



The thermal inertia of rocks in Eastern Rhodopes

Lyuben Gugov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria; E-mail: lgug@mgu.bg

Key words: remote sensing, infrared image, thermal inertia

Abstract. The thermal inertia can aid in the differentiation of the various lithologic materials in the test site. According to this, we estimate and show some

intrinsic values of the thermal inertia for rocks in Eastern Rhodopes.

Топлинна инерция на скали в Източните Родопи

Любен Гугов

Дистанционното изследване на земната повърхност в инфрачервената област на електромагнитният спектър е с доказани предимства в геоложката практика (Siegal, Gillespie, 1980). Съществуват обаче проблеми при дешифрирането на тези изображения. За случаите на геоложко картиране, трудно се предсказва с какъв тон (степен на яркост, фототон) се проявяват в изображението разкриващите се на земната повърхност скали, така че, по този признак те да бъдат разпознати и локализирани. Дешифрирането не може да стане с използването на единни индикатори, регламентиращи изгледът на отделна скална разновидност върху произволно изображение. Всяко инфрачервено изображение е уникално, защото е повлияно от множество фактори - вид и съчетание на обектите, географски и природни условия, време на извършване на наблюденията. Изход е, да се получи за конкретния район предварителна, подпомагаща дешифрирането информация, отчитаща ролята на всички или отделни ключови фактори при формиране на изображението. В тази публикация, се представя информация за топлинната инерция на скали в Източните Родопи.

Инфрачервените изображения (8–14 μm) отразяват топлинната радиация на земната повърхност, регистрирана и обработена от инфрачервените детектори и системи. Топлинният поток, формиращ тона на всеки обект върху изображението, е пропорционален на температурите на

земната повърхност, но е под влияние на две групи фактори. Първата (физически) е свързана със самите обекти: скали, почви и т.н. и включва алbedo, топлинна инерция и излъчвателна способност на материалите, които ги изграждат. Втората група фактори (експозиционни) маркират положението на обектите на земната повърхност и условията за нагряването им от слънчевата радиация — слънчева деклинация (сезонът на наблюдение), географска ширина, релеф, час на заснемането.

През деня, нагряването на скалите на земната повърхност се доминира от експозиционните фактори плюс алbedo. През нощта, когато слънчевото лъчение не действа, топлинната инерция на скалния материал има най-важна роля за стойностите за температурите на земната повърхност и съответно на топлинната радиация. Този ефект е най-силен непосредствено преди изгрев слънце и дори кратко време след това.

Известно е, че голяма по стойност топлинна инерция означава по-ниски дневни температури на земните покрития и относително по-високи нощни температури. Обратно, по-малката топлинна инерция води до по-високи температури на обектите през деня и по-ниски през нощта. Температурните контрасти между деня и нощта, при природните образувания с голяма топлинна инерция, са по-малки от тези на обектите притежаващи малка топлинна инерция. Като се

отчитат тези и други подобни закономерности, предварително известната топлинна инерция на скалите ще улесни анализът на очакваните и налични тоновете на обектите, на контрастите между тях, а оттам и разпознаването на скалите и другите природни образувания намерили отражение в инфрачервените изображения. Съществуват и количествени модели за връзката между температурите на земната повърхност и топлинната инерция през различните часове на денонощният цикъл. Посредством тези модели и определени чрез инфрачервените изображения температури на земната повърхност, също може да се извърши картиране на скали с известна топлинната инерция. Топлинната инерция е фактор за разнообразието в тона дори при дневните снимки за местата, където експозиционните условия са еднакви, а албедото на скалите близко. Така, при благоприятни условия, и върху дневни изображения, със знание за топлинната инерция, може да се правят предположения за естеството на скалните разкрития в местността, за която е получено изображението.

Топлинната инерция P е характеристика за съпротивата на скалите, покриващи земната повърхност, да променят температурата си. Тя

илюстрира способността на средата под повърхността, да провежда и запазва топлинната енергия в дълбочина през деня и да връща тази енергия през нощта. Затова топлинната инерция се третира и цени като обемно свойство, а не само повърхностно, каквото са например спектралните отразителни характеристики.

