівномірно. Загалом В.М. Єгоров та ін. (2011) оцінюють розмір бульбашок, що виділяються

з газових сипів Чорного моря, цифрами від 0,2 мм до 100,0 мм, при цьому спливання бульбашок, які найчастіше трапляються, залежать від їхнього діаметра і чистоти поверхні бульбашки та становлять 4,0–13 мм. Швидкість становить 2,0–33 см/с, найчастіше 22–24 см/с. Бульбашки, що виділилися, спрямовуються вгору. При цьому швидкість руху бульбашок різна. Для бульбашок діаметром понад 30 мм швидкість спливання становила 22–27 см/с, для ще більших бульбашок більше. Посилаючись на літературні джерела, В. М. Єгоров та ін. (2011) зазначають, що на швидкість підйому газу впливають розміри та форма бульбашок. Своєю чергою форма бульбашок залежить від їхніх розмірів. Дрібні бульбашки найчастіше сферичної форми, що зумовлено поверхневим натягом. Бульбашки середніх розмірів еліпсоїдальні, а великі являють собою сегменти сфер та виділяють «чисті» і «брудні» бульбашки. Поверхнево-активні речовини останніх розвинуті на стінках бульбашок та представлені солями, полісахаридами, протеїнами, ліпідами. Наявність поверхнево-активних речовин навіть у малих кількостях змінює поведінку бульбашки. Поведінка бульбашок у водній товщі істотно впливає на густину морської води і як наслідок на плавучість морських суден.

Єгоров та ін. (2011) зазначають, що поверхні води досягають лише деякі бульбашки. Потік в атмосферу становить лише 1.6% від усієї кількості газотвореного метану (підрахунки для великої площі від каньйону Витязь на заході Чорного моря до Прикерченського району). Це означає насичення метану в струменевих виділеннях усього водного стовпа і включення метану в біогеохімічні цикли й біолого-продукційні процеси Чорного моря.

Невисокий відсоток досягнення бульбашок поверхні у звичайних випадках не впливає на безпеку мореплавства, але в тих випадках, коли їхній сип відмічається і на поверхні, густину морської води може бути суттєво зменшено. Крім того, залишається відкритим питання взаємодії густини води на глибинах понад 100 м і густини самої води. Це явище найнебезпечніше є для підводних суден для яких рух у зануреному стані розраховується на рівні нульової плавучості.

Найважливішим фактором безпеки мореплавства є обсяг викиду метану у водну товщу.

За даними Artemov Y, Egorov V., Gulin S. (2019), від метанових сипів у воді Чорного моря надходить щорічно 1,2% 100 м³ метану. У підсумку виявляється, що загальна кількість метану у водній товщі Чорного моря оцінюється в 92 Тг або 128.3 світу м³ за атмосферного тиску (Retbarg et al. 1991). За даними Шнюков и др. (2021), вміст метану в анаеробних водах становить 108 млрд м³.

Загальною особливістю всіх газових сипів Чорного моря є абсолютне переважання метану. Різні райони розвитку сипів відрізняються лише невеликими або незначними домішками інших газів. Загальний обсяг накопиченого аналітичного матеріалу за роки вивчення чорноморських сипів досить значний.

Мабуть, краще за інші райони моря вивчений північний захід, де сипи найчисельніші, найінтенсивніші й відносно найрізноманітніші (Шнюков и др., 2021).

А. К. Рязанов в 1996 році після відкриття газових факелів гідрографами М. Файзулінім і О. Рогозою 1988 р., обстежив на НІС «Профессор Водяницький» район північного заходу Чорного моря та виявив 58 факелів. Через півтора року А. К. Рязанов на судні ВМ-416 обійшов координати зафіксованих факелів і встановив, що газові джерела продовжували діяти. Було визначено склад газів у лабораторії «Чорноморнафтогаз». Встановлено, що у складі присутні 98,72% метану, 1,053% азоту, 0,15% ізобутану, решта двоокис вуглецю (0,043%), пропан (0,017%) та інші компоненти. Сірководень не визначали через відсутність приладів, але наявність газових шаруватих хмар у зоні дії факелів, запах сірководню під час горіння факелів дали змогу А. К. Рязанову припустити наявність домішки сірководню у складі газів факелів (Шнюков и др., 2021).

