

ИЗУЧЕНОСТ НА ГЕОТОПЛИННОТО ПОЛЕ В БЪЛГАРИЯ И МЕТОДИЧНА ПОСТАНОВКА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДЪЛБОЧИННОТО МУ РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ

Т. Добрев, С. Димовски, С. Костянев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Систематизираните бележки за състоянието на геотермалната изученост на територията на България показват, че за настоящия етап от първостепенно значение е изучаването, оценката и интерпретацията на пространственото разпределение, структурата и приблизителните ресурси на дълбочинната геотермална енергия.

Обсъждат се подходи и методика за изучаване на геотермалното поле в литосферата на България. Отбелязва се, че при отчитане неравномерната гъстота на измерванията и възможните деформации на термограмите, свързани с локални източници на топлина, за повишаване представителността и извяване на регионална характеристика на геотоплинното поле е целесъобразно аритметично осредняване, широко използвано в геофизичната практика.

Представената постановка за изучаване дълбочинното разпределение на топлинното поле е методична предпоставка за реализиране на конкретни изчислителни схеми при използване на наличната информация от извършените до настоящия етап изследвания.

LEVEL OF STUDY OF THE GEOTHERMAL FIELD IN BULGARIA AND A METHODICAL APPROACH TOWARDS INVESTIGATING ITS DEPTH DISTRIBUTION

T. Dobrev, S. Dimovski, S. Kostianev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. The systematic notes concerning the level of study of the geothermal field in the territory of Bulgaria are showing that at present stage the major objective is investigation, assessment and interpretation of the space distribution, the structure and the approximate resources of the depth geothermal energy.

Several approaches and techniques for studying the geothermal field in the lithosphere of Bulgaria are analyzed. It is stated that for taking into account the irregular density of observation points and the possible temperature logs deformations connected to local heat sources it is suitable to apply a procedure that is commonly used in geophysics – the arithmetical averaging. Like this the reliability of final results is improved and the geothermal field regional characteristic is emphasized.

The presented approach towards investigating the geothermal field depth distribution is a methodical prerequisite for developing precise processing techniques that can be applied over data available from studies performed up till now.

Състояние на геотермалната изученост на територията на България

Геотермията - науката за топлинното поле на земята е съставна част от геофизиката. Геотермичните полета традиционно са били обект на комплексните геофизични изследвания при изучаване находищата на полезни изкопаеми и геолого-геофизичния строеж на земната кора. Тяхното измерване, интерпретиране и оценяване същевременно има основно значение при търсене и проучване на термоминералните води и определяне ресурсите на дълбочинната геотермална енергия. Разширяването на геотермичните изследвания в световен мащаб бе предизвикано и се стимулира и от необходимостта да се търсят и използват нови енергийни източници. То е контра-мярка на забележителната тенденция за бързо намаляване запасите на традиционните природни енергийни ресурси и непрекъснатото увеличаване на потреблението на електрическа и топлинна енергия.

Геотермичните изследвания в България през 60-те и 80-те години на миналия век постигнаха значими резултати и позитивен напредък при търсенето и проучването на нефтогазови и рудни находища (П.Петров, 1964; П.Петров и

др., 1983; Кл.Бояджиева, Т.Велинов, 1981; Хр.Дачев, 1986 и др.) и при изучаване строежа, генезиса и ресурсите на хидротермалните находища и системи на минералния състав на водите им (П. Петров, 1964; П. Петров и др., 1970; Ив. Станев, С. Веселинов, 1991; К. Щерев, 1972 и др.).

Получени бяха определени количествени данни и резултати за теплофизичните свойства на скалите, характеристиката на приповърхностното геотермично поле и повърхностната геотермална енергия за някои по-крупни геолого-тектонски структури и хидрогеоложки комплекси в страната (Т. Велинов, 1986; Хр. Дачев, Т. Велинов, 1975; Й. Николова, И. Петков, 1965; П. Петров и др., 1991; Ив. Станев, С. Веселинов, 1991; К. Щерев, 1962; К. Щерев, 1972; Хр. Антонов, Д. Данчев, 1980; S. Kostianev, T. Dobrev, E. Spasov, 1988; Kostianev, S., B. Manov, 1992 и др.). Успехите на българската геотермия, породени от изискванията за успешно социално-икономическо развитие на страната, предизвикаха през този период засилен научен, обществен и държавен интерес. Геотермичната тематика се разшири и зае все по-престижно място в геолого-геофизичната литература и на национални и международни научни форуми.

Ще отбележим, че преди три десетилетия навременно бе

мотивирана и научно обоснована необходимостта от извършване на системни и планово обвързани изследвания по геотермия. Ще посочим само един факт и показател. На широка общественостно-държавна основа и инициатива бяха организирани и проведени национални съвещания: "Проблеми на проучването и комплексното използване на геотермалните енергийни ресурси в България" (16.10.1981 г. в гр. Пловдив) и "Съвременни методи и технически средства за проучване и усвояване на находища на термални води и геотермална енергия" (29.10.1982 г. в гр. София). В обсъждането на тези актуални теми взеха активно участие над 40 учени и специалисти. Съвещанията завършиха с приемане на "Констатации и препоръки", на чиято основа бе разработена и съставена "Програма за проучване на повърхностната и дълбочинна геотермална енергия на територията на Република България". Държавни институции недооцениха важността на проблема и не осъществиха координация на изследователските звена и финансиране на работата по изпълнение на тази национална програма.