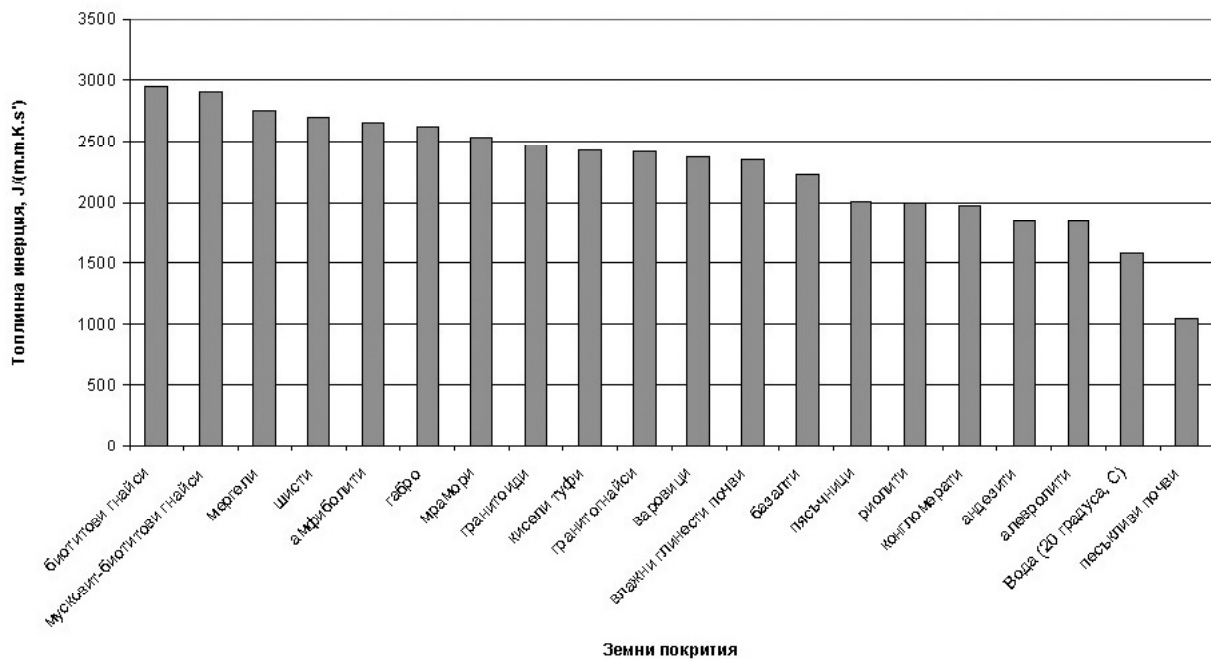
Топлинната инерция се изчислява по формулата $P = \sqrt{k\rho c}$, където k е коефициента на топлопроводност на скалния материал, c — специфичен топлинен капацитет на материала, а ρ е плътността на скалата. Така, за скалите от даден район, тя може да се изчисли предварително, ако се използват налични данни за физическите свойства на тези скали. Когато се провеждат геофизични проучвания, такива данни се натрупват във времето, независимо от целите, задачите и мащабите, които се поставят и практикуват при такива проучвания.

Източните Родопи са многократно обект на геофизична дейност и в резултат на това, са публикувани сравнително голямо количество данни за физическите свойства на скалите, отчасти и за топлинните им свойства. Известно е, че данните за топлинните свойства на скалите за територията на България са крайно недостатъч-

Таблица 1. Стойности на топлинната инерция за скали и други обекти в Източни Родопи

