



## Applications of heat flow in the Western Black Sea to model geothermal evolution and gas hydrate formation

### Приложения на топлинния поток в западната част на Черно море за моделиране на геотермичната еволюция и формиране на газови хидрати

*Nikola Botoucharov, Rosica Pehlivanova*  
*Никола Ботушаров, Росица Пехливанова*

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

**Abstract.** The main objective of the study is to outline the surface distribution of the modern and paleo-heat flow in order to reconstruct the thermal history of the Western Black Sea basin in relation to the origin and stability of gas hydrates. Key bore-hole section models confirm the basic theory for the opening of the basin, as well as variations in paleo-heat flow values over a wide range. The gas hydrates in the paleo-delta areas of the Danube and Dnieper Rivers are of probable biogenic origin, which is confirmed by the model results.

**Keywords:** Western Black Sea basin, thermal history, heat flow, gas hydrates.

#### Въведение

Изследването на термичната история (геотермичния режим) на седиментните басейни/суббасейни в рамките на западната част на Черно море е важен елемент при оценяване на въглеродородната генерация, в това число при моделиране на палеотоплинния поток и очертаване на зоните на термобаричен стабилитет на газовите хидрати. Основната цел на тази работа е на базата на наличните данни да се очертае повърхностното разпределение на съвременния топлинен поток, както и със средствата на компютърното моделиране да се определи това и за минали геоложки времена във връзка с формиране и запазване на газохидратни находища.

Произходът, развитието и термичната еволюция на Черно море са изключително актуални въпроси, които намериха своите съвременни перспективи основно през последните три десетилетия. Една от най-вероятните хипотези, изказана от Golmshtok et al. (1992), развита и детайлизирана впоследствие, разглежда Черно море като останка от заддъгов басейн, развит в Къснокредно и Раннотерциерно време в резултат на по-ранна екстензия и заддъгов спрединг (Dachev et al., 1988; Cloetingh et al., 2003; Nikishin et al., 2003). Следователно, седиментното погребване и историята на топлинния поток трябва да се разглеждат в контекста на отваряне на Западночерноморския басейн и впоследствие образуване на посторогенна депресия. Разпреде-

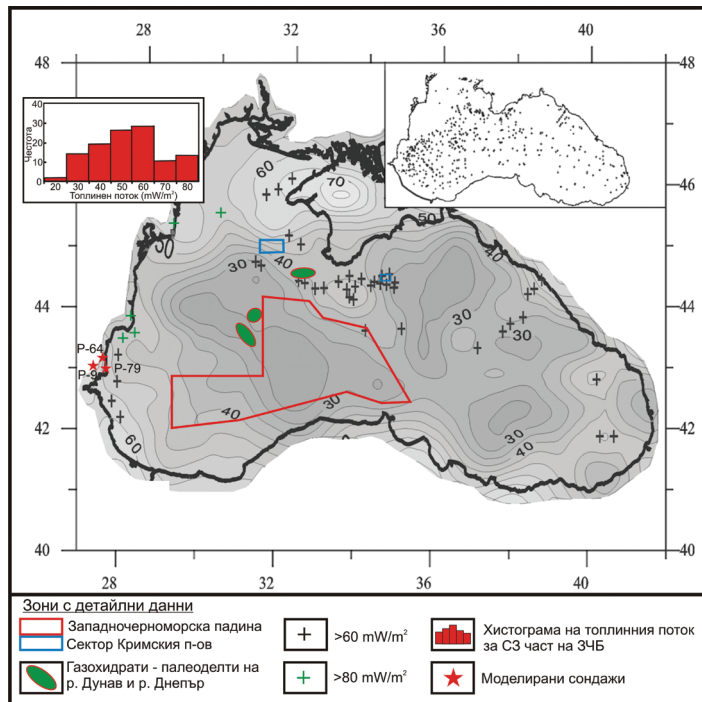
лението на топлинния поток и температурата на различни дълбочини в Черноморската депресия свидетелства за сложна термична история. Тя е резултат от множество комплексни и взаимно-свързани геоложки процеси, осъществени в обхвата на разнородна тектонска рамка.

#### Резултати

Геологията, тектониката и топлинния поток в Западночерноморския басейн са добре изучени, а основната информация за настоящото изследване е представена на фиг. 1 и таблица 1.

Събраната през последните 30 години богата база данни включва изследвания от Украинския, Руския, Румънския и Българския сектор на сушата и в акваторията (Dachev et al., 1988; Petrov et al., 1991; Golmshtok et al., 1992; Kutas et al., 1998; Bokov et al., 2002; Veliciu, 2002; Cloetingh et al., 2003; Kutas et al., 2004; Dobrev et al., 2004; Kutas, Poort, 2008). Представените резултати са обобщения от редица изследователски рейса в СИ част на Западночерноморския басейн. Публикуваната информация включва не само топлинния поток, но и градиентите и термичната проводимост. Тя може да се ползва като референтна при моделиране на генерацията на нефт и газ, още повече когато разполагаме с ключови сондажни разрези и координатно обвързване.