Для іншого району північного заходу Чорного моря – каньйону палеодніпра – масштабні визначення складу газів – газових сипів виконали Лейн та Іванов (2005). Було вивчено склад газів десяти газових сипів палеодніпровського каньйону та зафіксовано цілковито панівний метан (95,0–99,1%), відсутність H_2 : (0,00–0,25%), N_2 (0,17–5,10%), CO_2 (0,0–1,10%). Вкрай низький вміст гомологів метану сприймається авторами статті як доказ біогенного генезису метану.

Велику увагу при оцінці частоти проявів вулканів і сипів було приділено вивченню та інтерпретації космічних знімків у тепловому діапазоні, який дає змогу працювати на морських акваторіях. Крім того, з 2023 року на супутнику Sentinel-5K встановлений метановий детектор, який дає змогу фіксувати вміст метану на поверхні моря. Аналіз цих даних показав, що значні концентрації метану на поверхні Чорного моря фіксуються лише в літні місяці та здебільшого у глибоководній частині та на переході шельфу в континентальний схил (рис. 3).

Одним з актуальних питань оцінки впливу метану на водну товщу є питання про походження метану. У цьому питанні період конфронтаційних версій уже минув і більшість дослідників згодні з існуванням двох генетичних груп метану – біогенного (екзогенного) і термогенного (абіогенного, ендегенного). Для досягнення мети пропонованої статті природно те, що має бути розглянуто питання ендегенного метану, оскільки прояви його виходів на поверхню дна мають великі енергетичні наслідки. Нами на великому фактичному матеріалі показано найбільш переконливі критерії виділення ендегенного метану. До них належать локальні ділянки виділення газу, наявність гомологів метану, аж до пентану, і підвищені вагові значення ізотопу ^{13}C , зміни характеристик параметра меобентосу, насамперед форамініфер і нематод.

Особливу увагу було звернено на область максимального розвитку метанових викидів, що фіксуються на переході ПЗ шельфу Чорного моря в континентальний схил, оскільки на частині території (див. рис. 1) у попередні роки нами були виконані комплексні вивчення в донних відкладах (Янко и др, 2014).

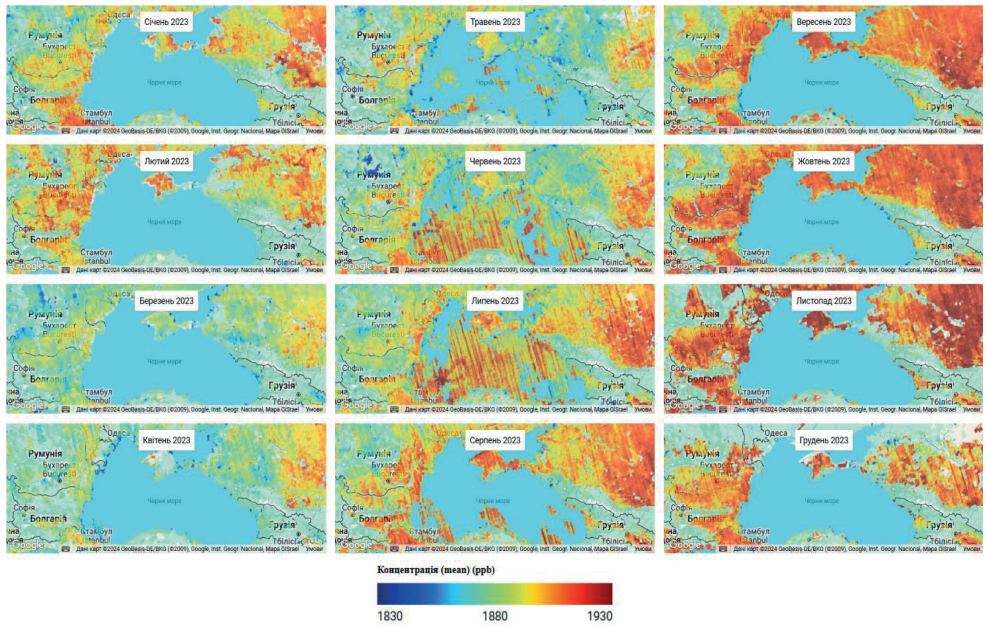


Рис. 3 – Концентрація метану на поверхні Чорного моря за 2023 рік (Sentinel – 5P-Methane)

