

УДК 551.465, 553.98

## **Екологічна складова природних еманцій Чорного моря та Світового океану**

С.В. Гошовський, О.В. Зур'ян

*Гошовський Сергій Володимирович – д.техн.н., провідний науковий співробітник відділу океанографії Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: sergejgeofizik@gmail.com*

*Зур'ян Олексій Володимирович – к.техн.н., науковий співробітник Інституту відновлюваної енергетики Національної академії наук України; Україна, 02094, м. Київ, вул. Гната Хоткевича 20-а, E-mail: alexey\_zuryan@ukr.net*

**Анотація.** Глобальна зміна клімату за останні десятиліття в суспільній свідомості багатьох країн зайняла міцне місце в ряду масштабних екологічних проблем. Авторами виконано аналіз аналітичних та експериментальних досліджень щодо ролі метану в глобальних екологічних планетарних процесах, зміні клімату на основі різних показників. Проведено дослідження співвідношення антропогенних і природних викидів метану, виконана оцінка зв'язку різних джерел викидів. Науково обґрунтовано, що одним з екологічно небезпечних джерел дегазації Землі є просочування метану з морського дна Світового океану на водну поверхню. Наведено дані щодо дегазації акваторії Чорного моря. Зосереджено увагу на загальну емісію метану в атмосферу і на зростання його концентрації в останні роки. В роботі запропоновано новий підхід до вирішення проблеми за рахунок створення методичних і технічних засобів уловлювання газу метану з покладів газогідратів, сипів та грязьових вулканів з подальшим їх транспортуванням і зберіганням для використання в промисловості й енергетиці.

**Ключові слова:** зміна клімату, викиди метану, сипи, грязьові вулкани, дегація Чорного моря.

**Вступ.** Клімат Землі схильний до коливальних змін у всіх часових масштабах. До найбільш помітних часових коливань відносять цикл близько 100 000 років – льодовикові періоди, коли клімат Землі був в цілому холоднішим у порівнянні з теперішнім, і міжльодовикові періоди, коли клімат був теплішим. Ці цикли викликали природні чинники. На думку ряду вчених зараз ми перебуваємо в "русі" від одного льодовикового періоду до іншого, але швидкість змін майже непомітна – близько 0,02°C за 100 років. Серед парникових газів друге місце після CO<sub>2</sub>, на думку багатьох дослідників, займає газ метан. Метан є продуктом природних процесів, що відбуваються в біосфері, та виділяється у процесі промислової діяльності людини. У зв'язку з цим оцінка ролі метану в глобальній зміні клімату є актуальним науковим завданням. Аналіз показує, що природні чинники впливають на клімат набагато більше, ніж антропогенні. З економічних і політичних причин природні чинники кліматичних змін та фактори, що компенсують природним шляхом антропогенний вплив на клімат, практично не розглядають. У цій статті наведено об'єктивний огляд існуючих точок зору на роль метану в глобальних змінах клімату.

**Метою** дослідження є встановлення локалізації газових сипів, оцінка метанового струменевого розвантаження дна Чорного моря у водну товщу й атмосферу та обґрунтування створення екологічно безпечних методичних і технічних засобів збору, транспортування та зберігання газу метану з газогідратних покладів, сипів і грязьових вулканів.

На даний момент зміна клімату є однією з ключових світових проблем, вирішення якої можливе лише за високого рівня співпраці між країнами.

Основні парникові гази добре змішуються (*well-mixed*) в атмосфері. Це, зокрема, означає, що обмеження їхнього вмісту в атмосфері – є не локальною проблемою. Будь-яка країна, яка навіть має велику територію, не може вирішити проблему зміни клімату самостійно шляхом обмеження викидів парникових газів на національному рівні. Незважаючи на власні обмеження, вона отримуватиме парникові гази з глобального пулу, тобто за рахунок викидів інших держав. Таким чином, єдиним шляхом вирішення проблеми є міжнародне співробітництво.

Головна мета Паризької угоди полягає у застосуванні глобальних заходів щодо боротьби зі зміною клімату для стримання підвищення глобальної температури в цьому столітті в межах +2°C по відношенню до доіндустріального рівня та спроби навіть знизити цей показник до +1,5°C. Для цього країни-учасниці визначають свою частку в досягненні задекларованої спільної мети в індивідуальному порядку та переглядають їх раз на п'ять років. Зараз у багатьох країнах, особливо розвинених, спостерігається тенденція жорсткішого ставлення до викидів парникових газів і зростання інтересу до низьковуглецевих технологій, у тому числі, при впровадженні принципів сталого розвитку та підвищення енергоефективності. Цей процес, безперечно, позначиться на формуванні нових міжнародних ініціатив і програм.

У загальному впливі парникових газів вклад метану не є домінуючим. Основним чинником, звісно, є зростання концентрації вуглекислого газу. Однак, і проблема метану вже значною мірою усвідомлюється світовою спільнотою. Так, у 2012 році було оголошено про нову глобальну ініціативу щодо боротьби зі зміною клімату, покращення якості повітря та захисту здоров'я населення – про формування "Коаліції за клімат та чисте повітря" (Climate and Clean Air Coalition). Діяльність цієї організації спрямована на зниження вмісту в атмосфері так званих "швидкодіючих факторів зміни клімату". Так називають речовини з невеликим терміном дії в атмосфері – близько 10 років та менше. Насамперед, це метан, а також чорний вуглець і багато гідрофторвуглеців, які разом відповідальні за приблизно третину сучасного глобального потепління.

У даний час глобальні концентрації метану в поверхневому шарі Землі досягли 1800 ppb і більше [9].

Тому завданнями дослідження є:

1. аналіз аналітичних та експериментальних досліджень щодо ролі метану у зміні клімату;
2. дослідження співвідношення антропогенних і природних викидів метану;
3. збирання та узагальнення даних щодо дегазації акваторії Чорного моря;
4. аналіз існуючих та розробка нових методичних і технічних засобів уловлювання газу метану з покладів газогідратів, сипів і грязьових вулканів з подальшим їх транспортуванням і зберіганням для використання у промисловості та енергетиці.

**Результати.** Джерела метану, зазвичай, поділяють на дві великі групи: природні (тобто, природного походження) та антропогенні (що утворилися в результаті діяльності людини). Деяка частина джерел метану може бути змішаного типу.

Основними антропогенними джерелами метану є [2]:

– Домашні тварини. Так само, як і дикі тварини, домашні тварини, особливо жуйні, є джерелами метану, який утворюється у процесі травлення.

– Рисові чеки (поля). Рисові чеки є інтенсивним джерелом метану, оскільки вони значний час залиті водою, а це створює сприятливі умови для розвитку анаеробних метаногенних бактерій. Вважається, що метан надходить в атмосферу в основному через ці рослини, тому що без рисових рослин аналогічно оброблені поля створюють струмінь метану приблизно в 50 разів менший.

– Відходи. Розміщені на звалищах відходи є значним джерелом метану, оскільки містять досить багато вологого органічного матеріалу, а всередині них створюються анаеробні умови, що викликають утворення метану за участю бактерій. При використанні методик компостування, у тому числі, при використанні гною, також виділяється значна кількість метану. Кількість газу, що виділяється, зменшується при застосуванні спеціальних технологій його уловлювання та утилізації.

