https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N7

Resource assessment of gas hydrate deposits in the Black Sea

Atanas Vasilev[1], Ivan Genov[1], Rositsa Pehlivanova[1], Eva Marinovska[2]

[1] Institute of Oceanology – Bulgarian Academy of Sciences, PO Box 152, Varna 9000, Bulgaria, gasberg@io-bas.bg
[2] Sofia University „St. Kliment Ohridski", Sofia 1504, Bulgaria, evarmarinovska@gmail.com

Key words: gas hydrates, methane, resources, Black Sea

Abstract: The Black Sea is among the most promising areas for the formation of significant gas hydrate deposits due to the low salinity of the waters, a powerful sedimentary complex and extensive deep-sea buried paleodeltas. The new data and results of complex geophysical and geochemical studies within the framework of European and national projects are the basis for a new resource assessment of gas hydrates in the Black Sea. Considered one of the most suitable for exploitation in Europe, the Bulgarian gas hydrate field is located in the region of the deep-water border with Romania. The new resource assessment of gas hydrates in the Black Sea with a focus on the Bulgarian sector, as well as on basic parameters of the deposits such as area, volume, pressure, temperature, porosity saturation with hydrates and free gas, is the result of geophysical research during the last 10 years.

Ресурсна оценка на газхидратни находища в Черно море

Атанас Василев[1], Иван Генов[1], Росица Пехливанова[1], Ева Мариновска[2]

[1] Институт по океанология – Българска Академия на Науките, пк 152, Варна 9000, България, gasberg@io-bas.bg
[2] Софийски университет „Св. Климент Охридски", София 1504, България, evarmarinovska@gmail.com

Ключови думи: газхидрати, метан, ресурси, Черно море

Цели

Цели на този труд са:

- да представи наличните данни за газхидратни находища (ГХН) в Черно море. Те са определени само с геофизични методи, главно от характерни отражателни граници, симулиращи дънните (BSR) на сеизмични записи и аномалии на електрическото съпротивление, регистрирани с електромагнитни методи (CSEM);
- да оцени основни параметри, необходими за оценка на потенциала на Черно море за съхранение на CO_2 в ГХН и добив на метан и H_2:
  1. площи на ГХН и обеми на седиментите под тези зони между морското дъно и границата BSR (основа на газхидратната зона на стабилност ГХСЗ);
  2. средните температура и налягане в седиментите на дълбочината на BSR като екстремни стойности на основните независими термодинамични параметри;
  3. обемите на ГХ и метан.

