



Do marine gas hydrate deposits create heat flow anomalies on the seabed?

Създават ли морските находища на газови хидрати аномалии на топлинния поток на морското дъно?

Atanas Vasilev¹, Nikola Botoucharov², Petar Petsinski¹, Rositsa Pehlivanova¹, Ivan Genov¹, Orlin Dimitrov¹, Dimitar Dimitrov¹, Danail Yovchev²
Атанас Василев¹, Никола Ботушаров², Петър Пецински¹, Росица Пехливанова¹, Иван Генов¹, Орлин Димитров¹, Димитър Димитров¹, Данаил Йовчев²

¹ Институт по океанология – БАН, 9000 Варна; E-mail: gasberg@io-bas.bg

² Софийски университет „Св. Климент Охридски“, 1504 София; E-mail: botnd@gea.uni-sofia.bg

Abstract. The aim of Stage 1 of the FNI project GEOHydrate is to prove the hypothesis that gas hydrates deposits (GHDs) create measurable temperature and heat flow (T&HF) anomalies on the seafloor. We use a PetroMod™ model for 98 Ma basin analysis of the Western Black Sea basin, developed in GEOMAR, FRG. The model was run 2 times – with and without GH formation. The resultant difference of the heat flows on the seabed shows average heat flow anomaly above GHDs of 7 mW/m² and a maximum of 15 mW/m².

Keywords: gas hydrates, gas seeps, methane, basin analysis, Black Sea.

Въведение

Газовите хидрати (ГХ) са подобни на лед, но в кристалните им решетки от водни молекули е затворен газ. Те образуват находища на континенталния склон при дълбочина на водата над 500 m и дълбочина под морското дъно под 500 m. При топене на ГХ остава вода и газ, който гори. От 1 m³ природен ГХ се отделят ~150 m³ газ, предимно метан (CH₄).

Глобалните запаси от природен газ в ГХ надвишава количеството газ в традиционни находища десетократно. Програми за изследване и разработване на ГХ се изпълняват в Германия, Индия, Китай, Нова Зеландия, САЩ, Тайван, Южна Корея и Япония. Германия е изключение, защото в акваторията и отсъстват ГХ, но правителството финансира разработването на ГХ с 2 основни цели: развитие на иновативен научен потенциал и бъдещ износ на уникални технологии.

Тестове вече доказаха възможността за добив на газ от ГХ, но добиваният газ е на порядък по-скъп от традиционния. Водещи в добивните технологии са Китай и Япония, които планират да започнат промишлен добив до 2027. Метанът в едно сондирано от Япония находище е >1100 bcm (1 bcm = 10⁹ m³) – количество, което покрива потреблението на Япония за 11 години.

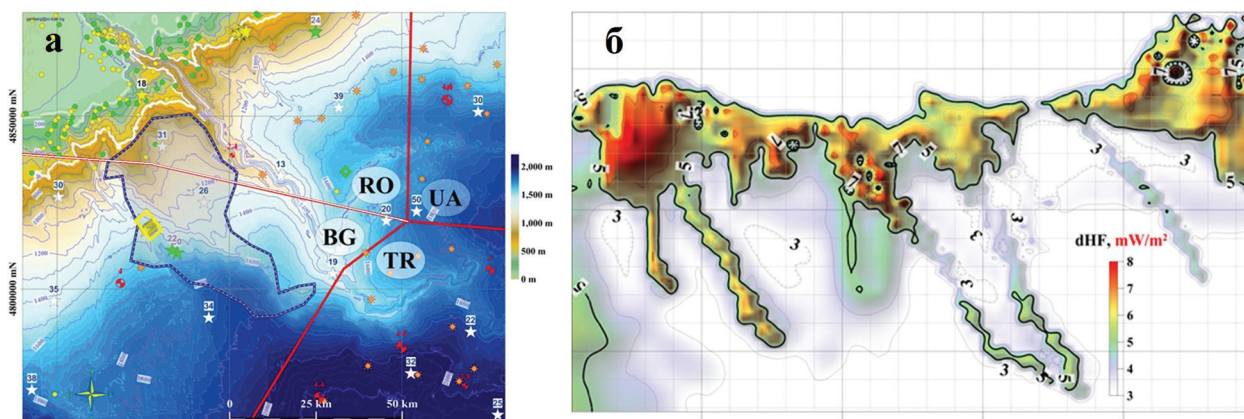
В Европа най-обещаващите находища са открити в западната част на Черно море – в из-

ключителните икономически зони на България и Румъния (БИИЗ и РИИЗ). Само находището в БИИЗ (фиг. 1a) може да направи България енергийно независима за повече от век (Vassilev, 2006).