– Стічні води. Обробка промислових і побутових стоків у біологічних очисних спорудах або відстійниках, де є анаеробні умови для розвитку метаногенних бактерій, призводить до викидів метану. Кількість газу, що виділяється, зменшується при застосуванні спеціальних технологій його уловлювання та утилізації.

– Вугільна промисловість. З вугільних родовищ в атмосферу надходить метан, який безпосередньо виділяється як при видобутку вугілля, так і виникає при дегазації вугільних пластів, а також виходить з шахт, де припинено видобуток. Кількість метану, що виділяється, може бути зменшено при застосуванні спеціальних технологій для його вилучення та утилізації.

– Горіння біомаси та палива. При неповному згоранні органічних речовин при використанні палива, так і при спалюванні сільськогосподарських залишків та інших органічних відходів виділяється метан. Його основне глобальне джерело знаходиться в Африці, де широко практикується спалювання соломи під час підготовки ґрунту для нового врожаю.

– Видобуток, переробка, транспортування, зберігання та розподіл природного газу й нафти можуть супроводжуватися викидами метану. Джерелами метану при цьому є нещільність обладнання та технологічна необхідність стравлювання газу при ремонтах, запусках-зупинках обладнання на виробничих майданчиках і т.д. Кількість метану, що виділяється, зменшується при застосуванні заходів проти витоків і технологій утилізації попутного нафтового газу.

Щорічно з природних джерел в атмосферу потрапляє, за різними оцінками, від 218 до 384 Мт метану (CH<sub>4</sub>). Серед них найбільш інтенсивним є потік CH<sub>4</sub> з поверхні заболочених територій – до 80%.

Основними природними джерелами метану є [2]:

– Заболочені території (в т.ч. болота та термокарст). Зволожені ґрунти, що містять велику кількість органіки та створюють анаеробні умови та сприяють діяльності метаногенних бактерій, є значним джерелом метану. З них найпотужнішим джерелом цього газу є болота

(особливо тропічні), оскільки вони відрізняються великою біопродуктивністю. Метан може виділятися з таких ґрунтів шляхом молекулярної дифузії, за допомогою бульбашок та через рослини.

– Поверхневі водні об'єкти (в т.ч. озера та річки). Утворення метану в прісноводних водоймах відбувається в донних відкладах таким же шляхом, що на заболочених (зволожених) територіях. Найбільш активним джерелом метану є озера, при цьому порівняно з болотами, їхня біопродуктивність приблизно в 10 разів нижча.

– Пожежі. При горінні метан утворюється внаслідок неповного згорання біологічного матеріалу. Основний внесок в емісію метану дають пожежі у саванах і тропічних лісах.

– Жуйні тварини. Тварини, особливо жуйні, є досить інтенсивним джерелом виділення метану завдяки процесу бактеріальної ферментації, що протікає в їхньому шлунково-кишковому тракті.

– Комахи. Метан може виділятися внаслідок процесів травлення у наземних комах, здатних до глибокої біохімічної переробки клітковини. До таких комах насамперед відносяться терміти.

– Моря та океани. Джерелом викидів метану в морях і океанах є донні відклади (здебільшого на океанському шельфі та у мілководних затоках). Існують різні теорії механізму таких викидів, але в цілому вони зумовлені анаеробним бактеріальним розкладанням органіки. Крім того, в океані можуть бути викиди метану з геологічних джерел під його дном та від метангідратів.

Таким чином, метан є важливим представником органічних речовин у атмосфері [2]. Виявили його в атмосфері порівняно недавно – 1947 року [13]. Концентрація його невелика і з 1999 року стабілізувалася на рівні 1,75 ppm. Для порівняння – концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері становить 400 ppm.

Вплив метану слід розглядати з урахуванням загального балансу парникових газів. Серед парникових газів друге місце після CO<sub>2</sub>, на думку багатьох, займає CH<sub>4</sub>.

В атмосфері метан перебуває, в основному, у приземному шарі, в тропосфері, товщина якого становить 11–15 кілометрів. Концентрація метану практично не залежить від висоти, в інтервалі від поверхні Землі до тропопаузи, оскільки в межах 0–12 км існує велика швидкість перемішування (1 місяць) у порівнянні з часом наявності метану в атмосфері [2]. Концентрація метану в атмосфері, визначена шляхом вивчення крижаного покриву на станції "Схід" в Антарктиді, показала, що концентрація за останні 150 000 років загального вмісту метану в атмосфері близько 5 млрд т, при цьому щорічні зміни, що оцінюються в 592–785 млн т, практично дорівнюють викидам (542–852 млн т). Аналіз джерел утворення метану показує, що джерелом № 1 є болота (21%), друге місце – рисові поля (20%), які насправді є такими ж болотами, лише рукотворними. Якщо це джерело метану ліквідувати, з'являються загрози продовольчої безпеки. Таке саме питання пов'язано з викидами від жуйних тварин (корів) – 15% від загальної емісії метану [2].

У табл. 1 наведено дані оціночних доповідей Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) про загальний викид метану від природних та антропогенних джерел.

Таблиця 1 – Джерела викидів метану в атмосферу, млн т/рік [9]

Природні викиди		Антропогенні викиди	
Джерела	млн т/рік	Джерела	млн т/рік
Болота	217	Жуйні тварини	89
Океан	54	Відходи	75
Озера та річки	40	Нафто-газова галузь	50
Дикі тварини	15	Рисові поля	36
Терміти	11	Спалення біомаси	35
Гідрати	6	Інше	46
Пожежі	3		
Вічна мерзлота	1		
<b>Всього, млн т/рік</b>	<b>347</b>	<b>Всього, млн. т/рік</b>	<b>311</b>
<b>Всього, %</b>	<b>57,9</b>	<b>Всього, %</b>	<b>45,1</b>

З таблиці видно, що водні ресурси займають лідируючу позицію по природним викидам метану в довкілля. При цьому важливо відзначити, що роль метану в кліматичній системі необхідно розглядати разом з іншими природними та антропогенними процесами, намагаючись об'єктивно оцінити внесок кожного елемента системи.

Усі природні води містять розчинені гази [8]. Саме в системах газ-вода формуються, стабільно існують та руйнуються поклади природних газів. Сумарний об'єм вуглеводневих газів, розчинених у підземних водах, становить 1 013 тонн.

У надрах Землі розчинений газ виділяється з водного насиченого розчину у вигляді мікробульбашок. У разі сприятливих термобаричних умов скупчення мікробульбашок, об'єднуючись, можуть формувати великі поклади вільного газу або поклади газогідрату. При вертикальній або латеральній міграції газонасичених водних розчинів змінюються тиск, температура і ступінь газонасиченості розчину, при цьому гази можуть як розчинятися, так і виділятися з розчину. Наявність газогідрату, що контактує з пластовою водою, різко змінює структуру води і, як наслідок, розчинність газу у воді знижується.