След политическата, икономическата и социална криза от 1989 г., важният и актуален геоенергиен проблем бе окончателно забравен. Българската наука, геофизиката, геологията и геотермичните проучвания само за няколко години изживяха и изпаднаха в дълбока структурна и количествена творческо-изследователска и производствена разруха и финансова криза. Настъпи кадрово обедняване, ерозиране и безперспективност за голяма част от учените и специалистите по геотермични проучвания известни у нас и в чужбина. Въпреки голямото количество и разнообразие на геотермалните ресурси у нас, няма нагласа, държавнически решения и действия проблемът "Използване на геотермалната енергия в България" да бъде цялостно и комплексно изследван и практически реализиран както това е направено в много държави преди десетилетия. Отговорност за разрутата на геолого-геофизичния проучвателен отрасъл и решаването на този национално актуален и перспективен проблем носят правителствата и техните институции, които не се вслушват в многократно направените предложения от научно-творческите организации и специалистите.

Информация за топлинното поле на територията на България се съдържа в редица публикации. Ще посочим по-важни публикувани резултати на български изследователи. По данни от температурните измервания в сондажи в България през 1979 г. (Т. Velinov, К. Boyadjieva, I. Petkov, 1979 и др.) са публикувани карта на температурата и на геотермичния градиент на дълбочина 500 m. През 1981 г. е публикувана монографията на Т. Велинов и Кл. Бояджиева (Кл. Бояджиева, Т. Велинов, 1981), в която също за територията на България са представени карти на температурата на дълбочини 300, 500 и 1000 m от земната повърхност и карта на геотермичния градиент в интервала 100-500 m.

Както е известно, от 1949 г. в Северна България (Мизийската платформа и Предбалканската структурна зона) са провеждани системни нефтени геолого-геофизични проучвания съпроводени със стотици дълбочинни търсещи, параметрични, проучвателни и добивни сондажи. По данни от температурните измервания в сондажите за Северна България са съставени 5 карти на топлинното поле на дълбочини 300, 500, 1000, 1500 и 2500 m от земната

повърхност и на геотермичния градиент за интервалите 1000-1500 m и 1000-2500 m. За Северозападна и Централна Северна България са съставени карти на геотермичния градиент изчислен при други варианти на дълбочинните интервали: 500-1000 m, 1000-1500 m, 1500-2000 m, 2000-2500 m, 2500-3000 m и 3000-3500 m. Очевидно е, че във времето част от едноименните карти на температурата са допълнени и актуализирани. Детайлността на посочените до тук карти е различна в отделни райони на страната поради неравномерната мрежа на изследваните сондажи и тяхната дълбочина. За Северна България също така са съставени отделни геолого-геофизични разрези по направления и за площи важни за определяне на нефтогазността и за нефтодобива.

По съставени и публикувани геотермични данни и графични материали за територията на България са направени опити за търсене на връзка на елементите на топлинното поле с мегаблоковите структури на геоложкия строеж (Кл. Бояджиева, Т. Велинов, 1977; Т. Велинов, Кл. Бояджиева, 1986; Хр. Дачев, Т. Велинов, 1975 и др.) и с регионалните гравитационни аномалии (Хр. Дачев, 1986).

В приносна публикация (П. Петров и др., 1991), посветена на топлинното поле и геотермичния режим в България, са представени актуализирани карти на температурата на дълбочина 500 m (с нанесени хидротермални находища) и на 1000 m за територията на България. За Северна България са дадени, нови карти на температурата на дълбочина 2000, 3000 и 5000 m от земната повърхност. Всички данни за измерените температури на наша територията са систематизирани в много добре оформен "Геотермичен каталог на България" (Кл. Бояджиева, Ст. Гашаров, 2001).

От изложеното дотук следва, че е публикуван значим фактологичен материал. Този материал позволява да се използва и може допълнително да се обработва, структурира и интерпретира. Разкритият хидротермален потенциал е проучван и оценяван. Ориентировъчно са дадени количествени температурни, дебитни и геоенергетични характеристики и е анализиран генезиса и минералния състав на някои разкрити и добре идентифицирани хидротермични зони и находища в различни райони на страната (П. Петров, 1964; П. Петров и др., 1970; П. Петров и др., 1991; Ив. Станев, С. Веселинов, 1991; К. Щерев, 1962; К. Щерев, 1972 и др.). Прогнозната възпроизвеждаща се хидрогеотермална продукция на територията на България се оценява на 15-20 m³/s термални води и 1500-2000 MW нискоенталпийна геотермална енергия. От общото количество на този възстановяващ се потенциал са разкрити и могат да се оползотворят не повече от 25 %, а реално и твърде непълноценно се използват едва 8-10 % (К. Д. Щерев "Перспективи и проекти...", 26.12.1998 г. Ръкопис). Има данни и за разпределението на използваната геотермална енергия по региони в България (Bojadjieva, K., Hr. Hristov, VI. Hristov and Al. Benderev, 2000).