Западночерноморското понижение се характеризира преобладаващо с ниски стойности на



**Фиг. 1.** Разпределение на повърхностния топлинен поток в Черно море с местонахождението на газови хидрати от палеоделтите на Дунав и Днепър (по Veliciu, 2002, Kutas et al., 2004 и Minshull et al., 2019, компилация)

повърхностния топлинен поток (фиг. 1). Тази закономерност е валидна особено в неговата централна субокеанска част с максимални дебелини на седиментната покривка. Придвижвайки се на запад, топлинният поток бавно нараства синхронно с намаляване на седиментните дебелини.

Анализът на данните свидетелства за завишени стойности на топлинния поток в някои местонахождения (табл. 1). Изследванията от последните десетилетия коригираха средните стойности на топлинния поток, особено за СЗ част на Черно море, където са установени стойности в диапазона от 50 до 80 mW/m<sup>2</sup>.

Завишен топлинен поток със стойности до 100 mW/m<sup>2</sup> в българската акватория в района на структури Елизаветино и Нанево са отчетени от Velev (2008). Подобна е ситуацията и в района между нос Шабла и Калиакра, където напр. в Тюленовското нефтено находище е отчетена позитивна температурна аномалия (Georgiev, 2007). На юг информацията за топлинния поток в морската част на Бургаския басейн и на сушата, която е необходима за регионално корелиране, е ограничена (Dachev et al., 1988; Petrov et al., 1991).

## Дискусия

Черноморският басейн се отличава с диференцирана термична история, като максималните

стойности се свързват с времето на първоначалния рифтинг (Cloetingh et al., 2003). Аномалиите на топлинния поток в Западнoчерноморския басейн вероятно са резултат от издигане на гореща астеносфера преди около 70–90 млн. г. Прави впечатление, че по-ниските нива на подгриване за района се отбелязват след Средния Еоцен. Особено внимание трябва да се обърне на съвременните стойности на топлинния поток, които обикновено са по-високи от компютърно моделираните. В геоложкия модел това може да се коригира, ако те се приложат само за Кватернера, тъй като са резултат основно от съвременните геоложки процеси и температурата на водния стълб. Особено влияние са оказали последните залежавания отпреди 80–100 000 г. и глобалното затопляне през последните 9000 г.

Комплексният подход при 1-D моделирането изисква създаване както на концептуален геоложки модел (forward modelling), така и на обратна задача (inverse modelling), която да потвърди работната хипотеза чрез калибриране и оптимизация на предполагаемите стойности на топлинния поток и съпоставянето им с измерените зрялостни параметри (основно отражателна способност на витринита % Ro). Такива модели са направени за сондажи P-64 Лонгоза, P-9 Старо Оряхово и P-79 Шкорпиловци, които анализират вариациите в стойностите на палеотоплинния поток в широк диапазон от 34 до над

Таблица 1. Резултати за топлинния поток от дълбоки сондажи в украинския сектор (по Kutas and Poort, 2008)

№	Сондажи	Координати		Градиенти	Термична проводимост W/m K	Топлинен поток mW/m <sup>2</sup>
		N	E			
1	Голицина-4	45°43'	31°53'	0.040	1.85	74±8
2	Голицина-2	45°40'	31°58'	0.035	1.95	65±6
3	Щормовая-5	45°15'	31°40'	0.037	1.80	66±8
4	Щормовая-2	45°15'	31°42'	0.040	1.80	72±8
5	Гамбурцева-2	45°13'	31°22'	0.025	2.00	50±5
6	Селскаво-40	45°08'	31°33'	0.037	1.90	70±10
7	Олимпик-400	44°45'	30°32'	0.033	1.75	57±8

67 mW/m<sup>2</sup> (Chouparova et al., 1993; Botoucharov, Stefanov, 2010). Те потвърждават хипотезата на Cloetingh et al. (2003) за намаляване на стойностите след отваряне на Западночерноморския басейн и може да бъдат използвани като отправна точка при моделиране на въглеродородната генерация в Долнокамчийското понижение на сушата, а с известни модификации по отношение на седиментния пълнеж и дълбочината на погребване, както и в акваторията.