Вже перші дослідження розчинності природних газів у воді в умовах утворення гідрату [1] показали різку зміну співвідношення кількості молекул води та газу до утворення та після утворення гідрату. Подальші дослідження дозволили пояснити умови формування та руйнування покладів вільного газу та газогідратних покладів у системах газ-вода. Зоною утворення гідрату є товща порід, у якій тиск і температура відповідають термодинамічним умовам стабільного існування гідрату газу.

На більшій частині Чорноморської мегавпадини у придонному шарі осадів при глибині моря 600–650 м існують сприятливі термобаричні умови для формування та стабільного існування газогідратів. Потужність зони гідратоутворення істотно залежить від величини градієнта температури або теплового потоку. У зонах з низьким тепловим потоком (25–30 мВт/м<sup>2</sup>) потужність пласту гідратоутворення становить 350–400 м, зі збільшенням

теплового потоку до  $40 \text{ мВт/м}^2$  вона зменшується до  $200\text{--}250 \text{ м}$ , а при значеннях потоку  $60 \text{ мВт/м}^2$  і більше – скорочується до десятків метрів. У зонах аномально високих потоків ( $80\text{--}100 \text{ мВт/м}^2$ ) газогідратний пласт, найімовірніше, відсутній [10].

Наразі встановлено, що донні відклади Чорного моря, починаючи з глибин  $550\text{--}600 \text{ м}$ , загазовані метаном. Потужні виходи газу у вигляді численних сипів, фонтанів, грязьових вулканів зафіксовані практично по всьому периметру Чорного моря. На даний час в акваторії Чорного моря виявлено 4 тис. газових факелів (сипів), локалізованих по периферії, зокрема, на північному заході Чорного моря, болгарському шельфі, Керченсько-Таманському шельфі, вздовж берегів Кавказу. Даних про газові факели біля берегів Туреччини мало. Однак рій газових факелів виявили при пошукових роботах для траси газопроводу "Блакитний потік" на материковому схилі та шельфі Туреччини [10].

Чорне море, відносно замкнутий басейн з площею водного дзеркала  $423\,000 \text{ км}^2$ , максимальною глибиною  $2\,212 \text{ м}$  та об'ємом  $547\,015 \text{ км}^3$ , є найбільшою на планеті анаеробною водоймою і найбільшим резервуаром розчиненого метану [7]. В умовах стійкої стратифікації водної товщі та слабого перемішування поверхневих і глибинних вод, під розташованим на глибинах понад  $100 \text{ м}$  шаром пікнокліну в Чорному морі сформувалася велика безкиснева зона з надзвичайно високим вмістом розчиненого метану.

Згідно з відомими уявленнями, загальний вміст і вертикальний розподіл метану у водах Чорного моря зберігається квазістаціонарним, принаймні протягом 30-річного періоду спостережень, а між надходженням та використанням метану існує стійкий баланс.

Як відомо, у природі метан утворюється, в основному, в результаті біологічного розкладання біомаси, яка відбувається лише в анаеробних умовах і залежить від наявності лабільного органічного матеріалу, а також температури.

Ще порівняно недавно під час визначення бюджету метану у Чорному морі основним механізмом надходження метану у водний стовп вважали діагенетичні процеси у донних відкладах.

Однак у 1989 р. було відкрито явище метанових струменевих газовиділень (метанових сипів) в аноксичній зоні Чорного моря та підтверджено значний масштаб його розповсюдження. Крім того, було показано, що майже  $100\%$  вільного (бульбашкового) метану, що виділився на аноксичних глибинах, розчиняється при піднятті, не досягнувши поверхні моря [12]. У зв'язку з цим, питання, пов'язані з бюджетом метану у Чорному морі, знову потрапили у фокус уваги різних груп дослідників. Одна з цілей нашого дослідження полягає в оцінці швидкості та обсягу надходження струменевого метану у водну товщу Чорного моря на основі матеріалів попередніх досліджень.

Аналіз великого статистичного обсягу даних дозволив встановити основні закономірності локалізації та активності струменевих виходів метану з дна Чорного моря [1]:

1. Абсолютна більшість струменевих метанових газовиділень у Чорному морі локалізована на палеодельтах великих річок та континентальному схилі, просторово співпадаючи на багатьох ділянках з геодинамічними зонами.

2. Понад 98% газовиділень розташовано вище фазової межі стабільності метанових гідратів у Чорному морі (725 м). У глибоководній частині Чорного моря струменеві газовиділення пов'язані переважно з районами активного розвитку грязьового вулканізму та діапїризму.

3. Водна товща є ефективним фільтром струменевого метану і майже весь метан струменевих газовиділень (не менше 98.7%) повністю розчиняється, а вуглець метану включається в біогеохімічні цикли та біолого-продукційні процеси Чорного моря.

Найбільш детально за всі роки дослідження було вивчено район палеоруслу р. Дніпра (де на площі 345 км<sup>2</sup> було зареєстровано 1295 сипів у діапазоні глибин 141.4–725.5 м). Для кожного з 1295 сипів були отримані оцінки потоку емісії струменевого метану з морського дна.

Згідно з результатами досліджень, цей район може розглядатися як один з найбільш активних районів метанопроявів, як частини великого конуса виносу, що акумулює величезні маси органічного матеріалу з усієї північно-західної частини Чорного моря з прилеглими річками [4]. Причому в аноксичну товщу вод Чорного моря струменевий метан емітують в основному сипи, розташовані нижче за верхню межу пікнокліну (140 м) і вище за верхню межу зони стабільності газогідратів (725 м). Струменеві газовиділення кисневої зони значну частину вільного метану виносять в атмосферу, а метан, що розчинився під час підйому газових бульбашок, найбільш ймовірно піднімається до поверхні моря, ніж долає градієнт щільності в пікнокліні й проникає в анаеробну зону з більш високою концентрацією розчиненого метану. З іншого боку, у зоні стабільності газогідратів у цьому районі виявлено лише три газовиділяючі майданчики на глибині 800 м, що порівняно з кількістю сипів є значно меншою величиною.

У роботі [1] здійснено оцінку потоку емісії струменевого метану в масштабах усього Чорного моря (рис.1).

Для активних газовиділяючих ділянок у масштабах усього Чорного моря потік метану вважався пропорційним площі ділянки та оцінці просторової щільності потоку струменевого метану, зробленої для великої області континентального схилу в районі палео-русла р. Дніпра. Оцінки потоку для кожної з виділених ділянок материкового схилу наведено у табл. 2.

Відповідно до табл. 2, з метанових сипів у води Чорного моря надходить щорічно близько  $1.2 \times 10^9$  м<sup>3</sup> метану. У вагових одиницях ця величина відповідає 0.9 Тг рік (1 Тераграм Тг=10<sup>12</sup> грам).

Як правило, газові факели поширені на глибинах моря 50–800 м, глибше вони трапляються дуже рідко. Висота факелів, зазвичай, становить від 100 до 200 м (більшість не досягає поверхні води і дифузно розчиняється). Найчастіше це невеликі газові струмені, іноді снопи газових струменів (до 5, 10, 12); деякі з них досить значні та утворюють своєрідні хмари газу біля дна. На рис. 2 показано фрагмент виявлення гідроакустичними засобами газового факелу на дні Чорного моря під час наукового рейсу науково-дослідницького судна (НДС) "Київ" 1997 року під науковим керівництвом академіка НАН України Є.Ф. Шнюкова).