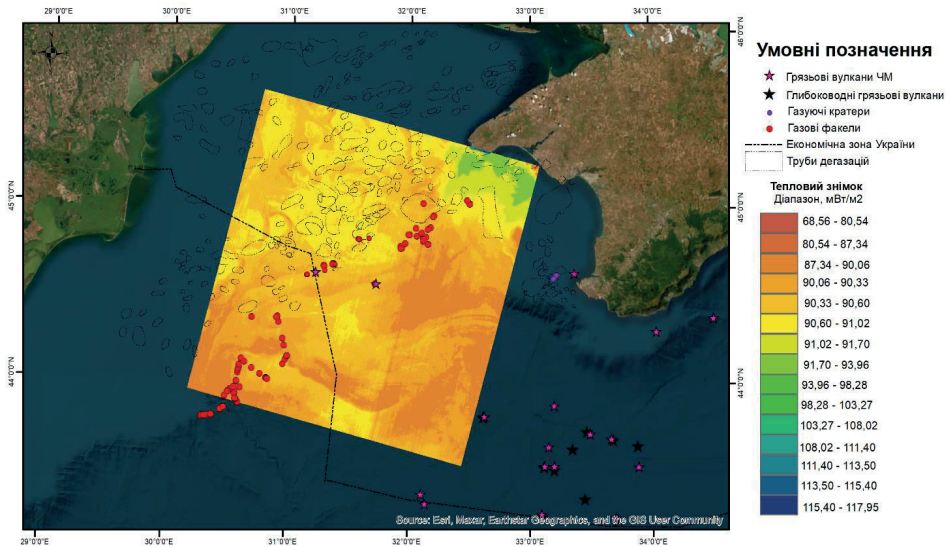


Рис. 4. Тепловий знімок супутника Landsat-8 (26.08.2023 р.)

Це дало змогу використовувати ці дані як підсупутникові матеріали. Усі ці роботи були проведені для оцінки можливостей пошуків викидів метану у водну товщу з використанням супутникових знімків.

ВИСНОВКИ

Викиди метану на дно Чорного моря є явищем, що часто зустрічається, і залежно від їхньої інтенсивності можуть різною мірою впливати на безпеку мореплавання. Так найбільш небезпечними є катастрофічні викиди метану, пов'язані з грязьовими вулканами. Але, по-перше, більша частина таких вулканів розташована на великій глибині, а по-друге, періодичність їхніх вивержень досить рідкісна. Хоча існує і низка вулканів, що неглибоко залягають, наприклад вулкан «Володимир Паршин», які в процесі свого виверження можуть становити небезпеку.

Найбільшу небезпеку становлять великі сипи, в яких струмінь газу, що викидається, може підійматися на сотні метрів, іноді доходячи до поверхні. У цьому разі всередині струменя, складеного бульбашками газу різного розміру, буде істотно змінена щільність води, що призведе до втрати плавучості судна, яке потрапило в такий струмінь. Ще більшою мірою подібні явища впливатимуть на навігацію підводних суден.

Очевидно, що для врахування подібних ризиків необхідно мати детальну та інтерактивну карту розташування вже наявних метанових викидів. Таку карту ми створили і вона потребує подальшого вдосконалення. Але, поки в акваторії Чорного моря тривають бойові дії, провести такі роботи є неможливим.

Найважливішим питанням оцінки ризиків мореплавання є пошук нових, ще не відомих викидів метану на дно Чорного моря. Нами для цих цілей була проведена робота з оцінки можливості виявлення таких явищ дистанційними методами, і насамперед через інтерпретацію геологічної інформації за космічними знімками. Ми показали, що для морських акваторій це можливо в теплових спектральних знімках, оскільки в них є ендегенна складова записаних подій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Вивчення процесів формування та просторового розподілу метану у Чорному морі та теоретичне обґрунтування його впливу на еко- та геосистеми басейну: звіт про НДР (заключн.) / НДЛ –3 ОНУ ім. І.І. Мечникова; кер. теми *І. О. Сучков*; викон.: *В. В. Янко, О. В. Чепіжко, В. М. Кадурін та ін.*, 2017. 186 с.

Газовые факелы Чорного моря: монографія / *Е. Ф. Шнюков* и др. Киев: НАН України, ГНУ «МорГеоЭкоЦентр НАН України», 2021. 507 с. ISBN978–617–674–054–4

Димитров П., Траянов Т., Бяков А. и др. Геодинамические обсервационные станции для раннего оповещения сейсмической активности на дне Черного моря. *Геодинамика и сейсмичность Средиземноморско-Черноморско-Каспийского региона*: сб. тез. международного семинара ЕАГО. Геленджик, 2–7 октября 2006 г. DOI: 10.13140/RG.2.2.14534.16967

Дікол О.С. Використання значень стабільних ізотопів вуглецю та кисню при пошуках нафтогазових родовищ. Сучасні тенденції розвитку науки і техніки: зб. тез. Міжнародної наук.-прак. Конф., м. Львів 18–19 серпня, 2022 р. / Університет лідерства та інновацій. Львів, 2022. С. 27–32.