От проведените количествени оценки може определено да се направи извода, че проблемът даже за приповърхностната геотермална енергия, не е проучен задоволително и се нуждае от задълбочено цялостно комплексно изследване, необходимо за осъществяване на възможно най-целесъобразно и пълно използване на геотермалните ресурси на България.

Систематизираните бележки за състоянието на геотер-

малната изученост на територията на България показват, че за настоящия етап от първостепенно значение е изучаването, оценката и интерпретацията на пространственото разпределение, структурата и приблизителните ресурси на дълбочинната геотермална енергия.

Методика и подходи за изчисляване на температурата в литосферата на България

Анализът и допълнителната обработка на посочената геотермична информация ще даде възможност да се извърши съставяне на различни дълбочини, веществени и изотермични повърхнини в литосферата (земната кора и горната мантия) и карти на регионалния топлинен поток. Изчисляване на температурата в дълбочина се основава на изчисляване на топлинното поле в долното полупространство при използването на данни за изходното топлинно поле на зададено дълбочинно ниво, топлинния поток, топлогенерацията и топлофизичните свойства на скалите. Доказано е, че съвременната температура до дълбочина 50-100 km удовлетворява стационарното уравнение на топлопроводност, при което за слоист модел на земната кора физическите параметри са функция само на дълбочината (У. Мойсеенко, А. Смыслов, 1986 и др.). Дълбочинните температури в България могат да се изчислят на основата на решението на стационарното едномерно уравнение на топлопроводността, при определени гранични условия (S. Kostianev, T. Dobrev, E. Spassov, 1988), известно и публикувано в неговия различен вариант (Хр. Дачев, 1986; У. Мойсеенко, А. Смыслов, 1986; А. Смирнов и др., 1979, В. Чермак, 1982; L. Stegena, R. Meissner, 1986 и др.). Методиката, етапите, условията и подходите за изчисляване на температурата на различна дълбочина в литосферата схематично се представят от съвременните представи за разпределение на геотермичното поле.

До дълбочина 50-100 km, както вече се посочи, разпределението на съвременната температура удовлетворява стационарното уравнение на топлопроводността. За слоист модел на земната кора, в който топлофизическите характеристики (топлинни свойства на скалите, генерация на топлината) се изменят само в дълбочина, се използва уравнение на топлопроводност от вида (У. Мойсеенко, А. Смыслов, 1986 и др.):

$$\frac{d}{dz} \left[\lambda(z) \frac{dT(z)}{dz} \right] = -A(z) \quad (1)$$

където: T – температура на дълбочина z ; λ – коефициент на топлопроводност; A – функция на разпределение на радиогенните източници на топлина (У. Мойсеенко, А. Смирнов, 1986, В. Чермак, 1982; L. Stegena, R. Meissner, 1986 и др.).

За оценка на съвременната температура в дълбочина най-често се използва уравнение (1) при следните гранични условия:

$$T(z) \Big|_{z=0} = T_0; \quad \lambda \frac{dT(z)}{dz} \Big|_{z=0} = Q_0 \quad (2)$$

където Q_0 е плътност на топлинния поток на земната

повърхност.

Температурите в дълбочина, получавани чрез решение на уравнение (1) при удовлетворяване на граничните условия (2) се представят от уравнението (S. Kostianev, T. Dobrev, E. Spassov, 1988; У. Мойсеенко, А. Смыслов, 1986):

$$T(z) = T_0 + \frac{Q_0}{\lambda} z - \frac{A}{2\lambda} z^2 \quad (3)$$

Изчисляването на температурата в дълбочина на територията на България е целесъобразно да се реализира с трислоен модел на консолидираната земна кора: седиментен, "гранитен" и "базалтов" слой. Информация за строежа на земната кора и дебелината на нейните слоеве и за скоростите на разпространение на сеизмичните вълни се съдържат в редица публикации (Хр. Дачев, 1986; Т. Добрев, Ю. Щукин, 1974; Т. Добрев, Ю. Щукин, 1975 и др.). При изследване разпределението на температурите и на топлинния поток в дълбочина могат да се използват данните, публикувани в (Бояджиева, Кл., Т. Велинов, 1977) и геотермичния каталог на България (Бояджиева, Кл., Ст. Гашаров, 2001). Теплогенерацията – енергията на разпада на радиоактивните елементи за седиментния, "гранитния" и "базалтовия" слой може да се изчисли по методика, използвана в (L. Stegena, R. Mejsner, 1986). Разпределението на топлинните източници в първо приближение се приема за постоянно за трите слоя на разреза. Получените средни стойности на топлогенерацията в тези слоеве на земната кора са съответно: 1,5; 0,45; 0,02 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ (S. Kostianev, T. Dobrev, E. Spassov, 1988).

