

Теоретична оценка на възможностите на дистанционната инфрачервена снимка за решаване на геолого- хидрогеоложки задачи

В. С. Стоянова, Н. К. Кацков*

Комитет по геология

* Научно-изследователски институт по полезни изкопаеми

В общия комплекс на дистанционните изследвания все по-голямо значение придобиват методите, в основата на които лежи използването на невидимата област от спектъра на електромагнитното излъчване на природните обекти. Към тях се отнасят инфрачервената (ИЧ) и радиолокационната снимка и пасивната свръхвисокочестотна радиометрия.

Въпреки немного богатия практически опит от използването на тези методи за геоложки цели може с увереност да се твърди, че посредством тях изследователите на природните ресурси получават качествено нова информация, която съществено допълва тази от фотоснимките, а в някои случаи дори я заменя.

Интензивността на излъчването на природните образувания, било то в инфрачервената или в радиовълновата област, е в строга зависимост от физико-химичните свойства, химичния състав и състоянието на повърхността на тези образувания.

В статията се обосновават перспективността и възможностите за използване на топлинната ИЧ-снимка при решаване на геоложки задачи. Като обект за такава обосновка е избран Влахинският блок [2].

Теоретичната разработка на този въпрос е причинно обусловена от развитието на дистанционните методи и се явява като предхождащ етап на всяка практическа реализация.

Теоретични основи и технически средства на ИЧ-снимка

ИЧ-снимка регистрира електромагнитното излъчване от природни обекти, чиято температура се отличава от температурата на абсолютно черно тяло (0 К).

Интегралната мощност на емисията, която се излъчва от единица повърхност на тялото, се определя по закона на Стефан—Болцман

$$(1) \quad R = \int_0^{\infty} r_{\lambda, T} d\lambda = \varepsilon \sigma T^4,$$

където $r_{\lambda, T}$ е спектралната плътност на емисията, $W/m^2 \cdot \mu m$; λ — дължината на вълната, μm ; T — абсолютната температура, K ; ε — интегралният коефициент на излъчване; σ — константата на Стефан—Болцман ($5,67 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$).

Дължината на вълната λ_{max} , на която съответства максимална интензивност на излъчване, се определя по закона на Вин

$$(2) \quad \lambda_{max} = \frac{C_{\lambda}}{T},$$

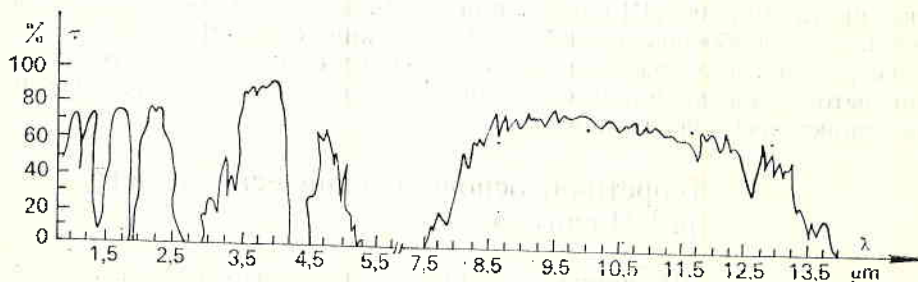
където $C_{\lambda} = 2898 \mu m \cdot K$.

От закона следва, че при средна температура на земната повърхност около $300 K$ максималната стойност на топлинното излъчване от природните образувания е в интервала $8-10 \mu m$.

Земната атмосфера, която най-често изпълнява роля на разделяща среда (ако самата тя не е обект за изследване), при дистанционните методи взаимодейства с излъчването на природните обекти, като изменя спектралната, ъгловата и пространствената му структура. За електромагнитните вълни от ИЧ-област влиянието на атмосферата има спектрално-селективен характер, който се проявява в наличието на т. нар. прозорци на пропускане, в които отслабването на излъчването е незначително (фиг. 1).