Дікол О. С. Особливості розподілу вуглеводневих газів у донних відкладах Каркінітської затоки. *Вісник Одеського національного університету*. Географічні та геологічні науки. 2022. Т. 27, № 1(40). С. 133–143. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.1\(40\).257538](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.1(40).257538)

Довгий С. О., Бабійчук С. М., Кучма Т. Л. та ін. Дистанційне зондування Землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах: навч.-метод. посіб. Київ: Національний центр «Мала академія наук України», 2020. 268 с. ISBN 978-617-7945-11-5

Егоров В. Н., Артемов Ю. Г., Гулин С. Б. Метановые силы в Черном море: средообразующая и экологическая роль: монография. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. 405 с. ISBN: 978-966-02-5979-9. Леин А. Ю., Иванов М. В. Крупнейший на Земле метановый водоем. *Природа*. 2005. № 2. С. 18–26.

Розробка прогнозних критеріїв пошуків покладів ВВ в Чорному морі на засадах теорії флюїдогенезу: звіт про НДР (заключ.) / НДЛ –3 ОНУ ім. І. І. Мечникова; кер. теми В. В. Янко; викон.: В. М. Кадурін, Г. О. Кравчук, С. Д. Какаранза., О. В. Чепіжко. та ін. Одеса, 2021. 180 с.

Спосіб визначення прогнозних критеріїв і пошукових ознак вуглеводневих покладів на шельфі моря: пат. 150716 Україна: G01N1/28 (2006.01). № u202104358; заявл. 26.07.2021; опуб. 30.03.2022, Бюл. № 13 4 с.

Чепіжко О. В., Янко В. В., Кадурін В. М., Науко І. М., Шаталін С. М. Досвід застосування експертного аналізу та рангової кореляції при проведенні геолого-прогнозних робіт на вуглеводні (на прикладі шельфу Чорного моря). *Вісник ОНУ*. Географічні та геологічні науки. 2021. Том 26 № 1(38). С. 233–248

Чепіжко О. В., Янко В. В., Науко І. М., Кадурін В. М., Шаталін С. М., Шураєв І. М. Комплексне тлумачення чинників і параметрів продуктивних вуглеводневих структур. *Вісник ОНУ*. Сер.: Географічні та геологічні науки. 2020. Т. 25, вип. 2(37). С. 289–309 DOI: 10.18524/2303-9914.2020.2(37).216578

Чуйко Е. Э., Штенгелов Е. С. О причине неприятного запаха воздуха в Одессе. *Вісник ОНУ*. Сер.: Географічні та геологічні науки. 2013. Т. 18, вип. 3(19). С. 126–132.

Шакиров Р. Д. Газогеохимические поля окраинных морей восточной Азии: монография. ГЕОС, 2018. 339 с.

Шнюков Е. Ф., Янко В. В. Газотдача дна Черного моря: геолого-поисковое, экологическое и навигационное значение. *Вісник Одеського національного університету*. Серія: Географічні та геологічні науки. 2014. Т. 19, Вип. 4. С. 225–241. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vonu_geo_2014_19_4_23.

Шнюков Е. Ф., Старостенко В. И., Русаков О. М., Кутас Р. И. Глубинная природа газовых факелов западной части Черного моря по результатам геофизических исследований. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2005. № 5. С. 70–82.

Шнюков Е. Ф., Янко В. В. Проблемы углеводородного потенциала Черного моря и пути его освоения. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2017. № 4. С. 41–53.

Янко В. В., Кадурин С. В., Кравчук А. О., Кулакова И. И. Мейобентос как поисковый признак скопленных газообразных углеводородов в донных отложениях Черного моря. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2017. № 2. С. 26–59. http://nbuv.gov.ua/UJRN/gikkso_2017_2_3.

Artemov Y., Egorov V., Gulin S. Influx of streaming methane into anoxic waters of the Black Sea basin. *Океанология*. 2019. № 59. С. 952–963.