Оценка на точността на изчислените температури се реализира чрез съпоставянето им с измерените в дълбоки сондажи. За целта е използвана картата на изчислените от нас температури на дълбочина 5 km от земната повърхност и изотермите на публикуваната "Карта за разпределението на температурата на дълбочина 5000 m за района на Северна България" (П. Петров и др. 1991), приети за "еталонни" и в сондажи с голяма дълбочина (около 4 km). Изчислените осреднени температури в Ломската депресия и Западния Предбалкан са по-малки спрямо "сигурните" изотерми на публикуваната карта. Отклоненията са значително по-малки и даже сменят знака си при сравняване с "предполагаемите" изотерми в Източния Предбалкан на публикуваната карта. В други участъци на областта грешката достига максимално до 10-18 %, порядък на точност, който е получаван и от други изследователи (У. Мойсеенко, А. Смыслов, 1986 и др.). Важен положителен факт е, че формата и местоположението на Ломската позитивна температурна аномалия, очертана от изотермите на изчислените температури и тези на измерените в общи линии съвпадат.

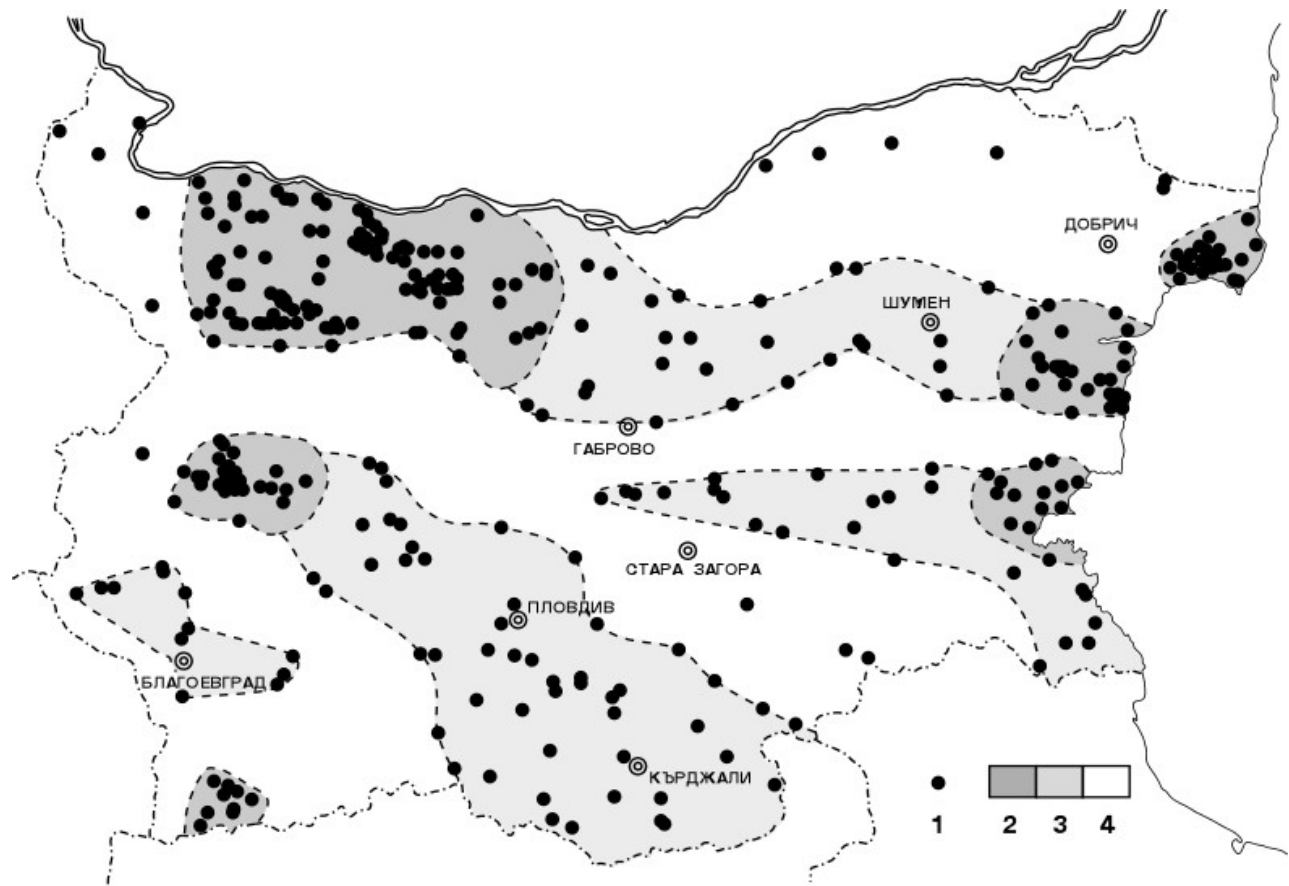
От направената оценка за точността на "Картата на изчисленото топлинно поле на дълбочина 5 km" и картите на други дълбочинни нива очевидно може да се приеме, че те и формиращото се на тях топлинно поле на литосферата имат моделен вариантен характер.

За обработката на данните от температурните измервания много важна е гъстотата на точките, която обуславя и мащаба на изследването. На фиг. 1 е показана схема с разпределение на точките, в които има измервания на

температурата на дълбочина 500 m.