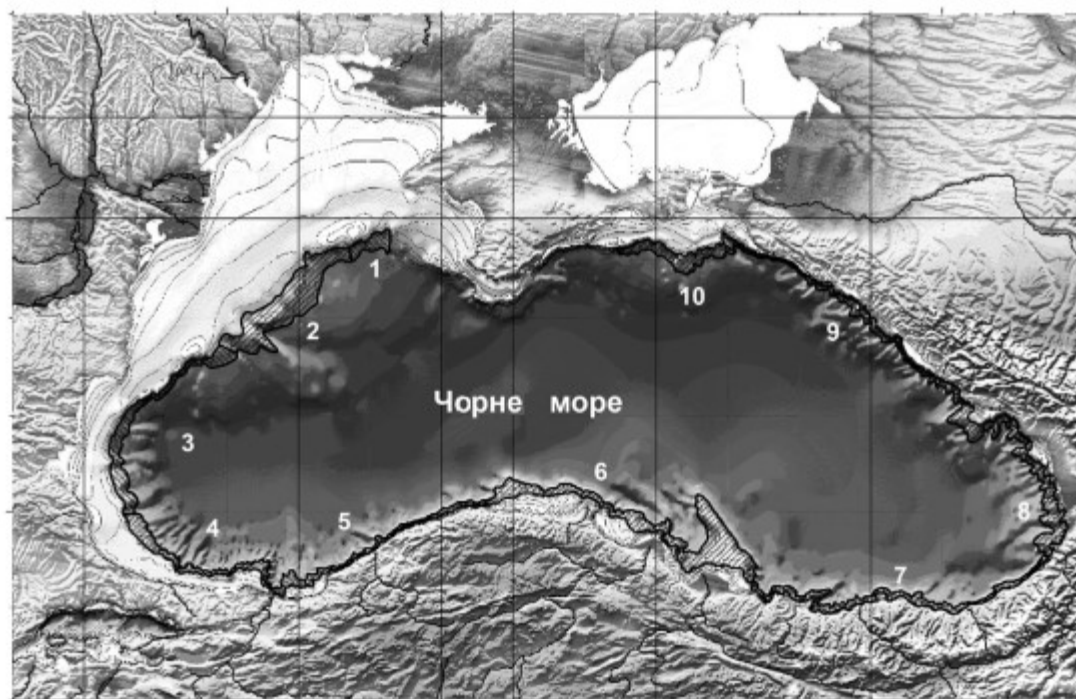


Рис. 1. Основні райони активних газопроявів, що емітують метан в аноксичну зону Чорного моря. Цифрами позначені райони: 1. Північно-північно-західний сектор (палео-Дніпро), 2. Румунський сектор (палео-Дунай), 3. Болгарський сектор, 4. Захід турецького сектора, 5. Прибосфорський район, 6. Центр турецького сектора, 7. Схід турецького сектора, 8. Грузинський сектор, 9. Схід російського сектора, 10. Північно-північно-східний сектор (палео-Дон) [1]

Таблиця 2 – Оцінки потоку струменевого метану в аноксичній зоні Чорного моря на різних ділянках материкового схилу [1]

№	Район	Площа (км <sup>2</sup> )	Потік метану (x10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> в рік)
1	Північно-північно-західний сектор (палео-Дніпро)	739	33.3
2	Румунський сектор (палео-Дунай)	5180	233.6
3	Болгарський сектор	2812	126.8
4	Захід турецького сектора	1004	45.3
5	Прибосфорський район	2326	104.9
6	Центр турецького сектора	5917	266.9
7	Схід турецького сектора	2532	114.2
8	Грузинський сектор	3911	176.4
9	Схід російського сектора	1663	75.0
10	Північно-північно-східний сектор (палео-Дон)	1655	74.6
	ВСЬОГО	31373	1251.0

У багатьох випадках видно переривчастість газових факелів, як пульсуюче виверження. Характер газових факелів у різних районах моря приблизно однаковий, змінюється лише потужність струменів. Досвід спостереження за витіканням рідини з різних типів отворів дає підставу вважати, що спочатку газ витікає через свищ у формі струменя, потім на деякій



відстані розпадається на окремі краплі (при малій інтенсивності витоків краплі будуть утворюватися відразу ж на свищі) [3].

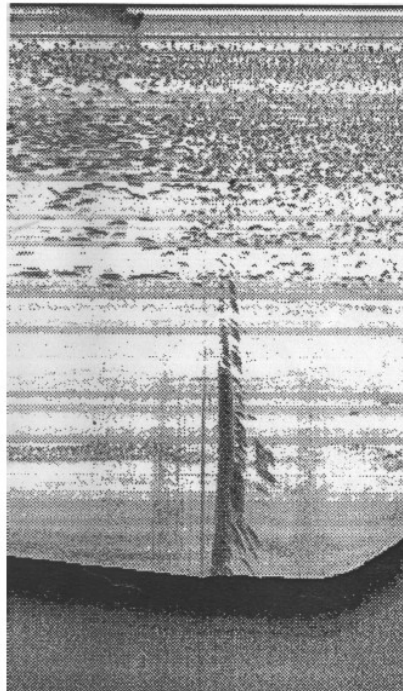


Рис. 2. Газовий факел [11]

Основна маса газових бульбашок формує шлейф, що піднімається до поверхні моря наче шлейф диму. У процесі спливання краплі спочатку утворюють тонкий джгут, а потім розсіюються турбулентністю морського середовища у вертикальному та горизонтальному напрямках і виносяться від місця утворення течією, формуючи шлейф, що піднімається до поверхні моря. Розміри цього шлейфу можна оцінити, розглядаючи дифузію крапель газу як активної (що впливає на поверхню) домішки.

З вуглеводневих газів, найчастіше з метану, в глибоководних осадах морів та океанів утворюються газогідрати. Переважна більшість скупчень газогідратів знаходиться на континентальних схилах і підводних підняттях, в умовах високого тиску та низьких температур. До теперішнього часу у світі виявлено близько 200 газогідратних покладів [14]. Тільки для Північноамериканського континенту за даними Департаменту геологічної служби США ресурси газу в газогідратних покладах, що виявлені шляхом сейсмічного зондування та глибокого буріння з відбором керну і повним комплексом геофізичних досліджень, перевищують  $9 \times 10^{15}$  м<sup>3</sup>. Освоєння покладів твердих газогідратів має особливості, які вимагають серйозного вивчення. Особливо серйозну проблему, пов'язану з розробкою газогідратних родовищ, становить забезпечення регіональної та глобальної екологічної безпеки. У цілому природні газові гідрати представляють дуже складну багатовекторну проблему й у цьому дослідженні не розглядаються.