Ayasse A. K., Dennison P. E., Foote M., Thorpe A. K., Joshi S., Green R. O., Duren R. M., Thompson D. R., Roberts D. A. Methane Mapping with Future Satellite Imaging Spectrometers. *Remote Sens*. 2019. 11(24):3054. <https://doi.org/10.3390/rs11243054>

Brown J. R., Brierley C. M., An S.-I., Guarino M.-V., Stevenson S., Williams C. J. R., Zhang Q., Zhao A., Abe-Ouchi A., Braconnot P., Brady E. C., Chandan D., D'Agostino R., Guo C., LeGrande A. N., Lohmann G., Morozova P. A., Ohgaito R., O'ishi R., Otto-Bliesner B. L., Peltier W. R., Shi X., Sime L., Volodin E. M., Zhang Z., and Zheng W.: Comparison of past and future simulations of ENSO in CMIP5/PMIP3 and CMIP6/PMIP4 models. 2020. Volume 16, issue 5, CP 16. С. 1777–1805. <https://doi.org/10.5194/cp-16-1777-2020>

Dessandier, P.-A., Borrelli, C., Kalenitchenko, D., Panieri, G. (2019). *Benthic foraminifera in Arctic methane hydrate bearing sediments*. *Frontiers in Marine Science*. Vol. 6, Article 765. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00765>

Klein F., Grozeva N. G., Seewald J. S. (2019). *Abiotic methane synthesis and serpentinization in olivine-hosted fluid inclusions*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 116. 10.1073/pnas.1907871116.

May D. A., Monaghan J. J. (2003). *Can a single bubble sink a ship?*. vol. 71, iss. 9, 842–849. <https://doi.org/10.1119/1.1582187>

Mazzini A., Etiope G. (2017) *Mud Volcanism: An Updated Review*. *Earth-Science Reviews*. 168, 81–112. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.03.00>

Reeburgh W. S., Ward B. B., Whalen S. C., Sandbeck K. A., Kilpatrick K. A., Kerkhof, L. J. (1991). *Black Sea methane geochemistry*. *Deep-Sea Res.* 38, 1189–1210.

Shnyukov E., Yanko-Hombach V. (2020). *Mud Volcanoes of the Black Sea Region and Their Environmental Significance*. Springer, Switzerland, 494 p.

Yanko, V., Kravchuk A., Kondariuk T., Kulakova I., Kadurin V., Dikol O. Kadurin S. (2024). *Influence of methane and its homologues on foraminifera and nematodes in the Northwestern part of the Black Sea*. Marine Environmental Research. Vol. 193, 106285 URL: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.106285>

Yanko-Hombach V., Kadurin S. V., Kravchuk A. O. et al. (2019). *Locating and identifying the location of intensive deep fluid streams on the Black Sea bottom using meiobenthos*. Proceedings of INQUA IFG 1709 POCAS Third Plenary Conference and Field Trip, October 11–18, 2019, Tehran, Iran, INIOAS, pp. 171–174. ISBN978–964–5938–72.5 www.avalon-institute.org

REFERENCES

Vyvchennia protsesiv formuvannia ta prostorovoho rozpodilu metanu u Chornomu mori ta teoretychne obgruntuvannia yoho vplyvu na eko- ta heosystemy baseinu (Study of the processes of formation and spatial distribution of methane in the Black Sea and theoretical substantiation of its impact on the eco- and geosystems of the basin): report on research (final) / Research Laboratory-3 of the I.I. Mechnikov ONU; Project manager I. O. Suchkov; executors: V. V. Yanko, O. V. Chepizhko, V. M. Kadurin and others, 2017. 186 c. [in Ukrainian].

Gazovye fakely Chornogo morya (2021). (*Gas flares of the Black Sea*). Shnyukov E. F., Kobolev V. P., Lyubitsky A. A.; Paryshev A. A., Maslakov N. A., Inozemtsev Yu. I. ... Chifchi G. Kyiv: NAS of Ukraine, State Scientific Institution «MorGeoEcoCenter of the NAS of Ukraine», 2021. 507 p. ISBN978–617–674–054–4 [in Russian].

Dimitrov P., Traianov T., Byakov A. et al. (2006). *Geodinamicheskie observacionnyye stancii dlya rannego opovesheniya sejsmicheskoy aktivnosti na dne Chernogo morya (Geodynamic observatory stations for early warning of seismic activity on the Black Sea bottom)*. Geodynamics and seismicity of the Mediterranean-Black Sea-Caspian region: Proc. of the international seminar EAGO. Gelendzhik, October 2–7. DOI: 10.13140/RG.2.2.14534.16967 [in Russian].