Общият брой на измерените температури е 740 и отнесени към площта на България те обуславят мащаб 1:1500000. За съжаление обаче, точките, в които са измерени температурите са разпределени твърде неравномерно. Например кондицията за Ломската падина, Софийската котловина и района около Добруджанския въглищен басейн допуска мащаб 1:100000 и по-едър; за отделни територии обаче с площ до около 400 km² съществуват по 1-2 точки и съответно мащабът е твърде дребен – 1:2500000.

При оценка на фактологичния материал следва да се отчита и голямото влияние на локалните източници на топлина, свързани главно с движението на хидротерми, които деформират регионалния ефект от дълбочинния топлинен поток. Особено силно това влияние се изразява в района на Ерма, където в границите само на километри температурата на дълбочина 500 m е в границите на 29-89°C; за същата дълбочина в района около Кюстендил температурните вариации са в границите на 45-63°C, в Софийската котловина – на 36-73°C, в района на Айтос – на 33-59°C.



Фиг. 1. Схема на разпределението на точките, в които са измерени температури на дълбочина 500 m за територията на България
1 – сондажи, в които са измерени температури на дълбочина 500 m; 2 – зони с плътност на сондажите, която осигурява мащаб 1:100 000 и по-едър; 3 – зони с плътност на сондажите, която осигурява мащаб 1:1 000 000; 4 – зони с плътност на сондажите, която осигурява мащаб 1:2 500 000

Забележка: Сондажите, през които преминава линията на зонирание се отнасят и към двете съседни зони

В Северна България наличната информация за разпределението на температурата в сравнително голям брой дълбоки сондажи е позволила да се съставят обобщени температурни графици (П. Петров, Кл. Бояджиева, Ст. Гашаров, Т. Велинов, 1991) – фиг. 2, а. Изчисленото въз основа на тези графици разпределение на геотермичния градиент (фиг. 2, б) добре илюстрира геотермичната специфика на тектонски структури и дялове в Северна България – Ломската депресия, Северобългарско издигане, Варненската падина и Предбалкана. Най-голям и постоянен за целия разрез е геотермичният градиент в Ломската депресия. В Предбалкана и Варненската падина геотермичният градиентът нараства в дълбочина, а за Северобългарското издигане – намалява. Тази специфика на разпределение на градиента добре се съгласува с геоложкия строеж.

При отчитане неравномерната гъстота на измерванията и възможните деформации на термограмите, свързани с локални източници на топлина, за повишаване представителността и изявяване на регионалната характеристика на геотоплинното поле е целесъобразно аритметично осредняване, широко използвано в геофизичната практика.

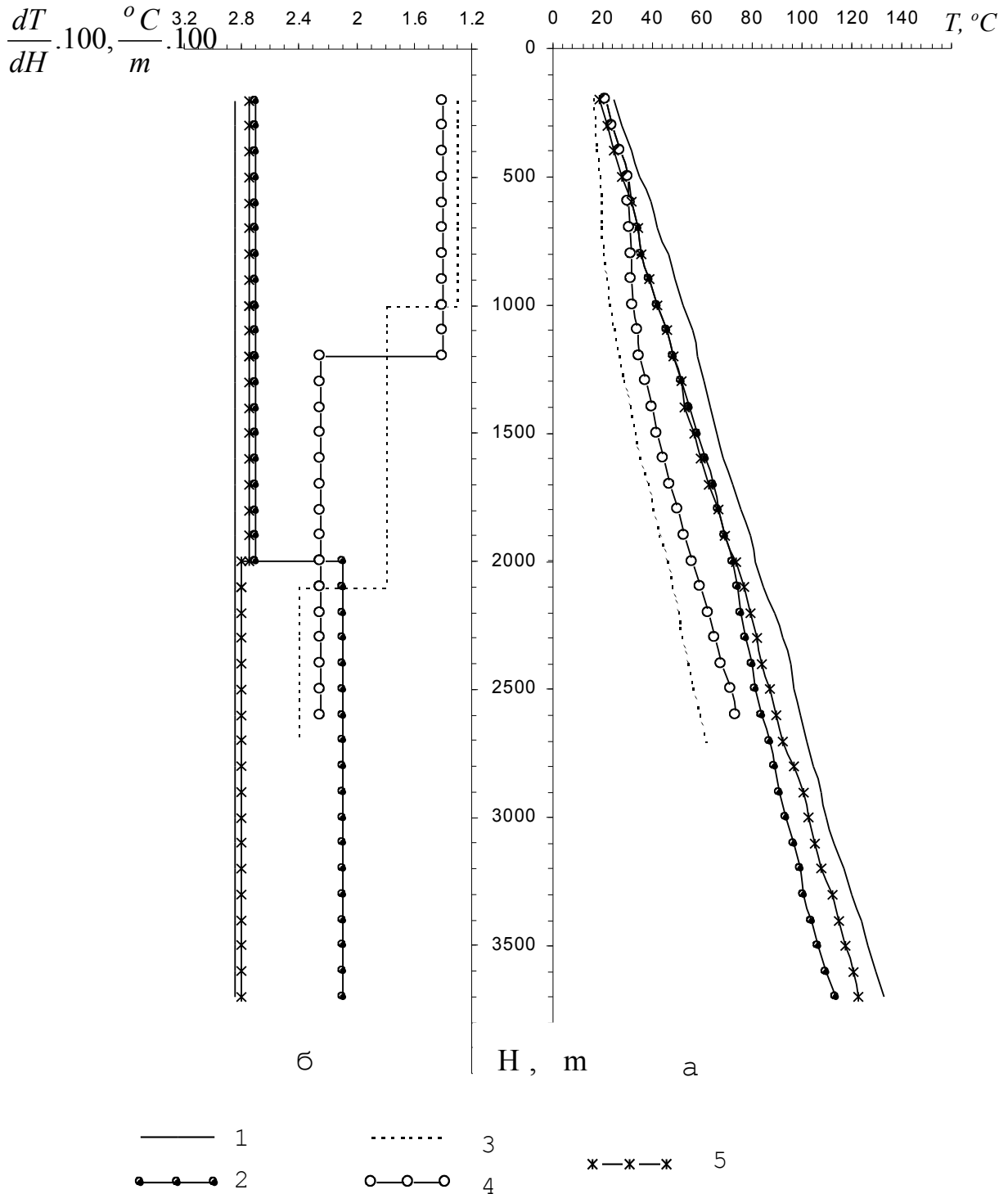
Методът на осредняването се базира върху постановката, че измерената температура T , се представят от две съставлящи – регионална T_p и локална T_l :