Изходни данни

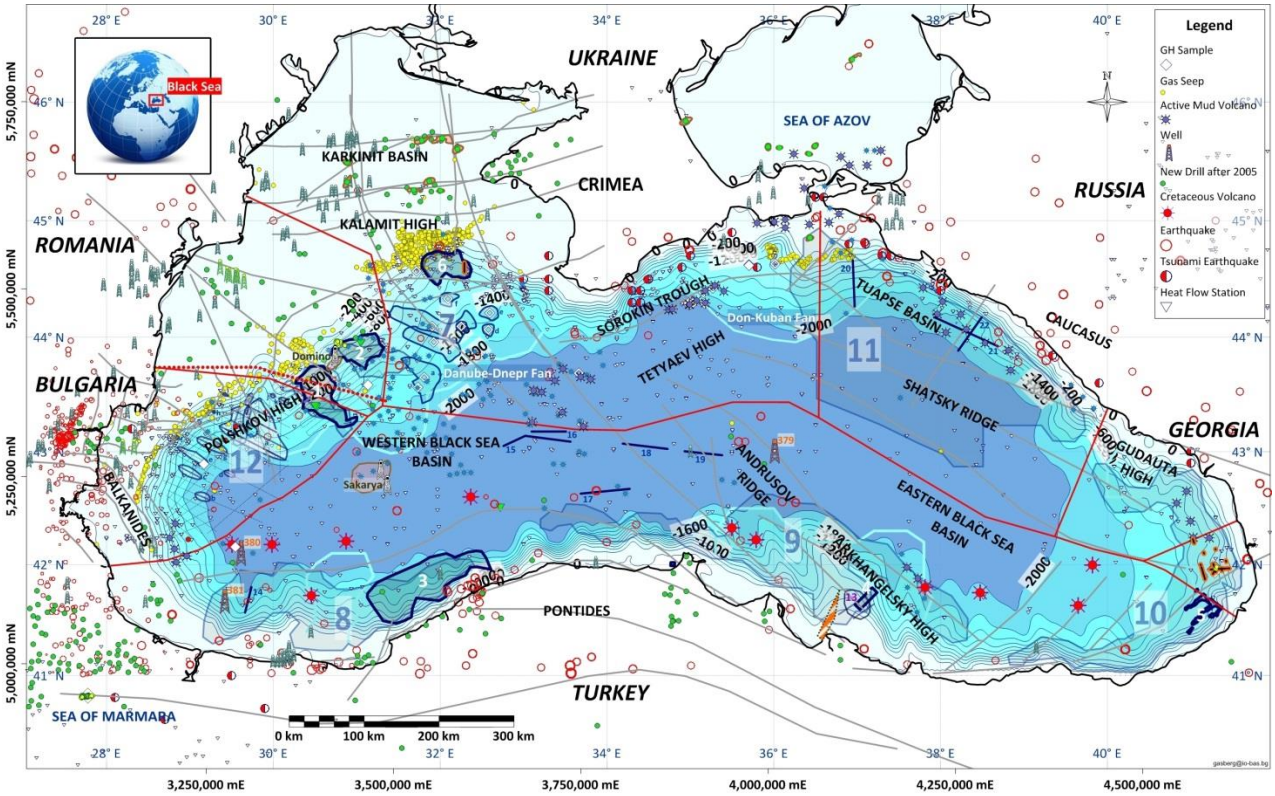
Източници на метаданни и резултати от интерпретация са 15-те публикации в специалния брой на Marine and Petroleum Geology „Black Sea Gas Hydrates", 2020–2021 (Haeckel et al., 2021) и цитирани в публикациите. Геофизични, геохимични, сондажни и др. данни са резултат от морски експедиции на 2 дузини международни проекта, цитирани в горните публикации. Последният подробен преглед на наличните доказателства за хидрати в Европа беше публикуван от участниците в акцията на ЕК COST MIGRATE (Minshull et al., 2020). „Световен атлас на подводните газови хидрати на континенталния склон" (Mienert et al., 2022) също представя нова информация за Черно море.

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N7

Графично и таблично представени на резултати

Фигура 1 показва актуализирани данни за черноморските газови хидрати и свързаните с тях обекти (фиг. 1 за подробности) като подводни газови извори; кални вулкани, погребани Кредни вулкани, земетресения и станции с измерване на топлинен поток. Показани са също хребети, главни басейни, повдигания на фундамента, подбасейни, фанове/палеоделти и впадини.

Прогнозираните BSR области или ГХН са разделени на 3 групи. Най-проучена е първата група (COST Action MIGRATE; фиг. 1: номера 1–6). Втората група е от национални публикации и публични бази данни EMODnet (фиг. 1: номера 7–12, 7a–f, 12a–k). Степента на изученост на групи 1 и 2 намалява с увеличаване на номерата. Третата група се състои от части от сеизмични записи с регистрирани BSRs (фиг. 1: 14–22).



Фигура 1. Батиметрия на Черно море, газови хидрати и свързани с тях обекти след Tari and Simmons, 2018 (препратки в Таблица 1).

Легенда: Латералната граница на зоната за стабилност в Черно море на метан хидрати е близка до изобата 650 m; Газхидратни находища (ГХН): 6 ГХН (номерирани BSR области; описание в текста), 6 области и 10 2D сеизмични линии с BSRs; 34 станции с ГХ в седиментни проби; 54 основни разлома; 2091 подводни газови извори; 52 активни кални вулкана; 121 геоложки станции с кална брекча в седиментни проби (потенциални кални вулкани, недоказани с геофизични методи); 11 Кредни вулкани; 746 земетресения (M=2-6); 36 исторически земетресения с цунами; станции за топлинен поток: 3 дълбоководни сондажа DSDP (Deep Sea Drilling Project), 4 станции с Ifremer гравитационен корер с дължина 70 m; 2378 със сонди за топлинен поток; 7 ИИЗ; 15 сондажа в БИИЗ и добивна платформа Галата; 7 румънски платформи; 216 нови сондажа след 2005 г.; 2 най-големи газови находища: Sakarya, Турция, 405 bcm и Domino, Румъния, 80 bcm; сеизмични линии от 2 круиза: MSM34 в ИИЗ на България и Румъния, проект SUGAR; Halliburton GS 1992 в БИИЗ.; Показани са 2 басейнови хребета (Андрусов и Шацки), 5 регионилни повдигания на фундамента (Полшков, Каламит, Тетяев, Архангелски и Гудаута), 2 подбасейна (Каркинит и Туапсе), 4 фана/палеоделти (Дунав, Днепър и Дон-Кубан) и впадина Сорокин.