Литоложка разновидност	Коефициент на топлопроводност W/mK	Специфичен топлинен капацитет J/kg.K	Плътност Kg/m ³	Топлинна инерция Jm ⁻² K ⁻¹ s ^{-1/2}	Топлинна инерция Cal/(sm ⁻² K ⁻¹ s ^{-1/2})
1	2	3	4	5	6
мусковит-биотитови гнайси	3.2*	979**	2690*	2903	0.0693
гранитогнайси	2.01**	1113**	2610*	2410	0.0576
шисти	2.46**	1096**	2680*	2688	0.0642
мрамори	2.78*	857**	2690*	2532	0.0605
биотитови гнайси	3.3*	979**	2690*	2948	0.0704
амфиболити	2.22**	1134**	2800*	2655	0.0634
гранитоиди	2.4**	946**	2680*	2467	0.0589
конгломерати	1.92**	796**	2570*	1982	0.0473
пясъчници	1.66**	972**	2520*	2016	0.0482
мергели	1.92**	1634**	2420*	2755	0.0658
кисели туфи	2.34*	1056*	2380*	2425	0.0579
варовици	2.4**	887**	2640*	2371	0.0566
алевролити	1.49**	880**	2570*	1836	0.0439
риолити	2.4*	670**	2490*	2001	0.0478
базалти	1.45**	1231**	2780*	2228	0.0532
андезити	1.6*	817**	2600*	1844	0.0440
габро	2.28**	1005**	3000**	2622	0.0626
влажни глинести почви				2344**	0.042
песъкливи почви				1044**	0.024
вода (20 ⁰ C)				1580**	0.038

* — конкретна стойност за района, ** — по литературни данни



Фиг. 1. Съотношения на топлинната инерция на земни покрития в Източните Родопи

ни, непълни и затова, както обикновено се практикува, и в това изследване, за изчисляване на топлинната инерция, те се допълват с така наречените „обобщени литературни данни“.

Територията на Източните Родопи е изучена детайлно в геоложко отношение. Таблица 1 съдържа извадка от скали, принадлежащи на територията обхваната от картен лист „Кърджали“, съставна част от геоложката карта на България в мащаб 1:100 000 (Кожухаров, и др., 1995). Това са скали, които влизат в състава или изграждат главните литостратиграфски единици: надгрупи, групи, свити, задруги и интрузивни тела, и се разкриват на повърхността. В таблицата не са включени скали от района, за които не са открити данни за топлинните свойства, включително и литературни.

Представените стойности на топлинната инерция са максимално конкретизирани, доколкото позволяват наличните данни. Използвани са публично достъпни източници, съдържащи физични свойства за скалите в района, част от които са посочени в литературата (Бояджиева, Гашаров, 2001; Долапчиева, Христова, 1977). Липсата на данни за конкретния район, е запълвана с литературни такива от справочници и други издания (Физическите свойства..., 1976).

По отношение качеството на данните трябва да се има предвид, че се наблюдават значими разлики в публикуваните стойности на физичните свойства на скалите. Местните данни за топлинните свойства, понякога получени върху много малък брой образци (до няколко), също

чувствително варират. Това наложи при изчисленията, в отделни случаи, за избягване на видими несъответствия, конкретни стойности да се заменят с обобщени литературни данни. В крайна сметка, няма неприемливи разлики между получените стойности за топлинната инерция и теоретичните, така както се публикуват в различни литературни издания.

Стойности на топлинната инерция, за скалите в района на Източни Родопи, позволяват да се направят следните изводи. Метаморфните скали, по-специално от групата на гнайсите, шистите, амфиболитите и т.н., са с най-високи стойности на топлинна инерция. Това означава, че ако не се отчитат другите фактори за нагряване на земната повърхност, през деня тези скали ще бъдат с най-ниски температури, но през нощта ще са с относително по-високи. На инфрачервените изображения от деня, при еднакви теренни условия, метаморфните скали ще се явяват с потъмни тонове от другите, а при нощните снимки с по-светли. Този тип скали ще бъдат с най-малки температурни разлики между деня и нощта. Голямата топлинна инерция на гнайсити, както се вижда от таблицата, се дължи на най-високата им топлопроводност ($k=3.2-3.3 \text{ W/mK}$), докато при шистите, мергелите и амфиболитите, произтича от относително високия коефициент на специфична топлемност — от 1096 до 1634 J/kgK.