Предварителни резултати показват, че над ГХ находище (ГХН) в БИИЗ съществуват съществени аномалии на температурата и топлинния поток (ТиТП; Vasilev, 2015). Моделът по сеизмичен профил, интерпретиран от Popescu et al. (2006), определя ТиТП на дълбочина 5 m под дъното, защото *in situ* измервания в полигона с детайлни изследвания (фиг. 1a) показват, че температурите в седиментите на дълбочини <2,5 m са нестационарни (Bialas et al., 2014). Мониторинг на ТиТП на 7 етапа от образуване на ГХН с програма Energy2D показва изменящи се аномалии на ТП до ±25 mW/m² на фона на ТП на дъното, резултат от дълбочинен ТП от 32 mW/m² (Vasilev, 2015). Този опростен модел не отчита фактори със съществен ефект върху измеримите на морското дъно полета на ТиТП. Такива са скоростта на седиментация, релефа, контрастната топлопроводимост, миграцията на флуиди и др.

Материали и методи

За отчитане на ефектите от множеството фактори, които биха поставили под съмнение про-



Фиг. 1. *a* – батиметрична карта и ГХН в палеоделтата на Дунав уточнено по сеизмични и електромагнитни данни от експедиция MSM34-35, проект SUGAR, ФРГ (Bialas et al., 2014): задимен полигон със син контур – площ, в която са регистрирани BSR/ГХ; бяла изобата 650 m – латерална граница на зона на стабилност на метанови хидрати; червени линии – граници на изключителните икономически зони в Черно море (границата между България и Румъния все още не е утвърдена); жълт правоъгълник – полигон с детайлни 3D сеизмични и CSEM изследвания, измерване на топлинен поток и геолого-геохимичен пробоотбор; петолъчни звездички – станции с измерване на ТП, mW/m^2 ; кафяви осмолъчни звездички – потенциални кални вулкани, установени по проби с кална брекча; червени полузапълнени кръгчета – епицентри на земетресения; *b* – моделни аномалии на ТП, mW/m^2 над ГХН; съвременно състояние след 98 Ma еволюция на басейна. Аномалията в лявата част на фиг. 1б, очертана по изолиния 7 mW/m^2 , е разположена приблизително над северната половина на площта с BSR/ГХ на фиг. 1а.

верката на основната работна хипотеза на Етап 1 на проект ГЕОХидрат беше решено моделното изследване да бъде извършено с програмния пакет за басейнов анализ PetroMod™, Schlumberger CCL. Програмата е лидер в моделиране еволюцията на басейни, образуването и миграцията на въглеродороди и формирането на находища на нефт, газ и ГХ. Детайлно описание на модела е публикувано от Burwicz, Naeckel (2019). Литостратиграфските параметри на модела на Черно море се основават на съвременните сеизмични интерпретации на Nikishin et al. (2015a, b). Моделният куб включва район от дълбоководната палеоделта на Дунав в БИИЗ и РИИЗ с размери $X \times Y \times Z$ 250×160×18 km. Той се състои от 40 седиментни слоя, представящи геоложката история от най-ранната пост-рифт фаза преди 98 Ma до днес с 103 хоризонта, регистрирани на дълбочинни сеизмични профили с разбивка 18 s (Nikishin et al., 2015b). Разделителните способности на модела по X и Y са съответно ~3,1 и ~2,7 km. Моделът се изпълнява на съвременна работна станция за 6 часа, а резултатите са грид-данни, от които могат да се построят над 20 000 карти.

За изследване на аномалиите на ТП, предизвикани от образуването на ГХН, са получени резултати за полето на ТП в приповърхностните седименти от 2 симулационни модела – с и без образуване на ГХ. Търсените аномалии на ТП са в разликата на резултатните полета на ТП.

Резултати

Резултатът от PetroMod™ модела показва средни аномалии от ~7 mW/m^2 с максимум от 15 mW/m^2 над ГХН (фиг. 1б). Формата на изолиниите на аномалния ТП е сходна както с тази на изолиниите на масите на ГХ на дълбочини ~100 m, така и на основните маси на ~400 m.