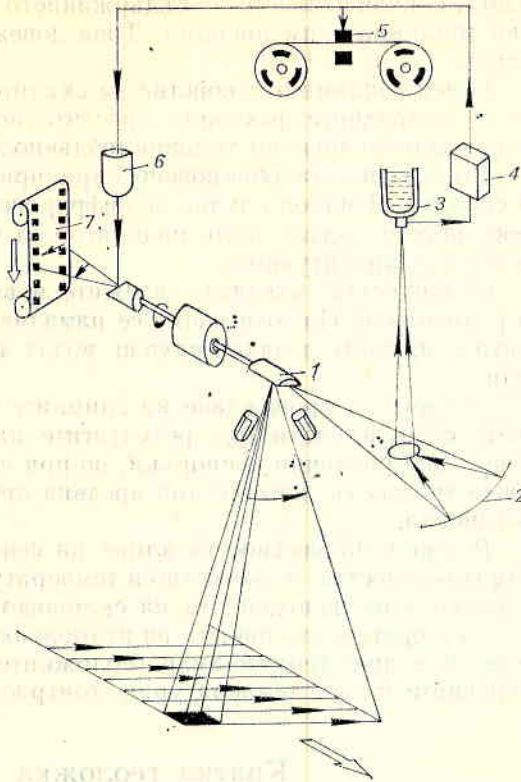
При осъществяване на ИЧ-снимка са установени два работни диапазона: $3-5$ и $8-14 \mu m$. Изборът им е свързан с наличието на прозорци на пропускане и с факта, че максимумът на топлинното излъчване от природните образувания се намира в посочените интервали. При топлинната снимка за повечето природни обекти по-информативен е диапазонът $8-14 \mu m$ (следствие от закона на Вин). За обекти с повишена термална дейност по-национално е да се използва диапазонът $3-5 \mu m$.

В техническо отношение ИЧ-снимка се осъществява с помощта на тепловизори, установени на борда на самолета или на космическия кораб. Тепловизорите се състоят от следните основни възли: сканиращо устройство, усилвателно-преобразуващ тракт, регистриращо устройство и спомогателни системи — охладителни, синхронизиращи, захранващи и др.



Фиг. 1. Зависимост на пропускателната способност на атмосферата τ от дължината на вълната λ [9]

(фиг. 2). Постъпващата от терена радиация се отразява от сканиращо огледало 1 в две системи пречупващи огледала и от тях попада в параболично фокусиращо огледало 2. Транзисторните детектори 3 са монтирани във фокалната точка на параболичното огледало и представляват индиево-антимонов или живачно-кадмиево-телурови смеси. За да се получи добра разрешаваща способност, е необходимо те да се охлаждат до работна температура (77 К) с течен азот. Сигналят преминава през усилватели 4, записва се на магнитна лента 5 и се подава към източник на светлина 6. Този вид изход се модулира от сигнала и в резултат на това се получава видеосигнал, който се записва на фотофилм 7. Магнитното записване на изображението има редица предимства пред непосредствената фоторегистрация: удобство при обработване, съхраняване и предаване на информацията, а също така при разширяване на динамичния диапазон на системата, т. е. отношението на



Фиг. 2. Схема на линейно-сканираща система

максималната към минималната стойност на регистрирания сигнал. Чувствителността на съвременните топовизори е такава, че с тях могат да се зафиксират и разделят от фона геотоплинни аномалии от порядъка на 10 W/m^2 [7]. Теоретично обусловено е, че скали, имащи еднаква възраст и близък литоложки състав, при сходни обстоятелства се характеризират с еднакви топлинни характеристики: топлопроводимост K , топлинен капацитет C , топлинна инерция P , плътност ρ , влажност B и др.

Като се отчита това условие и способността на всяко тяло да пренася и задържа топлина, то чрез ИЧ-изображение се регистрират температурните контрасти на различните обекти от земната повърхност.

Топлинната инерция на скалите и почвите е важен фактор, влияещ върху изображението, и най-точно отразява температурните различия на подстилащата повърхност. Тя е непосредствено свързана с плътността на скалите и тази зависимост се изразява със следната формула:

$$(3) \quad P = \sqrt{\rho K C},$$

където ρ е плътността на обекта, kg/m^3 ; K — коефициентът на проводимост, W/m.K ; C — топлинният капацитет, J/kg.K .