$$T = T_p + T_l \quad (4)$$

Измерените температури се осредняват в прозорец n^2 , което се идентифицира с осредняване в пределите на кръг с радиус R , за който съответства площ n^2 . Средната

стойност на температурата \bar{T} в центъра на кръга с площ πR^2 се определя чрез интегриране по разстоянието ρ от центъра на кръга и по азимутния ъгъл α :

$$\bar{T}(0,0,0) = \frac{I}{\pi R^2} \int_0^{2\pi} \int_0^R T(\rho, \alpha, 0) \rho \, d\rho \, d\alpha \quad (5)$$



Фиг. 2. Обобщени температурни графици – а (по Петров, П., Кл. Бояджиева, Ст. Гашаров, Т. Велинов, 1991) и геотермичен градиент – б за тектонски структури и дялове от Северна България
 1 – Мизийска плоча (Ломска депресия); 2 – Мизийска плоча (Централна част); 3 – Северобългарско издигане; 4 – Варненска падина; 5 - Предбалкан

Радиусът на осредняване R (прозорецът n^2) се избира така, че да превъзхожда локалните аномалии и да бъде

много по-малък от размерите на регионалните аномалии. При спазване на това изискване локалните аномалии се изглаждат и T се приближава към T_p . Осредняването практически не деформира регионалната съставяща, а при регионално поле, което се изменя линейно, стойността на регионалната съставяща съвпада със стойността на осредненото поле, отнесено към центъра на кръга:

$$\bar{T}(0,0,0) = T_p(0,0,0) \quad (6)$$

За количествена оценка на ефекта от усредняването се използва понятието "мярка на осредняване" ε – отношението на осреднената стойност на полето към изходната стойност:

$$\varepsilon = \frac{\bar{T}}{T} \quad (7)$$

Интерес представлява разпределението на параметъра ε .

Температурата T на разстояние ρ от точков източник, разположен в еднородно изотропно пространство с коефициент на топлопроводност λ , в цилиндрична координатна система оста z на която съвпада с нормалата към равнината, в която се определя температурата, се представя от израза:

$$T = \frac{\Phi}{4\pi \lambda} \frac{1}{\sqrt{\rho^2 + z^2}}, \quad (8)$$

където Φ е количеството топлина, отдавана от точковия източник в пространството за единица време.

В проекцията на точковия източник върху равнината на осредняване $\rho = 0$ и съответно за (8) се получава:

$$T = \frac{\Phi}{4\pi \lambda} \frac{1}{z} \quad (9)$$

Средната стойност на температурата в центъра на кръга с радиус R , който съвпада с проекцията на точковия източник върху равнината на осредняване е:

$$\begin{aligned} \bar{T} &= \frac{1}{\pi R^2} \int_0^{2\pi} \int_0^R \frac{\Phi}{4\pi \lambda} \frac{\rho \, d\rho \, d\alpha}{\sqrt{\rho^2 + z^2}} = \\ &= \frac{1}{\pi R^2} \frac{2\pi \Phi}{4\pi \lambda} \left(\sqrt{R^2 + z^2} - z \right) \end{aligned} \quad (10)$$

Мярката на осредняване ε от (7) въз основа на (9) и (10) се определя от израза:

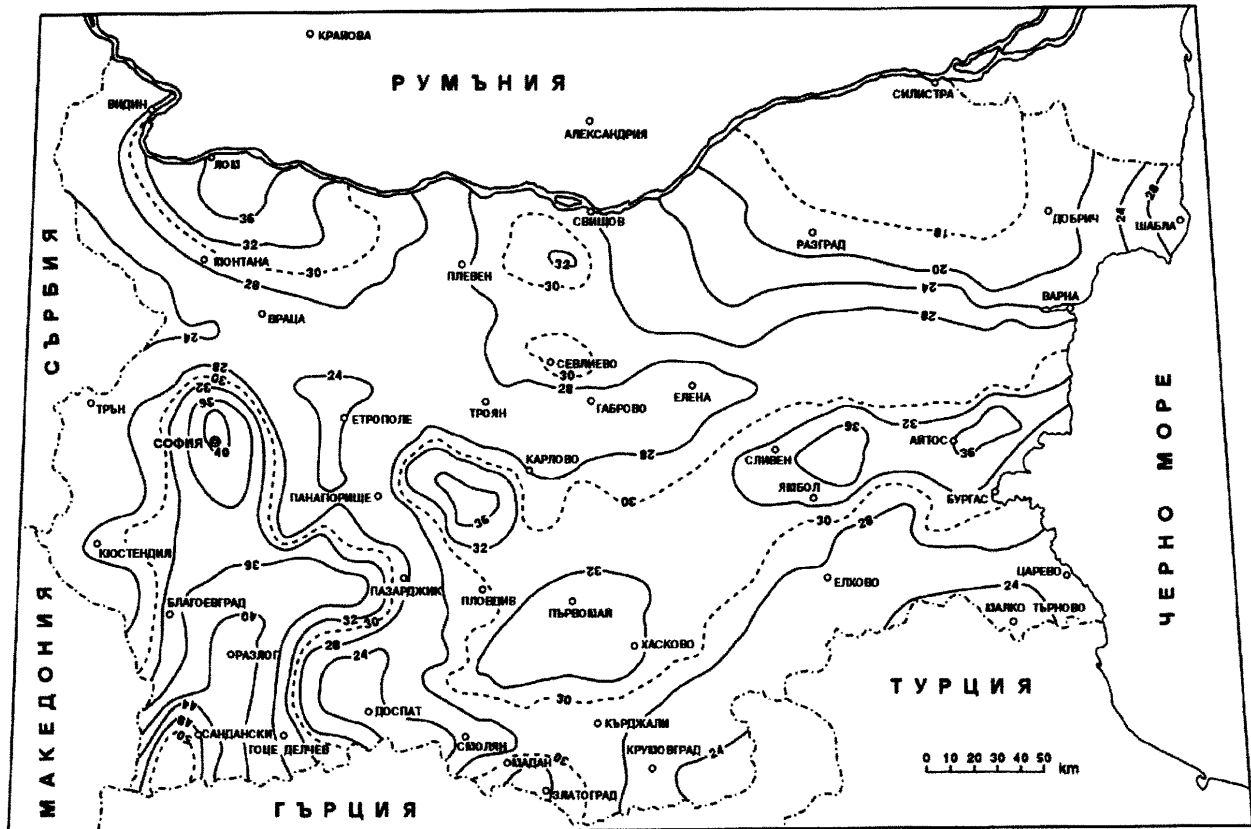
$$\varepsilon = \frac{2}{\mu^2} \left(\sqrt{\mu^2 + 1} - 1 \right) \quad (11)$$

където:

$$\mu = \frac{R}{z} \quad (12)$$

Осредняването е целесъобразно да се използва в нашите предстоящи геотермични изследвания за намаляване и отстраняване в голяма степен на локалните компоненти на топлинното поле и съхраняване изявяването на регионалната структура на полето на земната кора. Върху осреднените (регионалните) карти на температурата за конкретна дълбочина и на топлинния поток ще се отстраняват локалните влияния на хидротермалните находища и по-изразително ще се изявяват зоните на регионалните дълбочинни източници на топлинното поле, т.е. на концентрациите на дълбочинната геотермална енергия.

Картата на топлинното поле на дълбочина 500 m от земната повърхност при аритметично осредняване с прозорец 400 km² и сечение на изотермите 2°C е показана на фиг. 3. Тази карта е получена чрез интерполация, при която в разпределението на полето за приграничните територии е отстранено влиянието на краеве ефекти, свързани с екстраполация. Картата е напълно съпоставима с публикуваната в Геотермичния каталог на България (Кл. Бояджиева, Ст. Гашаров, 2001), но върху нея са изгладени локални влияния на хидротермалните находища и по-изразително се изявяват зоните на регионалните дълбочинни източници на топлинното поле, т.е. на концентрациите на дълбочинната геотермална енергия.



Фиг. 3. Карта на разпределение на температурата на дълбочина 500 m при осредняване с прозорец 400 km²

Заклучение

Направеният преглед на състоянието на геотермичните изследвания в България показва, че основното внимание в предстоящите изследвания следва да бъде насочено към изучаването, оценката и интерпретацията на пространственото разпределение, структурата и приблизителните ресурси на дълбочинната геотермална енергия. На този етап на изследванията важна стъпка представлява реализирането на райониране и определяне характеристиките на концентрации на геотоплинни огнища и техните дълбочинни проявления в земната кора.

Представената постановка за изучаване дълбочинното разпределение на топлинното поле е методична предпоставка за реализиране на конкретни изчислителни схеми при използване на наличната информация от извършените до настоящия етап изследвания.

Всяка нова информация, която допълва, разширява и задълбочава знанията за топлинното поле на земната кора и горната мантия на територията на България ще помогне пряко или косвено за стимулиране и по-бързото решаване на актуалния национален проблем за оценка на ресурсите на геотермална енергия и разработването на методики и технологии за нейното използване.