У роботі автори пропонують новий підхід до вирішення як екологічної, так і енергетичної проблеми за рахунок створення методичних і технічних засобів уловлювання

газу метану із покладів газогідратів, хрипел і грязьових вулканів з подальшим їх транспортуванням та зберіганням для використання у промисловості та енергетиці.

Виконаний авторами аналіз міжнародних патентних баз показав великий інтерес дослідників і конструкторів з усього світу до цієї проблеми, що вселяє певні надії як для розв'язання екологічної проблеми, так і перспективи розробки цього нетрадиційного джерела вуглеводневих газів.

Враховуючи, що газогідрати генетично пов'язані з полями газових факелів, патентний пошук було здійснено за ключовими словами, що охоплюють усі методи та технології як при розробці газогідратних родовищ загалом, так і зі збирання вільно спливаючого газу з морського дна з автономних газових факелів і отриманого у процесі розробки газогідратного родовища [5].

Встановлено, що на сьогоднішній день зареєстровано велику кількість патентів з перспективними методами отримання вуглеводневого газу з нетрадиційних родовищ, у тому числі, з аквальних газогідратів та сипів. Впевнено можна сказати, що провідними країнами у сфері патентних розробок способів видобутку газу з аквальних нетрадиційних родовищ є США, Японія, Канада та Китай.

Патенти були поділені на чотири основні умовні групи (рис. 3).

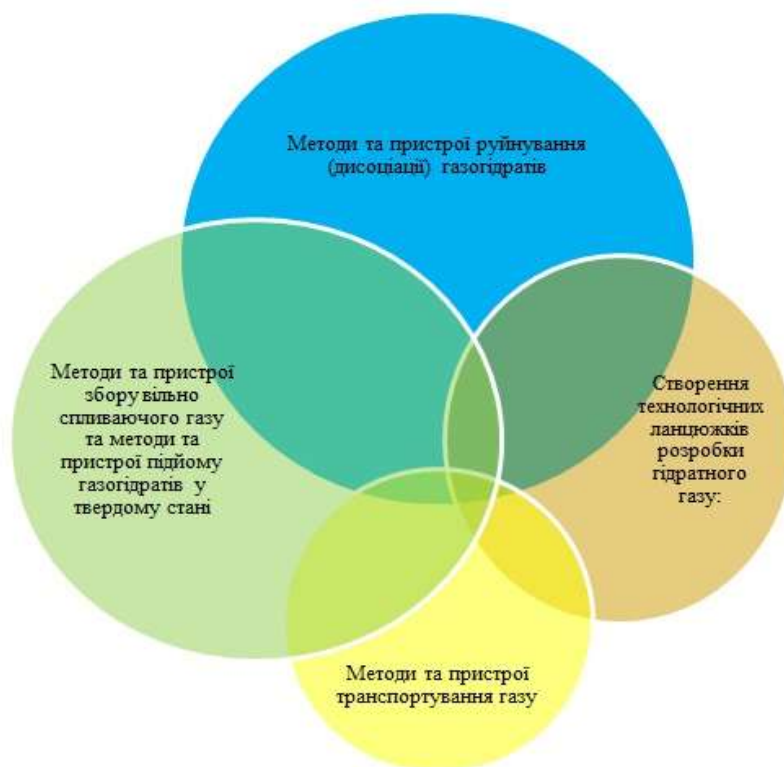


Рис. 3. Основні групи патентів за технологіями та методами розробки газу метану з нетрадиційних аквальних формувань

Отриманий результат свідчить, що найбільший відсоток та місце у всіх групах, безумовно, мають патенти, пов'язані з питаннями розробки аквальних покладів газогідратів. Навіть усередині самої групи методів і пристроїв руйнування (дисоціації) газогідратів, яка є

найбільшою, існує свій поділ як на більш часто застосовані авторами – традиційні (класичні) методи і технології, так і ті, які мають на меті одержання тих самих результатів, але використовують інші фізичні підходи – нетрадиційні.

Особливістю розробки аквальних покладів гідрату метану є необхідність створення різних систем збирання метану, що вільно спливає на поверхню. Це питання у переважній кількості патентних розробок вирішується за рахунок застосування парасолькових систем різної конструкції (рис. 4).

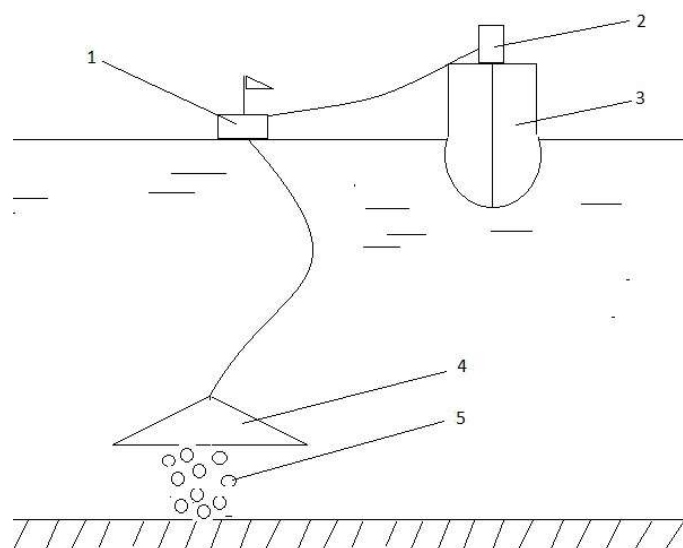


Рис. 4. Способи безперервного відбору газу з газових факелів [6]:

- 1 – буй; 2 – блок, що забезпечує вологовідділення; 3 – судно;
- 4 – газовідбірний зонд із гнучким шлангом; 5 – газ із газового факела

Як один із способів безперервного відбору газу з газових факелів [6] є використання газовідбірного зонда з гнучким рукавом, який з борту спеціалізованого судна лебідкою опускають на морське дно і встановлюють над газовим факелом при маневруванні судна. Зібраний газ через гнучкий шланг-рукав подають на судно, де встановлений спеціальний блок, що забезпечує вологовідділення, оцінку інтенсивності газовиділення та подачу газу в спеціальні ємності. Недоліком способу є неможливість активації джерела з метою збільшення інтенсивності газовиділення.

Аналогічні конструкції застосовують для збору бульбашок газу, які утворюються в процесі розробки газогідратного покладу. Відмінною особливістю даного винаходу є те, що куполовидний газозбірник має конструкцію, яка складається (рис. 5).

Форма придонних скупчень 8 визначається формою дифузійного ореолу розсіювання висхідного потоку газу, частина якого акумулюється в породах у вигляді гідрату, інша частина виходить з поверхні дна у вигляді бульбашок вільного газу 9.

Спосіб видобутку газу здійснюється так. Куполоподібний газозбірник 7 (рис. 5) опускають за борт судна 2 за допомогою стандартного суднового спускопідйомного пристрою, наприклад, лебідки 1. Газозбірник 4, що включає сепаратор газу (на рис. 5 не

зображений), з'єднано з ємністю для зберігання газу (на рис. 6. не зображена) за допомогою шланга 4 для відкачування газу з газозбірника. Породоруйнуючий інструмент 10, яким у даному прикладі є шнекова фреза з вертикальною віссю обертання, руйнує гідратовмісну породу в межах скупчення газових гідратів одночасно розпушуючи її.