Чрез тази формула маже да се изчисли топлинната инерция на всички скали.

Установено е, че най-разпространен обект с голяма топлинна инерция е водата. С повишаването на съдържанието ѝ в скалите и в почвите се увеличава топлинната им инерция. Това довежда до по-контрастно ИЧ-изображение.

Освеи топлинните свойства на скалите върху ИЧ-снимка оказват влияние и природните фактори — растителност, сезон, време в денонощието, релеф, метеорологични условия (облачност, мъгла, наличие на вятър) и др.

Растителността обикновено скранира собственото топлинно излъчване на скалите. В някои случаи дешифрирането на определен тип растителност може да се използва като индикатор за установяване на конкретни геолого-географски ситуации.

Облачността, мъглата, валежите и вятърът намаляват интензивността на радиацията. По този начин се намаляват стойностите на температурните контрасти, които в някои случаи водят до формирането на „лъжливи“ аномалии.

Времето за провеждане на снимките в зависимост от сезона и денонощието също влияе върху резултатите на ИЧ-снимка. В литературата се срещат най-различни препоръки, но при използването им трябва да се подхожда творчески, като се има предвид преди всичко конкретната геоложка обстановка.

Релефът на местността влияе на формирането на изображенията, тъй като осветеността, а съответно и температурата на природните обекти силно се изменят от изложението на склоновете.

За теоретичната оценка на възможностите на ИЧ-снимка е необходимо да се типизират геолого-хидрогеоложките обекти по генезис и характер на свързаните с тях температурни контрасти.

Кратка геоложка характеристика

Геоложки строеж. В строежа на Влахинския блок [2, 3] участват следните скални комплекси: докамбрийски метаморфен комплекс, изграден от разнообразни гнайси, мигматити и амфиболити; старопалеозойски комплекс, включващ Влахинско-Осоговски комплекс (амфиболити, двуслюдени гнайси, шисти, мрамори); диабаз-филитоиден комплекс (метаморфизирани диабази, шисти, филити и мраморни лещи); Струмска диоритова формация (габро, габродиорити, диорити, гранодиорити); Осоговски едропорфирен гранит; девонски аргилити, пясъчници, конгломерати и варовици; триаски конгломерати, пясъчници, алевролити, мергели, доломити; палеогенски пясъчници, туфи, туфобрекчи, варовици и магматични скали (гранодиоритови порфирити и гранитпорфири); неогенски глинести пясъчници, конгломерати и маломощни кватернерни елувиални и алувиално-пролувиални образувания.

Влахинският блок е заключен между Кюстендилския (70°) и Брежанския (165°) разлом. От Полетинския разломен спол той се разделя на два блока — западен Осоговски и източен Влахински. Основните гънкови структури са Осоговската и Лисийската антиклинала с посока на осите 145—160°. Преобладаваща част от разломните структури следва посоките на оградните разломи. Разседи с посока 170° ограничават два големи грабена — Пианечки и Падежки.

Полезни изкопавми. Районът е един от най-перспективните за полиметални и медни орудявания.

Към полиметалния тип орудявания се отнасят находищата Лебница

и Руен и рудопроявленията Мали Руен, Осогово, Гюешево. Главните рудни минерали са галенит, сфалерит, церусит, малахит, лимонит, хематит и тепаит. Орудяването се съпровожда с хидротермални промени на вместващите скали — окварцязване, серицитизация, каолинитизация, пиритизация и др.

Регистрирани са и голям брой медни, медно-пиритни и медно-никелови рудопроявления (Лумбева махала, Бобошево, Кутугерци, Търсино, Малките лисичи дупки, Вучковци, Пастух и др.). Минерализацията е представена от халкопирит, борнит, малахит, азурит, халкозин и пирит.

Вместващите скали са биотитови и двуслюдени гнайси, триаски варовици и доломитизирани пясъчници и материали на Струмската диоритова формация.

Хидрогеоложка характеристика. Водите в района са подразделени на подземни, повърхностно течащи и термални [6].