Литература

- Антонов, Хр. Д. Данчев. 1980. *Подземни води в НРБ*, София, Техника, 360 с.
 Антонов, Хр. Д. Данчев. 1981. *Хидрогеоложка карта на НР*

- България* МСА – Главно управление по геодезия, картография и кадастър, КИПП по картография.
 Бояджиева, Кл. 1978. Геотермическо поле в Северной Болгарии. - *Труды II, XXIII Международной геофиз. симпозиум*, Варна - Золотые пески.
 Бояджиева Кл., Ст. Гашаров. 2001. *Геотермичен каталог на България*. Горекс Прес, 163 с.
 Бояджиева, Кл., Т. Велинов. 1977. О связи теплового поля со структурно- геологическим строением Болгарии. – *Труды II, XXII Международной геофиз. симпозиум*, Прага.
 Велинов, Т. 1986. Геотермично поле в България. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 47, 1, 1-9.
 Велинов, Т., Кл. Бояджиева. 1981. *Геотермични изследвания в България*. - С. Техника, 154 с.
 Дачев, Хр. 1986. *Строеж на земната кора в България*. С., Техника; 334 с.
 Дачев, Хр., Т. Велинов. 1975. Элементы теплового поля Болгарии и их связь с геологическим строением. - *Докл. БАН*, 28, 12, 1673-1676.
 Мойсеенко, У., А. Смыслов. 1986. *Температура земных недр*. Л., 180 с.
 Петров, П. Ст. 1964. Основни закономерности в разпространението на минералните води в България. - *Тр. върху геол. на България, сер. инж. геол. и хидро-геол.*, кн. III, 83-158.
 Петров, П., С. Мартинов, К. Лимонадов, О. Страка. 1970. *Хидроложки проучвания на минералните води в България*. С., Техника, 196 с.
 Петров, П., Ст. Гашаров, Ил. Ращанов, Л. Пейчева, М.

- Чаталова. 1983. Теплофизичните свойства на скалите и топлинния поток в Добруджанския въглищен басейн. *Бълг. геофиз.сп.*, 9, 3, 115-119.
- Петров, П., Кл. Бояджиева, Ст. Гашаров, Т. Велинов. 1991. Топлинно поле и геотермичен режим в България. - *Сп. Бълг. геол.д-во*, 47, 1, 1-8.
- Смирнов, А. А., И. Ю. Мойсеенко, Т. З. Чадович. 1979. *Тепловой режим и радиоактивность Земли*. Л., Недра, 192 с.
- Станев, Ив., С. Веселинов. 1991. Гидрогеотермия Северо-Западной Болгарии. - *Geol. Balcanica*, 21, 5, София, 87-96.
- Череменицкий, Г. 1977. *Прикладная геотермия*, Ленинград, Недра, 224 с.
- Чермак, В. 1982. Геотермическая модель литосферы и карта мощности литосферы на территории СССР. - *Физика Земли*, № 1.
- Щерев, К., 1962, Минералните води в България. С., Наука и изкуство; 205 с.
- Щерев, К., 1972, О пространственном положении, эволюции и ресурсах термальных вод в мобильных силикатных массивах. - *Доклады БАН*, 25, 11, 1555-1558.
- Bojadgieva, K., Hr.Hristov, Vi.Hristov, Al.Benderev. 2000. Status of geothermal energy use in Bulgaria. - *Book of Abstracts, 3-rd National Geophysical Conference*, 11-13 October 2000, Sofia, 195-200.
- Kostianev, S. 1985. On some geothermal fields in drill-holes. - *Comp. Rendus de L'Acad. Bul. Sc.*, Sofia, 9.
- Kostianev, S., T. Dobrev, E. Spassov. 1988. Interrelation of geothermal field and seismicity in the crust of Bulgaria. - *Proc. XXI Gen. Assembly, Sofia*.
- Kostianev, S., T. Dobrev, E. Spassov. 1990. Comparison between the geothermal field and seismicity in the earth's crust of Bulgaria. - *Bulg. Geoph. Journ.*, vol. XVI, No.2, 61-66.
- Kostianev, S., T. Dobrev. 1987. About the geothrmic field of the Rhodope massif. - *First Bulg.-Greek Simposium*, Smolian.
- Kostianev, S., B. Manov, 1992. Mathematical modelling of heat flow at the chiren gaz-condensate field, Bulgaria. *Generation, accumulation and production of Europ's hydrocarbons*, No 2, 211-115. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Stegena, L., R.Meissner, 1986, Velocity structure and the earth's crust. - *Tectonophysics*, vol.26, No. 1.
- Tercan, A. K., M. I. Turgay, 1986, *Heat flow density distribution in Turkey, scale 1:2 500 000*.
- Velinov T., K. Boyadjieva, I. Petkov, 1979, Geothermal data of Bulgaria. - *Thermal heat flow in Europe*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York; 141-143.
- Velinov T., I. Petkov, 1976, Some results of the thermal investigations in Bulgaria. - *Geoelectric and geothermal studies (East-Central Europe and Soviet Asia)*. Adam, A. (ed.), KAPG Geophys, Budapest, Akademia Kiado; p 439-442.