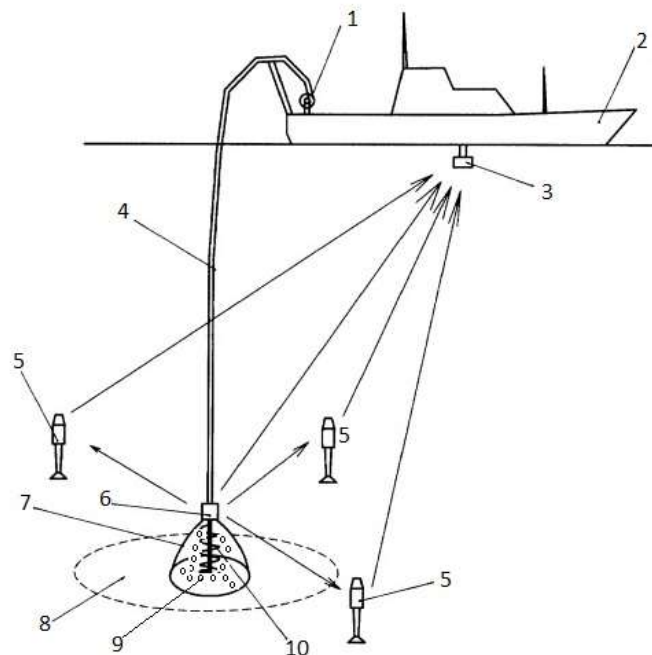


Рис. 5. Процес видобутку газу з придонного скупчення газових гідратів відповідно до заявленого способу [патент RU2403379]: 1 – лебідка; 2 – судно; 3 – приймальний пристрій системи навігації; 4 – шланг; 5 – донні ретранслятори; 6 – випромінювач; 7 – куполовидний газозбірник; 8 – ореол розсіювання придонного скупчення газу; 9 – газ у вільній фазі; 10 – породоруйнівний інструмент

Гідрат починає розкладатися на газ і воду, потім відривається від субстрату і виринає, продовжуючи розкладатися у воді. При цьому частина газу розчиняється у воді, решта виділяється у газову фазу. Водорозчинений газ і газ у вільній фазі 9 (у вигляді бульбашок) накопичується під куполовидним газозбірником 7, сепарується і відкачується по шлангу 4 в ємність, розташовану на судні 2.

Судно 2 утримується в положенні над газозбірником 7 за допомогою системи підводної навігації, яка включає донні ретранслятори 5, приймальний пристрій 3 на судні 2 та випромінювач 6, встановлений на газозбірнику 7.

Даний спосіб може бути успішно реалізований при глибинах 390–2000 м, температурі води 1–15°C.

Безумовний інтерес мають методичні технічні рішення щодо збирання розчиненого у воді газу, що вільно спливає з дна моря, розроблені в Україні. Так, автори патенту України UA115636 пропонують спосіб видобутку природного газу у відкритому морі. Спосіб включає збирання газу з донних газових факелів над газовиділяючими ділянками морського дна, як і в попередніх розробках, за допомогою куполовидного газозбірника. При цьому

транспортування газу на поверхню моря виконують трубопроводом. Каркас газозбірника виконано з пустотілих гнучких трубок, які перед зануренням наповнюють рідиною з певною питомою вагою. Перед експлуатацією всередині трубок збільшують тиск, забезпечуючи необхідну стійку форму газозбірника.

В основі винаходу поставлена задача – забезпечити зручне транспортування куполовидного газозбірника на дно моря і на поверхню, а також його зручне використання.

Технічний результат винаходу полягає у створенні вискоєфективного способу видобутку природного газу у відкритому морі. Застосування в способі куполовидного газозбірника зі зміненою конструкцією дозволяє виконувати його транспортування швидко та зручно.

На рис. 6 схематично показано комплекс для видобутку газу у відкритому морі з різними положеннями куполовидного газозбірника в морському середовищі, а саме: на рис. 6А газозбірник знаходиться на відстані від морського дна у складеному вигляді, а на рис. 6В газозбірник опущений на дно моря у розгорнутому вигляді.

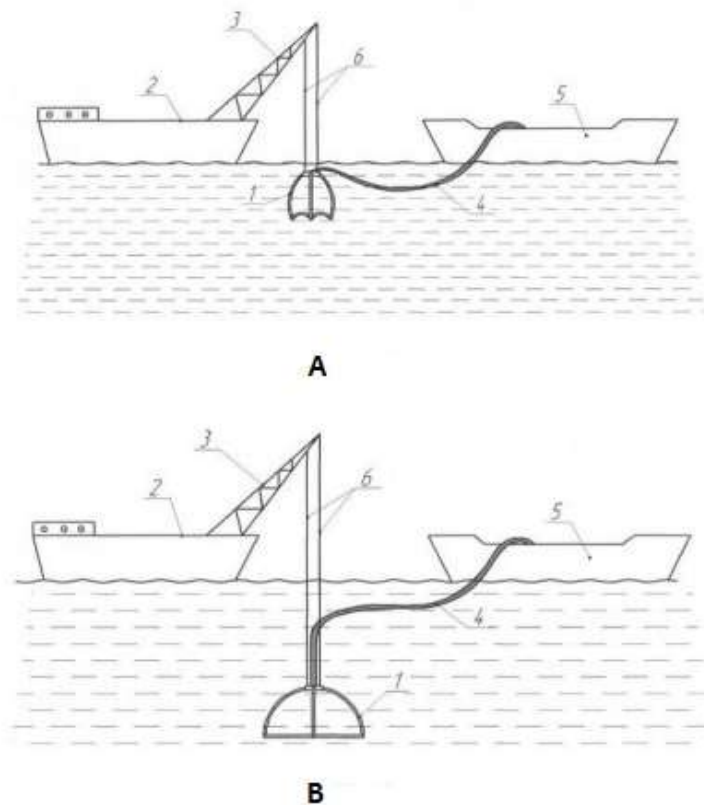


Рис. 6. Спосіб видобутку природного газу у відкритому морі [патент UA115636]:

А – газозбірник знаходиться на відстані від морського дна у складеному вигляді;

В – газозбірник опущений на дно моря у розгорнутому вигляді; 1 – газозбірник;

2 – допоміжне судно; 3 – кранова лебідка; 4 – рукав подачі газу на основне судно;

5 – основне судно; 6 – трос лебідки

Принцип роботи пристрою є таким. Перед початком занурення газозбірника 1 в гнучкі порожнисті трубки, з яких складається каркас газозбірника 1, закачують рідину з задалегідь

визначеною питомою вагою. Потім за допомогою кранової лебідки 3, яка знаходиться на допоміжному судні 2, плавно занурюють пристрій на дно моря. Так як трубки, з яких складається каркас газозбірника 1, виконані гнучкими, пристрій під час занурення знаходиться у складеному вигляді. Після того, як газозбірник опустили на морське дно, у внутрішній простір трубок додатково подають рідину під високим тиском, і каркас газозбірника 1 набирає потрібну стійку форму. Далі відбувається процес уловлювання газу в герметичний купол. Після закінчення процесу вловлювання у каркас подається газ з питомою вагою менше, ніж у води для полегшення підйому апарату, каркас перестає бути стійким, тобто газозбірник 1 знову знаходиться в складеному вигляді, зручному для транспортування на поверхню.