Подземните води в зависимост от условията на залягане се делят на диаклазни, алувиални и карстови. Най-широко разпространени са диаклазните води, които са привързани към разломни нарушения. Наличието им благоприятства за образуване на извори с дебит от 0,1 до 2,2 dm³/s и с минерализация от 0,5 до 0,12 g/dm³ (в околностите на с. Раненци, Саждепик, Цървена ябълка). Алувиалните води са се формирали в резултат на инфилтрацията на атмосферните води. Те обикновено са слабо минерализирани и са в пряка зависимост от климатичните условия. Карстовите води в района имат локално проявление. Съществуват карстови извори, привързани към докамбрийските метаморфити (с. Пелатиково) и триаските доломити (с. Страдалово), с дебит 10 dm³/s и минерализация 0,53 g/dm³.

Повърхностно течащите води са от басейна на р. Струма и се отличават с малък дебит и непостоянен режим.

Най-голям интерес безусловно представлява наличието на множество термални източници, привързани към разломните нарушения. Те са високотемпературни (до 75° C), с дебит до 35 dm³/s и са обикновено слабо минерализирани.

Топлинна типизация на геолого-хидрогеоложките обекти в района

В зависимост от вида на източника, предизвикващ топлинните аномалии, геолого-хидрогеоложките обекти в района условно са разделени на две групи. В първа група са включени обекти, чиито термални проявления са свързани с вътрешни източници на топлина — действащи термални извори и зони на окисляване на сулфидните руди. Към втората група са отнесени обекти, нагряващи се само за сметка на слънчевото излъчване — различните типови скали, недълбоко залягащи подземни води, повърхностни водни басейни и др.

Обектите от първа група се характеризират с висока и сравнително постоянна във времето температура, различаваща се рязко от фоновата. Така например, ако температурата на фона е 300 K, а температурата на термалния източник е 350 K*, то енергетичният контраст между тях ще бъде 273 W/m³ при коефициент на излъчване $\varepsilon=0,7$.

* Има се предвид термалният източник с най-висока температура в района.

Като се използват уравненията на топлопроводимостта за стационарен случай [4], е изчислена температурната разлика ΔT , която възниква в резултат на екзотермичните процеси на окисляване на сулфидните руди с вместищите скали. Ако температурната разлика е 8 K, то аномалният топлинен поток възлиза на $34,3 \text{ W/m}^2$.

Обектите от втора група се характеризират със силно изменяща се във времето температура, близка по стойност на фоновата. Абсолютната стойност на температурния контраст е сравнително малка и силно зависи от множество фактори — време в депозицията, растителност, релеф, метеорологични условия и др. Най-голямо значение при формирането на топлинните контрасти за обектите от тази група имат параметрите алbedo и топлинна инерция. Албедото [1,7] за повечето природни обекти е в границите 10—40% и влиянието му в диапазона 8—14 μm е незначително.

Таблица 1

Топлинна инерция на скалите, рудните минерали и водата при температура 20°C

Изследван обект	Плътност, ρ kg/m^3	Коефициент на топлопроводимост K_1 W/m. K	Топлинен капацитет C , J/kg. K	Топлинна инерция P , $\text{J/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}$
Диорит	2810	2,20	1134	2650
Гранодиорит	2630	2,11	1057	2420
Кварцдиорит	2780	3,00	1214	3180
Гранит	2580	2,40	946	2420
Гнайс-гранит	2610	2,00	1113	2410
Мигматит	2650	3,26	1021	2970
Биотитов гнайс	2630	2,94	991	2768
Двуслоден гнайс	2600	2,02	978	2290
Амфиболит	2950	2,22	1134	2720
Мрамор	2700	2,56	857	2430
Кварцит	2750	5,26	991	3790
Доломит	2600	3,24	1088	3030
Баровик	2720	2,40	887	2400
Габро	2950	2,28	1005	2600
Диабаз	2790	2,50	860	2450
Туфи	1800	2,36	1056	2120
Шисти	2300	2,46	1096	2490
Аргилит	2680	1,22	866	1680
Пясъчник	2690	1,66	972	2080
Конгломерат	2100	1,92	796	1790
Алевролит	2690	1,49	880	1880
Мергел	2700	1,92	1634	2910
Глина	2000	1,49	1240	1920
Пирит	5000	30,8	930,4	11970
Магнетит	5170	5,30	586,1	3950
Халкопирит	4200	4,08	534,3	4007
Лимонит	3700	4,21	921,1	3790
Малахит	4000	18,2	430,5	5590
Сфалерит	3950	26,7	510,2	7310
Вода, спокойна	1000	0,48	6100	134000
Спокоен поток*	—	—	—	330000
Бързо течащ поток*	—	—	—	710000
Окваряване*	2650	—	—	—
Серицитизация*	2550	—	—	—
Каолинитизация*	2620	—	—	—