Dikol O. S. (2022). *Vykorystannia znachen stabilnykh izotopiv vuhletsiu ta kysniu pry poshukakh naftohazovykh rodovyshch (The use of values of stable isotopes of carbon and oxygen in the search for oil and gas fields)*. Modern trends in the development of science and technology: collection of abstracts of the International scientific and practical conference. Lviv, August 18–19, 2022 / University of Leadership and Innovation. Lviv. C. 27–32. [in Ukrainian].

Dikol O. S. (2022). *Osoblyvosti rozpodilu vuhlevodnykh haziv u donnykh vidkladakh Karkinitsoi zatoky. Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu (Peculiarities of the distribution of hydrocarbon gases in the bottom sediments of the Karkinit Bay)*. Odesa National University Herald. Geographical and geological sciences. Vol. 27, No. 1(40). P. 133–143. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303–9914.2022.1\(40\).257538](https://doi.org/10.18524/2303–9914.2022.1(40).257538) [in Ukrainian].

Dovgyi S. O., Babychuk S. M., Kuchma T. L. et al. (2022). *Dystantsiine zonduvannia Zemli: analiz kosmichnykh znimkiv u heoinformatsiynykh systemakh (Remote sensing of the Earth: analysis of satellite images in geographic information systems)*. Study guide. Kyiv, National Center “Small Academy of Sciences of Ukraine”. 268 p. ISBN978–617–7945–11–5 [in Ukrainian].

Egorov V. N., Artemov Y. G., Gulina S. B. (2011). *Metanovye sipy v Chernom more: sredobrazuyushaya i ekologicheskaya rol (Methane sands in the Black Sea: habitat and ecological role)*: SIC “ECOSY-Hydrophysics”. 405 p. ISBN: 978–966–02–5979–9. [in Russian].

Lein A. Yu., Ivanov M. V. (2055). *Krupnejshij na Zemle metanovyy vodoem (The largest methane reservoir on Earth)*. Nature. № 2, 18–26. [in Russian].

Rozrobka prognoznykh kryteriiv poshukiv pokladiv VV v Chornomu mori na zasadakh teorii fluidogenezu (Development of prognostic criteria for exploration of explosive deposits in the Black Sea on the basis of the theory of fluidogenesis): report on research (final) / Research Laboratory-3 of I.I. Mechnikov ONU; topic leader V. V. Yanko; executors: V. M. Kadurin, G. O. Kravchuk, S. D. Kakaranza, O. V. Chepizhko, et al. Odesa, 2021. 180 p. [in Ukrainian].

Sposib vyznachennia prognoznykh kryteriiv i poshukovykh oznak vuhlevodnykh pokladiv na shelfi moria (Method for determining the prognostic criteria and search features of hydrocarbon deposits on the sea shelf): patent 150716 Ukraine: G01N1/28 (2006.01). No. u202104358; declared 26.07.2021; published. 30.03.2022, Bulletin No. 13, 4 p. [in Ukrainian].

Chepizhko O. V., Yanko V. V., Kadurin V. M., Naumko I. M., Shatalin S. M. (2021). *Dosvid zastosuvannia ekspertnoho analizu ta ranhovoï koreliatsii pry provedenni heoloho-prognoznykh robot na vuhlevodni (na prykladi shelfu Chornoho moria) (Experience in the application of expert analysis and rank correlation when conducting geological and predictive works on hydrocarbons (on the example of the Black Sea shelf))*. Odesa National University Herald. Geographical and geological sciences. Vol. 26 No. 1(38), 233–248 [in Ukrainian].

Chepizhko O. V., Yanko V. V., Naumko I. M., Kadurin V. M., Shatalin S. M., Shuraev I. M. (2020). *Kompleksne tлумachennia chynnykh i parametrv produktyvnykh vuhlevodnykh struktur (Complex interpretation of factors*

and parameters of productive hydrocarbon structures). Odesa National University Herald. Ser.: Geographical and geological sciences. 2020. Vol. 25, issue 2(37), 289–309. DOI: 10.18524/2303–9914.2020.2(37).216578 [in Ukrainian].

Chuyko E. E., Shtengelov E. S. (2013). *O prichine nepriyatnogo zapaha vozduha v Odese (On the cause of unpleasant air odor in Odesa)* Odesa National University Herald. Ser: Geographical and geological sciences. Vol. 18, Issue 3(19). P. 126–132. [in Russian].