Аналіз українських патентів показує, що дослідники та конструктори значною мірою зосередили свої зусилля не стільки на модернізації конструкції куполовидного газозбірника, скільки на способах транспортування та зберігання одержаного з морського дна газу. Так, автори патенту України UA109492 розробили спосіб видобутку газу у відкритому морі, який полягає у збиранні газу з газових факелів над газовиділяючими ділянками морського дна за допомогою куполовидного газозбірника, що знаходиться в морському середовищі. При цьому особливість конструкції полягає в тому, що здійснюється передача газу з газозбірника в буферну акумуляційну ємність. Вона плаваюча і відкрита знизу, а зверху з'єднана з вивідним трубопроводом.

Авторами патенту України UA109790 запропоновано спосіб видобутку газу у відкритому морі, де збір газу з донних газових факелів здійснюється над газовиділяючими ділянками морського дна за допомогою газозбірника. Транспортування газу на поверхню моря виконують через трубопровід при збиранні газу з неглибоководного джерела, а при збиранні газу з глибоководних джерел газ із газозбірника подають на газгольдер. При цьому газгольдер встановлено над газовиділяючою ділянкою дна моря, а транспортування газу на поверхню моря виконують шляхом відокремлення газгольдера від газозбірника та забезпечення його подальшого спливання. У газгольдері перед транспортуванням газ зріджують шляхом його дотискання компресором. Перед проведенням видобутку газу проводять пошукові та/або розвідувальні роботи для точного встановлення місцезнаходження газових сипів та оцінки їх параметрів, а збирання газових сипів здійснюють газозбірником, який розташовують на дні моря або у водному середовищі на вибраній відстані від морського дна.

Недоліком таких способів є низька продуктивність та високі енерговитрати. Така продуктивність методів із застосуванням ерліфта викликана тим, що принцип ерліфта, який застосовують на великих глибинах, малоефективний. Також, за такого способу будуть великі втрати газу і дуже відчутний вплив на екосистему морського дна. Підвищена енерговитратність обумовлена тим фактором, що транспортування газу з "підкупольного" простору газозбірника здійснюється трубопроводом в умовах термодинамічної нестабільності спливаючого газу. У таких умовах можливий зворотний процес переходу його в гідратний стан (тверду фазу) та закупорка каналів відведення газу, що вимагає додаткового очищення або застосування способів, що запобігають повторному утворенню гідратів у трубопроводі. Цей процес відомий з експлуатації наземних газопроводів.

Тим часом остаточні висновки можна робити тільки після проведення як спеціальних лабораторних досліджень на макетах систем, що розробляються, так і в реальних умовах експлуатації на місцевості.

**Висновки.** 1. В абсолютному значенні найважливішим парниковим газом є CO<sub>2</sub>.

2. Метан бере участь у фотохімічних процесах, що протікають в атмосфері, і тим самим впливає на те, яким буде вміст інших компонентів повітря (у тому числі – парникових газів), у той час як вуглекислий газ фотохімічно пасивний в атмосфері.

3. Найбільш поширена думка оцінює сучасний природний глобальний викид метану в 347 Мт СН<sub>4</sub>/рік. Його основні джерела: заболочені території (63%) та різні водні об'єкти (озера, річки, моря та океани).

4. Серед розглянутих джерел надходження струменевого метану у води Світового океану найбільший внесок здійснюють метанові сипи на аноксичних глибинах до 725 м, внесок інших джерел на порядки менший.

5. Мають перспективу подальші дослідження в галузі створення методичних і технічних засобів уловлювання газу метану з покладів газогідратів, сипів та грязьових вулканів з подальшим їх транспортуванням і зберіганням для використання у промисловості та енергетиці.

#### **Перелік використаних джерел**

1. Артёмов Ю.Г., Егоров В.Н., Гулин С.Б. Поступление струйного метана в аноксические воды Черноморской впадины. *Океанология*. 2019. Т 59. № 6. С. 952–963.
2. Бажин Н.М. Метан в атмосфере. *Соросовский образовательный журнал*. 2000, Т. 6. № 3. С. 52–57.
3. Гончар А.И., Донченко С.И. Мартынюк А.Г., Шлычек Л.И. Вероятные характеристики рассеяния факелов выброса газа с подводного трубопровода. *Гидроакустический журнал (Проблемы, методы и средства исследований Мирового океана)*. 2008. №5. С. 104–114.
4. Гошовский С.В., Зурьян А.В. Газогидратные залежи: формирование, разведка и освоение. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2017. № 4 (50). С. 65–78.
5. Гошовский С.В., Зурьян А.В. Разработка газа метана из сипов, грязевых вулканов и морских месторождений газогидратов. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2018. 14 (3). С. 22–36.
6. Гошовский С.В., Зурьян А.В. Способы и технологии добычи газа метана из аквальных газогидратных формирований. *Мінеральні ресурси України*. 2018. № 4. С. 26–31.
7. Леин А. Ю., Иванов М. В. Крупнейший на Земле метановый водоем. *Природа*. 2005. № 2. С. 18–26.
8. Макогон Ю.Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы. *Российский химический журнал*. 2003. т. XLVІІ. № 3. С. 70–79.
9. Роль метана в изменении климата / под ред. д.х.н., профессора А.Г. Ишкова,. 2018. 133 с. URL: [http://www.vernadsky.ru/files/Publishing/rol\\_metana\\_v\\_izmenenii\\_klimata.pdf](http://www.vernadsky.ru/files/Publishing/rol_metana_v_izmenenii_klimata.pdf) (дата звернення 01.09.2021).
10. Шнюков Е.Ф., Старостенко В.И., Коболев В.П. Газогидратоносность донных отложений Черного моря. *Геофизический журнал*. 2006. Т. 28. № 6. С. 29–38.
11. Шнюков Е.Ф., Зиборов А.П. Минеральные богатства Черного моря. Киев.: ОМГОР НАН Украины. 2004. 280 с.
12. Artemov Yu.G., Egorov V.N., Polikarpov G.G., Gulin S.B. Methane emission to the hydro- and atmosphere by gas bubble streams in the Dnieper paleo-delta, the Black Sea. *Морський екологічний журнал*. 2007. Т. 6. № 3. С. 5–26.
13. FINAL REPORT Critical Evaluation of Default Values for the GHG Emissions of the Natural Gas Supply Chain, 2016. 102 p.

14. Goshovskyi S., Zurian O. Gas hydrates–history of discovery. Devoted to 50th anniversary when the ability of natural gas to form deposits in the earth’s crust in solid gas hydrate state was discovered. *Мінеральні ресурси України*. 2019. №1. С. 45–49.