BSR зона 13 е извън метановия ГХСЗ и може да се обясни с 10% сероводород (H_2S) в метанови хидрати (Dondurur and ÇiFçi, 2009). За оценка на площта на ГХН, регистрирани само с една сеизмична линия, приемаме, че линиите с BSR са оси на области с BSR с ширина 2 km (приблизителна ширина на линиите на фиг. 1).

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N7

В Таблица 1 стойностите за дълбочина на водата H_W, дълбочина на ГХСЗ H_{BSR} , и температурния градиент G са определени от модел на ГХСЗ за Черно море (Vasilev, 2006).
В Таблица 2 са представени общи, минимални и-максимални данни за черноморските ГХН от Таблица 1, групирани според нивото на тяхната изученост.

Таблица 1. Черноморски ГХН (зони на BSR), подредени по ИИЗ. H_W - средна дълбочина на водата; H_{BSR} - средна мощност на ГХСЗ (обем на седимент между морското дъно и BSR), определени от Vasilev (2006); V_{GHSZ} - обем на седиментите между морското дъно и BSR; V_{GH} - обем на ГХ; V_{CH4} - обем метан (1 bcm=1 km^3); T_{BSR} - средна температура на границата на BSR (средна ГХН температура T_{GHD}=(T_{BSR}+9.1)/2); P_{BSR} - средно налягане на границата на BSR. Номер 13 се приема с 10% съдържание на H_2S (Dondurur and ÇiFçi, 2009) и не е включен в сумарните данни за Турция. ГХН са на 2 нива на изученост – първоначално и по-ниско, а стойностите на ГХН за по-ниско ниво са показани с курсив.

Държава код	No	Площ km^2	H_W m	H_{BSR} M	V_{GHSZ} km^3	V_{GH} km^3	V_{CH4} bcm	G mK/m	T_{BSR} °C	P_{BSR} bar	Изт.**
BG	**1**	3006	1200	330	992	18	2768	26	18	153	2
	*12 **	*518*	*1600*	*250*	*129*	*2*	*361*	*44*	*20*	*185*	3
Сума		**3524**		**318**	**1121**	**20**	**3129**				
GE	***10(1/2) ****	***1287***	***1300***	***130***	***167***	***3***	***467***	***42***	***15***	***143***	4, 6
RO	**2**	**1849**	**900**	**220**	**407**	**7**	**1135**	**24**	**14**	**112**	1
RU	*11 **	*6290*	*1800*	*340*	*2138*	*38*	*5966*	*40*	*23*	*214*	4, 6
	*20–22 **	*42*	*1600*	*230*	*10*	*0*	*27*	*48*	*20*	*183*	5
Сума		***6332***		***339***	***2148***	***39***	***5993***				
TR	**3**	7080	1700	260	1841	33	5136	43	20	196	1
	4	324	740	100	32	1	90	46	14	84	1
	5	482	1300	120	58	1	161	53	15	142	1
	*8 **	*2349*	*1300*	*230*	*540*	*10*	*1507*	*52*	*21*	*153*	6
	*9 **	*3534*	*1400*	*260*	*919*	*17*	*2563*	*40*	*20*	*166*	6
	*10(1/2) **	*1287*	*1400*	*190*	*244*	*4*	*682*	*42*	*17*	*159*	4, 6
	*14–19 **	*70*	*2000*	*300*	*21*	*0*	*59*	*35*	*20*	*230*	5
Сума		**15,125**		**242**	**3656**	**66**	**10,199**				
UA	**6**	1950	900	140	273	5	762	40	15	104	1
	7 *	*687*	*1600*	*340*	*234*	*4*	*652*	*28*	*19*	*194*	7
Сума		**2637**		**192**	**507**	**9**	**1413**				

* Приема се 10% от площта на фигура 1 с BSR.