Shakirov R. D. (2018). *Gazogeoхимические поля окраинных морей восточной Азии (Gas-geochemical fields of the marginal seas of eastern Asia)*. GEOS. 339 p. https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_2088562 [in Russian].

Shniukov E. F., Yanko V. V. (2014). *Gazootdacha dna Chernogo morya: geologo-poiskovoe, ekologicheskoe i navigacionnoe znachenie (Gas return of the Black Sea bottom: geological prospecting, ecological and navigational significance)*. Series: Geographical and geological sciences. Vol. 19, Issue 4. P. 225–241. [in Russian].

Shnyukov E. F., Starostenko V. I., Rusakov O. M., Kutas R. I. (2005). *Glubinnaya priroda gazovyh fakov zapadnoj chasti Chernogo morya po rezul'tatam geofizicheskikh issledovanij (Deep nature of gas plumes of the western part of the Black Sea based on the results of geophysical studies)*. Geology and Mineral Resources of the World Ocean, 2005, No. 5. P. 70–82. [in Russian].

Shnyukov E. F., Yanko V. V. (2017). *Problemy uglevodorodnogo potentsiala Chyornogo morya i puti ego osvoeniya (Problems of the hydrocarbon potential of the Black Sea and ways of its development)*. Geology and Mineral Resources of the World Ocean. No. 4, 41–53. [in Russian].

Yanko V. V., Kadurin S. V., Kravchuk A. O., Kulakova I. I. (2017). *Mejobentos kak poiskovyj priznak skoplenij gazoobraznyh uglevodorodov v donnyh otlozheniyah Chernogo morya (Mayobenthos as a search sign of accumulations of gaseous hydrocarbons in the bottom sediments of the Black Sea)*. Geology and Mineral Resources of the World Ocean. № 2, 26–59. [in Russian].

Artemov Y., Egorov V., Gulin S. (2019). Postuplenie strujnogo metana v anoksicheskie vody chernomorskoj vpadiny (Influx of streaming methane into anoxic waters of the Black Sea basin). *Oceanology*, 59, 952–963. [in Russian]. 10.31857/S0030–1574596952–963.

Ayasse A. K., Dennison P. E., Foote M., Thorpe A. K., Joshi S., Green R. O. ... Roberts D. A. (2019). *Methane Mapping with Future Satellite Imaging Spectrometers*. Remote Sens. 11(24):3054. <https://doi.org/10.3390/rs11243054>

Brown J.R., Brierley C.M., An S.-I., Guarino M.-V., Stevenson S., Williams C.J.R. ... Zheng W. (2020). *Comparison of past and future simulations of ENSO in CMIP5/PMIP3 and CMIP6/PMIP4 models*. Volume 16, issue 5, CP 16, 1777–1805. <https://doi.org/10.5194/cp-16-1777-2020>

Dessandier, P.-A., Borrelli, C., Kalenitchenko, D., Panieri, G. (2019). *Benthic foraminifera in Arctic methane hydrate bearing sediments*. Frontiers in Marine Science. Vol. 6, Article 765. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00765>

Klein F., Grozeva N. G., Seewald J. S. (2019). *Abiotic methane synthesis and serpentinization in olivine-hosted fluid inclusions*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 116. 10.1073/pnas.1907871116.

May D.A., Monaghan J.J. (2003). *Can a single bubble sink a ship?*. vol. 71, iss. 9, 842–849. <https://doi.org/10.1119/1.1582187>

Mazzini A., Etiopie G. (2017) *Mud Volcanism: An Updated Review*. Earth-Science Reviews. 168, 81–112. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.03.00>

Reeburgh W.S., Ward B.B., Whalen S.C., Sandbeck K.A., Kilpatrick K.A., Kerkhof, L.J. (1991). *Black Sea methane geochemistry*. Deep-Sea Res. 38, 1189–1210.

Shnyukov E., Yanko-Hombach V. (2020). *Mud Volcanoes of the Black Sea Region and Their Environmental Significance*. Springer, Switzerland, 494 p.