### **Экологическая составляющая природных эманаций Черного моря и Мирового океана**

С.В. Гошовский, А.В. Зурьян

*Гошовский Сергей Владимирович – д.техн.н., ведущий научный сотрудник отдела океанографии Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; E-mail: sergejgeofizik@gmail.com*

*Зурьян Алексей Владимирович – к.техн.н., научный сотрудник Института возобновляемой энергетики Национальной академии наук Украины; Украина, 02094, г. Киев, ул. Игната Хоткевича, 20-а; E-mail: alexey\_zuryan@ukr.net*

**Аннотация.** Глобальное изменение климата за последние десятилетия в общественном сознании многих стран заняло прочное место в ряду глобальных экологических проблем. Авторами выполнен анализ аналитических и экспериментальных исследований о роли метана в изменении климата на основе различных показателей, которые используются в научных исследованиях и рекомендациях при объективной оценке роли метана в глобальных экологических планетарных процессах. Проведено исследование соотношения антропогенных и природных выбросов метана, выполнена оценка различных источников выбросов. Научно обосновано, что одним из экологически опасных источников дегазации Земли является утечка метана с морского дна Мирового океана на водную поверхность. Приведены данные по дегазации акватории Черного моря. Сосредоточено внимание на общую эмиссию метана в атмосферу и рост концентрации метана в последние годы. В работе авторы предлагают новый подход к решению проблемы за счет создания методических и технических средств улавливания газа метана из залежей газогидратов, сипов и грязевых вулканов с последующей их транспортировкой и хранением для использования в промышленности и энергетике.

**Ключевые слова:** изменение климата, выбросы метана, сипы, грязевые вулканы, дегазация Черного моря.

### **The ecological component of the natural emanations of the Black Sea and the World Ocean**

S.V. Goshovskyi, O.V. Zurian

*Goshovskyi, Sergii Volodymyrovych – Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, State Institution "Scientific Hydrophysical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Academician Glushkov Ave.; E-mail: oceanjournal@ukr.net*

*Zurian, Oleksii Volodymyrovych – PhD, Senior Researcher, Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine; Ukraine, Kyiv, 02094, 20-A st. Gnat Khotkevich; E-mail: alexey\_zuryan@ukr.net*

**Annotation.** Over the past decades, global climate change has taken a firm place in the public consciousness of many countries among the global environmental problems. The authors analyzed analytical and experimental studies on the role of methane in climate change based on various indicators that are used in scientific research and recommendations for an objective assessment of the role of methane in global ecological planetary processes. A study of the ratio of anthropogenic and natural emissions of methane was carried out, and an assessment of the ratio of various emission sources was carried out. It has been scientifically substantiated that one of the ecologically dangerous sources of Earth degassing is the leakage of methane from the seabed of the world's oceans to the water surface. The data on degassing of the Black Sea water area are presented. Attention is focused on the total emission of methane into the atmosphere and the increase in methane concentration in recent years. In this work, the authors propose a new approach to solving the problem by creating methodological and technical means for capturing methane gas from deposits of gas hydrates, seeps and mud volcanoes with their subsequent transportation and storage for use in industry and energy.

**Key words:** Climate change, methane emissions, seeps, mud volcanoes, degassing of the Black Sea.



## References

1. Artyomov YUG, Egorov VN, Gulin SB. Postuplenie struynogo metana v anoksicheskie vody Chernomorskoj vpadiny [Intake of jet methane into the anoxic waters of the Black Sea depression]. *Oceanology*. 2019;59(6):952–963 [in Russian].
2. Bazhin NM. Metan v atmosfere [Methane in the atmosphere.] *Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal*. 2000;6(3):52–57 [in Russian].
3. Gonchar AI, Donchenko SI, Martynyuk AG, Shlychek LI. Veroyatnye kharakteristiki rasseyaniya fakov vybrosa gaza s podvodnogo truboprovoda [Probable scattering characteristics of gas outbursts from a subsea pipeline]. *Hydroacoustic journal (Problems, methods and means of researching the World Ocean)*. 2008;(5):104–114 [in Russian].
4. Hoshovskiy SV, Zurian OV. Gazogidratnye zalezhi: formirovaniye, razvedka i osvoeniye [Gas hydrate deposits: formation, exploration and development]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2017;4(50):65–78 [in Russian].
5. Hoshovskiy SV, Zurian OV. Razrabotka gaza metana iz sipov, gryazevykh vulkanov i morskikh mestorozhdeniy gazogidratov [Development of methane gas from seeps, mud volcanoes and offshore gas hydrate deposits]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2018;14(3):22–36. DOI: <https://doi.org/10.15407/gpimo2018.03.022>.
6. Hoshovskiy SV, Zurian OV. Sposoby i tekhnologii dobychi gaza metana iz akvalnykh gazogidratnykh formirovaniy [Methods and technologies for the extraction of methane gas from aquatic gas hydrate formations]. *Mineral'ni resursy Ukraini*. 2018;(4):26–31. DOI: <https://doi.org/10.31996/mru.2018.4.26-31>
7. Lein AYU, Ivanov MV. Krupneyshiy na Zemle metanovyy vodoem [The largest methane reservoir on Earth]. *Priroda*. 2005;(2):18–26 [in Russian].
8. Makogon YuF. Prirodnye gazovye gidraty: rasprostraneniye, modeli obrazovaniya, resursy [Natural Gas Hydrates: Distribution, Formation Models, Resources]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 2003;XLVTI(3):70–79 [in Russian].
9. Ishkov AG (Eds.) Rol metana v izmenenii klimata [The role of methane in climate change] [Internet]. [cited 2021 Sep 01] Available from: [http://www.vernadsky.ru/files/Publishing/rol\\_metana\\_v\\_izmenenii\\_klimata.pdf](http://www.vernadsky.ru/files/Publishing/rol_metana_v_izmenenii_klimata.pdf).
10. Shnyukov EF, Starostenko VI, Kobolev VP. Gazogidratnosnost donnykh otlozheniy Chernogo moray [Gas–hydrate content of bottom sediments of the Black Sea]. *Geofizicheskiy Zhurnal*. 2006;28(6):29–38 [in Russian].
11. Shnyukov EF, Ziborov AP. Mineralnye bogatstva Chernogo morya [Mineral resources of the Black Sea]. Kiev: OMGOR NAN Ukrainy; 2004. 280 p. [in Russian].
12. Artemov Yu. G., Egorov V. N., Polikarpov G. G., Gulin S. B. (2007). Methane emission to the hydro- and atmosphere by gas bubble streams in the Dnieper paleo-delta, the Black Sea. *Marine Ecological Journal*. 2007;6(3):5–26.
13. FINAL REPORT Critical Evaluation of Default Values for the GHG Emissions of the Natural Gas Supply Chain, 2016. 102 p.
14. Goshovskiy S, Zurian O. Gas hydrates–history of discovery. Devoted to 50th anniversary when the ability of natural gas to form deposits in the earth's crust in solid gas hydrate state was discovered. *Mineralni resursy Ukrainy*. 2019;(1):45–49. DOI: <https://doi.org/10.31996/mru.2019.1.45-49>.

*Стаття надійшла 07.10.2021 року*