** Допълнителна информация в следните източници (Изт.):1. Bialas and Haeckel, 2022; 2. Mienert et al., 2022; 3. Minshull et al., 2020; 4. Mienert et al., 2022; 5. Tari and Simmons, 2018; 6. Dondurur and ÇiFçi, 2009; 7. Bialas et al., 2020.

Таблица 2. Основни физически параметри на черноморските GHDs (зони на BSR).

Изученост	Площ km^2	H_W min/max M	H_{BSR} M	V^s_{GHSZ} km^3	V_{GH} km^3	V_{CH4} Bcm	G min/max mK/m	T_{BSR} min/max °C	P_{BSR} min/max Bar
Initial	14,691	740/1700	245	3603	65	10,052	24/53	14/20	84/196
Less	*16,063*	*1300/2000*	*274*	*4403*	*79*	*12,284*	*28/52*	*15/21*	*143/230*
Total	**30,753**		**260**	**8006**	**144**	**22,336**			

Изводи

Дори и Грузия, държавата с най-малки ГХ ресурси, съгласно Таблица 1 разполага с повече природен газ от открития в най-голямото газово находище в Черно море Сакаря, Турция.
Физическите параметри на ГХН в басейна показват условия за експлоатация различаващи се ГХН извън Черно море с по-високи температури и по-ниска соленост, налягате и температурни градиенти. Тези и други специфични за Черно море условия са по-благоприятни за безрискова и щадяща околната среда експлоатация на ГХН.

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N7

Благодарности
Изследването е в рамките на два проекта:

- Фонд „Научни изследвания“ проект КР-06-ОПР04/7 ГЕОХидрат: Геотермична еволюция на морски находища на газови хидрати – палеоделтата на Дунав, Черно море (2018–2023);
- EC H2020 project 101000518 DOORS: Developing Optimal and Open Research Support for the Black Sea (2021–2025).

Литература

Bialas, J., T. Bohlen, A. Dannowski, G. Eisenberg-Klein, L. Gassner, R. Gehrmann, K. Heeschen, S. Hölz, M. Jegen, I. Klaucke, et al. 2020. Joint Interpretation of Geophysical Field Experiments in the Danube Deep-Sea Fan, Black Sea. Mar. Pet. Geol. 121, 104551. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104551.

Bialas, J., M. Haeckel. 2022. Gas Hydrate Accumulations in the Black Sea. In World Atlas of Submarine Gas Hydrates in Continental Margins. Mienert, J., C. Berndt, A. M. Tréhu, A. Camerlenghi, C.-S. Liu, (Eds.). Springer International Publishing: Cham, The Netherland, pp. 451–461. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81186-0_38.

Dondurur, D., G. ÇiFçi. 2009. Anomalous Strong Reflections on High Resolution Seismic Data from the Turkish Shelf of the Eastern Black Sea: Possible Indicators of Shallow Hydrogen Sulphide-Rich Gas Hydrate Layers. Turk. J. Earth Sci., 18, 299–313. https://doi.org/10.3906/yer-0801-1.

Marine and Petroleum Geology Special Issue “Black Sea Gas Hydrates”, Haeckel, M., G. Bohrmann, K. Schwalenberg, W. Kuhs, K. Wallmann, (Eds.). 2020–2021. Available online: https://www.sciencedirect.com/journal/marine-and-petroleum-geology/special-issue/101ZSP1HCC0 (accessed on 14 May 2023).

Mienert, J., C. Berndt, A. M. Tréhu, A. Camerlenghi, C.-S. Liu, (Eds.). 2022. World Atlas of Submarine Gas Hydrates in Continental Margins, Springer International Publishing: Cham, The Netherland, pp. 451–461. ISBN 978-3-030-81185-3.

Minshull, T.A., H. Marín-Moreno, P. Betlem, J. Bialas, S. Bünz, E. Burwicz, A. L. Cameselle, G. Cifci, M. Giustiniani, J. I. T. Hillman, et al. 2020. Hydrate occurrence in Europe: A review of available evidence. Mar. Pet. Geol., 111, 735–764. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.08.014.

Tari, G. C., M. D. Simmons. 2018. History of deepwater exploration in the Black Sea and an overview of deepwater petroleum play types. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., 464, 439. https://doi.org/10.1144/SP464.16.

Vassilev, A. 2006. Optimistic and Pessimistic Model Assessments of the Black Sea Gas Hydrates. C. R. Acad. Bulg. Sci., 59, 543–550.