Дискусия

Основни недостатъци на представения модел са:

- С изключение на данните за релефа на дъното, параметрите на модела са оценъчни, а не резултат от измерване. Този недостатък няма да бъде преодолян скоро, защото изисква дълбоководно сондиране;
- Моделът работи единствено с метанови хидрати, но високата нефтоперспективност на района предполага ГХ със състав на газа, включващ метан, неговите първи хомолози и CO_2 . В това отношение получените аномалии на ТП са занижени, защото допълнителното образуване на ГХ е съпроводено с допълнително отделяне на топлина;
- Моделът е без разломи и това занижава повърхностния топлинен поток. Отсъствието на разломи препятства вертикалната миграция, което води до генериране на по-малка маса ГХ и отделяне на по-малко топлина от екзотермичния процес на хидратообразуване;
- Началните и гранични условия на изменение на климата, морското ниво, солеността и

ТП са известни схематично. Приложеният консервативен подход при подбора им е подходящ за ресурсни оценки, но не толкова за проверка на хипотези. Например измененията на климата и морското ниво в Черно море след последния ледников максимум са довели до значително топене на ГХ в периферната част на ЗСГХ. Така аномалиите на ТП от екзотермичния процес на образуване на ГХ ще бъдат намалени от ендотермичния процес на дисоциация на ГХ.

Заклучение

Хипотеза на Етап 1 на проект ГЕОХидрат е доказана моделно – над ГХН се наблюдават измерими нестационарни аномалии на ТП. От изброените недостатъци на модела единствено последният намалява топлинния ефект от образуването на ГХН, но той „работи“ само в периферията на ЗСГХ, тъй като морското ниво е било по-ниско от съвременното с 100–150 m.

Възможността ГХН да бъдат изследвани с геотермични методи ускорява процеса на тяхното разработване и мониторинг. Геотермията е единствен геофизичен метод с параметър геоложко време в своите уравнения, което позволява изследване на процеси и тяхното датирание. Тези идеи и тяхната количествена оценка подказват основната хипотеза на Етап 2 на проекта, че от аномалиите на ТиТП над ГХН може да бъде възстановен 4D процесът на тяхното образуване. Подобни резултати ще направят промишления добив на метан от ГХ реалност.

За разлика от шистовия газ и други ресурси, ГХ могат да бъдат експлоатирани без да засягат околната среда. Чистият природен газ от ГХ може да играе важна роля в бъдещата европейска енергийна система. Той би могъл: а) да повиши сигурността на енергийните доставки; б) да допринесе за намаление на емисиите на CO₂, заменяйки въглищата; в) да допълва източниците на възобновяема енергия, като доставя електричество в периодите на безветрие и по-малко светлина. ГХ биха могли да заменят европейския конвенционален газ, който ще се изчер-

пи през следващите десетилетия, и значително да смекчат нарастващата зависимост на Европа от внос на природен газ. Разработването на технология за добив на метан посредством заместването му в хидрата от CO₂ ще направи добивания метан единствен енергиен източник не само без, но и с отрицателен въглероден отпечатък върху атмосферата. Така разработването на ГХ технологии е принос към подобряване на екологичното състояние и климата на планетата.

Благодарности: Изследването е финансирано от Фонд „Научни изследвания“ по от проект КП-06-ОПР 04/7 от 18.12.2018 ГЕОХидрат „Геотермична еволюция на морски находища на газови хидрати – палеоделтата на Дунав, Черно море“. Авторите благодарят на Dr Ewa Burwicz, GEOMAR, без чиято помощ получаването на тези резултати беше невъзможно.

Литература References

- Bialas, J., I. Klaucke, M. Haеckel. 2014. *Report No 15, MSM Cruise 34, Leg 1&2, SUGAR site*, 111 p.
- Burwicz, E., M. Haеckel. 2019. Basin-scale estimates on the petroleum components generation in the Western Black Sea basin based on the 3-D numerical model. – *Mar. Pet. Geol.*, 113, 104–122.
- Nikishin, A. M., A. Okay, O. Tüysüz, A. Demirer, N. Amelin, E. Petrov. 2015a. The Black Sea basins structure and history: new model based on new deep penetration regional seismic data. Part 1: Basins structure and fill. – *Mar. Pet. Geol.*, 59, 638–655.
- Nikishin, A. M., A. Okay, O. Tüysüz, A. Demirer, M. Wannier, N. Amelin, E. Petrov. 2015b. The Black Sea basins structure and history: new model based on new deep penetration regional seismic data. Part 2: Tectonic history and paleogeography. – *Mar. Pet. Geol.*, 59, 656–670.
- Popescu, I., M. De Batist, G. Lericolais, H. Nouzé, J. Poort, N. Panin, W. Versteeg, H. Gillet. 2006. Multiple bottom-simulating reflections in the Black Sea: potential proxies of past climate conditions. – *Mar. Geol.*, 227, 163–176.
- Vassilev, A., 2006. Optimistic and pessimistic model assessments of the Black Sea gas hydrates. – *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 59, 5, 543–550.
- Vasilev, A., 2015. Geothermal evolution of gas hydrate deposits: BEEZ in the Black Sea. – *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 68, 9, 1135–1144.