Присъствието на газохидратите обикновено съвпада с конвенционалните термогенни нефтогазоносни провинции (Minshull et al., 2019). Повечето от индикаторите за тяхното присъствие, в това число газовите извори, са на дълбочини по-малки от 650 m воден стълб. Те маркират съвременната горна граница на газохидратния стабилитет в Черно море, свързани със зоните на палеоделтите на реките Дунав и Днепър (фиг. 1). Обаче хидратите там са с вероятен биогенен произход, което се потвърждава от моделите за зрялост на богатите на органично вещество седименти и изотопния анализ на δ<sup>13</sup>C в метана. Седиментите на Русларска свита или в широк смисъл тези на Майкопския комплекс с възраст Олигоцен–Ранен Миоцен са перспективни поради сравнително високите стойности на органичен въглерод, но в голяма част от Западночерноморския басейн те са с ниска степен на диагенетична трансформация.

*Благодарности:* Изследването е част от проект КП-06-ОПР 04/7 „Геотермична еволюция на морски находища на газови хидрати – палеоделтата на Дунав, Черно море (ГЕОХидрат)“, финансиран от ФНИ на МОН.

## Литература References

Bokov, P., M. Doncheva, N. Kostova, M. Vakarelska, V. Tzenkova, S. Denkova. 2002. Structure and hydrocarbon potential of the deepwater part of the Bulgarian Black Sea economic zone. – *Geol. and Mineral Res. J.*, 6, 18–22 (in Bulgarian).

Botoucharov, N., Y. Stefanov. 2010. Thermal modelling of the Cretaceous–Neogene history in Dolna Kamchia basin (onshore Bulgaria). – In: *GeoMod 2010, Modelling in Geosciences, Fourth International Geomodelling Conference*. Disc of the conference extended abstracts, Lisbon, 1–4.

Chouparova, E., N. Suzuki, P. Bokov. 1993. Modelling of subsidence and thermal history of Paleogene sequence in Dolna Kamchia depression, Western Black Sea basin. – *Geologica Balc.*, 23, 4, 65–78.

Cloetingh, S., G. Spadini, J. D. Van Wees, F. Beekman. 2003. Thermo-mechanical modeling of Black Sea basin (de)formation. – *Sediment. Geol.*, 156, 169–184.

Dachev, Ch., V. Stanev, P. Bokov. 1988. Structure of the Bulgarian Black Sea area. – *Boll. di Geofisica Teorica ed Applicata*, 30, 79–107.

Dobrev, T., S. Dimovski, S. Kostianev. 2004. Level of study of the geothermal field in Bulgaria and a methodical approach towards investigating its depth distribution. – *Ann. Univ. Mining and Geol.*, 47, 1–Geol. and Geophys., 251–258 (in Bulgarian with English abstract).

Georgiev, G. 2007. Challenge for hydrocarbon exploration in Western Black Sea – case study for origin of Tjulenov. – In: *EAGE 69th Conference & Exhibition*, London, p. 255.

Golmshtok, A., L. Zonenshain, A. Terekhov, R. Shainurov. 1992. Age, thermal evolution and history of the Black sea basin based on heat flow and multichannel reflection data. – *Tectonophys.*, 210, 273–293.

Kutas, R., J. Poort. 2008. Regional and local geothermal conditions in the northern Black Sea. – *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*, 97, 353–363.

Kutas, R., V. Kobolev, V. Tsvyashchenko. 1998. Heat flow and geothermal model of the Black sea depression. – *Tectonophys.*, 291, 91–100.

Kutas, R., S. Paliy, O. Rusakov. 2004. Deep faults, heat flow and gas leakage in the northern Black Sea. – *Geo Mar. Lett.*, 24, 163–168.

Minshull, T. A., H. Marín-Moreno, P. Betlem et al. 2019. Hydrate occurrence in Europe: A review of available evidence. – *Marine and Petroleum Geol.*, 111, 735–764.

Nikishin, A.M., M. V. Korotaev, A. V. Ershov, M. F. Brunet. 2003. The Black Sea Basin: tectonic history and Neogene–Quaternary rapid subsidence modelling. – *Sediment. Geol.*, 1–4, 149–168.

Petrov, P., K. Bojadieva, S. Gasharov, T. Velinov. 1991. Thermal field and geothermal regime in Bulgaria. – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, 52, 1, 60–64 (in Bulgarian with English abstract).

Veliciu, S. 2002. Heat flow of the North-Western Black Sea region. – In: Dinu, C., V. Mucano (Eds.). *Geology and Tectonics of the Romanian Black Sea shelf and its Hydrocarbon Potential*, B. G. F. Special Volume 2, 53–58.

Velev, V. 2008. Black Sea: deep-water geology and shallow resource strategy. – *Geol. and Mineral Res. J.*, 3, 21–26 (in Bulgarian).