* Физичните свойства на този тип обекти не са изучени.

В табл. 1 са представени изчислени от авторите стойности на топлинната инерция за скалите, рудните минерали и водата, участващи в геоложкия строеж на района. От получените резултати следва, че реалният интервал на изменението им е от 1500 до 4000 $J/m^2 \cdot s^{1/2} \cdot K$, като за водата и рудните минерали топлинната инерция е с порядък и повече по-голяма. Съществува методика [5, 10], с помощта на която теоретично могат да бъдат определени депоициите вариации на температурата на земните обекти с различна топлинна инерция конкретно за дадения район и респективно да се изчисли очакваният аномален топлинен поток. От приведените данни следва, че скалите и хидрогеоложките обекти в района се диференцират по стойността на създавания от тях аномален топлинен поток.

Изводи

Физичните основи на метода, техническото му реализиране и конкретната геолого-хидрогеоложка обстановка благоприятстват използването на ИЧ-снимка за решаване на някои геоложки задачи:

1. Изучаване на термалната дейност в района.
2. Търсене и картиране на термални води.
3. Картиране на изходи на подземни води.
4. Установяване на разломни нарушения, които се характеризират с повишена влажност.
5. Фиксиране на участъци с интензивно окисляване на недълбоко залегащи сулфидни руди и други екзотермични процеси.
6. Геоложко картиране на скалните типове на базата на различието им в термалната инерция.

Теоретичната обосновка ще спомогне за практическото осъществяване на експерименталните работи на топлинната ИЧ-снимка у нас.

Л и т е р а т у р а

1. Антыпко, А., А. Садов. Применение тепловой инфракрасной съемки в гидрогеологии и инженерной геологии. М., ВИЭМС, 1979, с. 49.
2. Бончев, Е. Проблеми на българската геотектоника. С., Техника, 1971, с. 204.
3. Йовчев, Й. Тектонски строеж на България. С., Техника, 1971, с. 558.
4. Лыков, А. Теория теплопроводности. М., Высшая школа, 1967.
5. Лялько, В., М. Митник. Исследование процесса переноса тепла и вещества в земной коре. Киев, Наукова думка, 1978.
6. Спириев, Б. Термоминерални води в Южна България. — Сп. Бълг. геол. д-во, 22, 1960, № 2.
7. Шилин, Б. Тепловая аэросъемка при изучении природных ресурсов. Л., Гидрометеониздат, 1980, с. 247.
8. Шилин, Б., Е. Наварко и др. Геологические предпосылки инфракрасной аэросъемки. — В: Применение новых видов аэросъемки при геологических исследованиях. Л., Недра, 1976, 91—101.
9. Sabins, F. Remote sensing principles and interpretation. San Francisco, W. H. Freeman and Co, 1978, p. 425.
10. Warwick, D., P. Hartopp, R. Viljoen. Application of thermal infrared linescanning technique to engineering geological mapping in South Africa. — Q. J. Engng. Geol., 12, 1979, 159-179.

Theoretical assessment of remote sensing infrared images as means for geological and hydrological problems solution

V. S. Stojanova, N. K. Katskov

(S u m m a r y)

On the basis of a concrete geological and hydrological situation thermal typization of the natural objects and evaluation of the expectant temperature contrasts are conducted.

The existing conditions are favourable for the use of infrared image for the solution of some geological and hydrological problems: prospecting, mapping and study of thermal and underground waters in the region; finding of breaks; differentiation of rock varieties; fixing of sections of intensive oxidations of the superficially situated sulphide ores.