С ниска топлинна инерция се проявяват седиментни скали: пясъчници, конгломерати, алевролити и някои ефузивни: андезити, риолити. В

контекста отново само на един от факторите за нагряване — топлинната инерция това означава, че през деня тези скали ще се нагряват до най-високите температури за района. През нощта, същите скали ще се охлаждат най-бързо в сравнение с другите и в сутрешните часове ще бъдат с най-ниските температурни стойности. На инфрачервените изображения, получени за дневните часове, седиментните скали и посочените ефузивни ще генерират едни от най-ярките тонове, а в нощните изображения, местата на разкрития на тези скали ще се явяват най-тъмни. Като материали с най-ниска топлинна инерция, те ще имат и най-високи температурни контрасти между деня и нощта. Както се вижда от таблицата, тези особености се дължат на ниската топлопроводимост на седиментните скали и андезитите (1.49—1.9 W/mK) и ниската специфична топлоемност на риолитите — 670 J/kgK.

Топлинната инерция на водата е по-ниска от тази на скалите и затова на дневните снимки, стационарните водни басейни ще са с по-ниски температури (по-тъмни тонове), а на нощните с по-високи. При атмосферни условия предизвикващи повишено изпарение, водните басейни могат да се явяват и по-студени от очакваното. Повишената влажност на терените понижава топлинната инерция на скалите и намалява температурните контрасти между тях. Растителността на дневните снимки обикновено е по-хладна от почвите и скалите, а на нощните по-топла от тях.

При интерпретация, когато се тълкуват тоновите характеристики на обектите в инфрачервените изображения, трябва да се отчита албедото. Както беше отбелязано, то влияе на температурите през дневната половина на денонощието. Скалите с ниско алbedo (по-тъмните във видимата област на електромагнитния спектър) имат по-високи температури през деня, при еднакви други условия, включително и топлинна инерция. Съответно скалите с високо алbedo, отразяващи по-силно слънчевата радиация, по-

гльшат по-малко топлинна енергия и са с по-ниски температури. Съчетанието алbedo — топлинна инерция може да усилва или намали температурите, с които се очаква да се явят определен тип скали, а от там да промени тона и тоновия контраст на скалите, използвани като белег за дешифрирането им, дори и при нощните изображения.

Албедото, включително за едни и същи скали, може да варира в широки граници и трябва да се изследва конкретно за изучавания район. Примерно, албедото на риолитите за едни територии е 0.69, а за други 0.95, при гранитите варира от 0.68 до 0.91, при андезитите от 0.42—0.56 и т.н. Засега нямаме данни за албедото на скалите в Източни Родопи, така че не правим анализ за влиянието му върху яркостта на скалите в инфрачервените изображения.

Излъчвателната способност на скалите се мени в границите на 0.80—0.95 и е по-ниска от тази на почвите, имащи характеристиките на абсолютно черно тяло. Това свойство, макар че не се отразява съществено на тона и контрастите в инфрачервените изображения, е полезно да се контролира при интерпретацията, особено при скали с близки теренни температури.

Експозицията е от голямо значение за разликата в температурите на обектите. Поради това, интерпретацията на инфрачервените изображения с цел литоложко разчленяване на терена, на базата на топлинната инерция, трябва да се извършва за участъци с подобен релеф и близки експозиционни характеристики на скалните разкрития.

Предварителното определяне на топлинната инерция на скалите в даден район, когато има данни за физичните свойства, не изисква особени ресурси, време и средства. Ефектът от използването на тази информация при дешифрирането на инфрачервените изображения обаче, може да е значителен, именно поради отчитането на местната специфика във физическите характеристики на обектите.

Литература

- Бояджиева, К., С. Гашаров. 2001. *Геотермален каталог на България*. Изд. къща „ГорексПрес“, 117—120.
- Долапчиева, М., Д. Христова. 1977. Основни закономерности на изменение на физичните свойства на скалите в източните Родопи. — *Сп. Бълг. геол. д-во*, 38, 2, 271—283.
- Кожухаров, Д. и др. 1995. *Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100 000. Картен лист Кърджали*. Изд. ЕТ „АВЕРК“, София. *Физическите свойства горних пород и полезных ископаемых. Справочник геофизика*. 1976. Москва, Недра, 264—272.
- Siegal, B., A. Gillespie. 1980. *Remote Sensing In Geology*. New York, John Wiley&Sons, 267—271.