Yanko, V., Kravchuk A., Kondariuk T., Kulakova I., Kadurin V., Dikol O. Kadurin S. (2024). *Influence of methane and its homologues on foraminifera and nematodes in the Northwestern part of the Black Sea*. Marine Environmental Research. Vol. 193, 106285 URL: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.106285>

Yanko-Hombach V., Kadurin S.V., Kravchuk A.O. et al. (2019). *Locating and identifying the location of intensive deep fluid streams on the Black Sea bottom using meiobenthos*. Proceedings of INQUA IFG 1709 POCAS Third Plenary Conference and Field Trip, October 11–18, 2019, Tehran, Iran, INIOAS, pp. 171–174. ISBN978–964–5938–72.5 www.avalon-institute.org

Надійшла 17.11.2024

V. V. Yanko

O. S. Dikol

S. V. Kadurin

G. O. Kravchuk

V. M. Kadurin

T. O. Kondariuk

Odesa I.I. Mechnikov National University, Ukraine,

Department of Marine Geology, Hydrogeology, Engineering Geology
and Paleontology

2 Shampanskyi Ln, Odesa, 65058, Ukraine

vl.kadurin@gmail.com

SAFETY COMPONENT OF STUDYING THE UNLOADING OF DEEP FLUID FLOWS ON THE BLACK SEA FLOOR

Abstract

Problem Statement and Purpose. The achievements of geological science together with the forecast of new mineral resources, especially oil and gas in the marine environment, have also revealed natural phenomena that exist on the Black Sea bottom and imply substantial risk. These include (1) methane emissions through seeps and gas plumes that are prone to spontaneous catastrophic combustion and (2) eruptions of mud volcanoes accompanied by the release of breccia and mineralized solutions of deep fluids that change the physical and chemical properties of the seawater.

Obviously, these natural phenomena pose a serious threat to the safety of navigation, both for surface and underwater vessels.

This paper is aimed at a comprehensive study of the deep fluid flows unloading onto the seabed in order to create a consistent GIS enabling us to determine their locations and differentiate them by degree of danger (weak, medium, strong, and very strong) for any kind of vessel in the economic zone of Ukraine and the adjacent deep-water part of the Black Sea.

Data & Methods. The paper is based on materials obtained in the course of marine expeditionary work performed by the Laboratory of Marine Geology, Geochemistry and Micropaleontology of Odessa I.I. Mechnikov National University followed by their processing in 2008-2024 during a number of international (HERMES, WAP-COAST) (Yanko et al., 2014; Yanko et al., 2017; Shnyukov and Yanko-Hombach, 2020) and national projects supported by the Ministry of Education and Science of Ukraine, such as “Methane in the Black Sea” (Yanko-Hombach et al., 2019; Shnyukov and Yanko, 2017; Shnyukov and Yanko-Hombach, 2020), “Development of predictive criteria for search of hydrocarbon deposits in the Black Sea based on the theory of fluidogenesis” (Chepizhko et al., 2020; Chepizhko et al., 2021; Dikol, 2022), and “Study of unloading of deep fluid flows at the bottom of the Black Sea to assess the safety of navigation.”

The methods used involved grain-size, mineralogical, chromatographic, X-ray diffractometric, thermobarogeochemical, isotopic ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$), paleontological, and remote sensing of the Earth. Sentinel-3 satellite images (SLSTR) to study the temperature and other parameters of the sea surface were used (Suchkov et al., 2017; Yanko et al., 2021; Dikol, 2022; Yanko et al., 2024).

Results. Natural methane emissions at the Black Sea bottom can affect navigation safety to varying degrees depending on their intensity. The most dangerous are the

catastrophic methane emissions associated with mud volcanoes. Most of these are located at great depths, and the frequency of their eruptions is quite low, however, some shallow water mud volcanoes (e.g., Vladimir Parshin) can pose a danger during their eruption.

The greatest danger is posed by large eruptions, during which the jet of gas being emitted from the deep Earth, can rise hundreds of meters, sometimes reaching the surface. In this case, the density of water inside the jet, composed of gas bubbles of various sizes, may dramatically change the water density, leading to a loss of vessel buoyancy and foundering. To an even greater extent, such phenomena will affect the navigation of submarines.

Taking into account such risks requires a detailed and interactive GIS-aided map of the locations of existing methane emissions. Such a map has been created by us but still needs further improvement, particularly in the search for new methane emissions on the Black Sea bottom that are not as yet documented. For these purposes, we have developed new remote sensing methods based primarily on the interpretation of geological data obtained from space images. It has been shown that thermal spectral images can be very helpful since they contain an endogenous component of recorded events. It is especially important at the present time because no fieldwork can be performed in the Ukrainian part of the Black Sea due to ongoing hostilities.

Key words: The Black Sea, deep fluids, thermogenic methane, maritime safety.