

# Дистанционное геотермическое картографирование

...Мы любим все - и жар холодных чисел,  
И дар божественных видений...  
Александр Блок

Рассмотрены физические основы картографирования по данным космической съемки теплового диапазона (ETM+, ASTER, MODIS), выполнен обзор методов расчета количественных показателей, приведены полезные Интернет-ресурсы, а также примеры использования результирующих данных при решении различных задач.

[Обсудить в форуме](#) Комментариев — 3

## Физические основы

Тепловое поле поверхности суши определяется внутренними и внешними источниками тепла, тепловыми свойствами горных пород. Факторами формирования региональных и локальных аномалий температур поверхности суши могут быть:

- а) эндогенное тепло Земли;
- б) региональные и локальные условия инсоляции;
- в) проявления современного вулканизма и тектонических движений;
- г) многолетнемерзлые породы (ММП), т.е. мощные (до сотен метров) толщи пород с отрицательными температурами;
- д) циркуляция подземных, в том числе термальных вод;
- е) наличие пород и руд с повышенной радиоактивностью;
- ж) химические и биохимические процессы (экзотермические и эндотермические), происходящие в нефтегазоносных горизонтах, залежах угля, сульфидных и других рудах, почвах, а также антропогенных отложениях;

В соответствии с вышеперечисленными факторами, неоднородность распределения теплового поля может являться индикатором объектов, процессов и явлений имеющих на исследуемой территории.

Одним из дистанционных методов геотермического картографирования является аэрокосмическая съемка в инфракрасной (ИК) области спектра. Как правило съемка производится в средней (SWIR) и дальней (TIR) частях ИК области спектра (1.5 - 3.0 и более 3.0 мкм, соответственно). В указанных спектральных диапазонах распространяется собственное тепловое излучение объектов земной поверхности. Интенсивность излучения в основном обусловлена тепловым состоянием излучающей поверхности, поэтому съемку, выполняемую в средней (SWIR) и дальней (TIR) частях ИК области спектра, называют "тепловой инфракрасной". Аналогичное название принято в зарубежной литературе - "thermal infrared survey".

## Обзор имеющихся космических средств ДЗЗ в ИК области спектра

Аэрокосмический дистанционный анализ земной поверхности в средней и дальней частях ИК области разрабатывался с середины 60-х годов исключительно в целях военного применения. Съемки в TIR диапазонах проводились в целях гидрогеологического изучения территории. Длины волн больше 15 микрон полностью поглощаются атмосферой и для изучения земной поверхности космическими дистанционными методами малоинформативны. Впоследствии такие съемки стали проводиться авиационными СВЧ - радиометрами.

Регулярные и широкодоступные данные по изучению тепловых свойств земной поверхности стали поступать в конце 70-х годов с метеорологических спутников NOAA (радиометр AVHRR), после запуска спутников Landsat-5 (запущен в 1984 г.) и Landsat-7 (запущен в 1999 г.) в 6 канале радиометров TM и ETM (соответственно), а также спутников TERRA, запущенного в 1999 г. (радиометры MODIS и ASTER) и AQUA (радиометр MODIS), запущенного в 2002 г. Эти данные ДЗЗ в настоящее время наиболее доступны для российских исследователей и могут быть получены из Интернет или на приемную станцию непосредственно с КА (NOAA, TERRA, AQUA). Возможности съемки вышеуказанными радиометрами в NIR, SWIR и TIR частях ИК области спектра приведены в таблице.

Камера/Характеристика	AVHRR	MODIS	TM/ ETM	ASTER
Обзорность, километров	3000	2330	184	60
Радиометрическое разрешение, бит	10	12	8	NIR - 8 SWIR - 8 TIR - 12
Пространственное разрешение, метров	1100	NIR - 250-1000 SWIR - 500 TIR - 1000	NIR, SWIR - 30 TIR - 60	NIR - 15 SWIR - 30 TIR - 90
Количество спектральных каналов в ИК диапазоне	NIR - 1 SWIR - 1 TIR - 2	NIR - 6 SWIR - 3 TIR - 16	NIR - 1 SWIR - 2 TIR - 1	NIR - 1 SWIR - 6 TIR - 5
Источники данных	<a href="#">Авиалесоохрана</a>	<a href="#">Авиалесоохрана</a> <a href="#">ИТЦ "СканЭкс"</a> <a href="#">ВостСибНИИГиМС</a> <a href="#">GLCF-UMD</a> <a href="#">GSFC</a>	<a href="#">GLCF-UMD</a>	<a href="#">GLCF-UMD</a> <a href="#">NASA</a>

### Точность измерений

Основным условием достоверности результатов при дистанционном определении температуры поверхности по данным ДЗЗ из космоса и достижения максимально возможной точности измерений, является учет воздействующих на измерение факторов:

- температура окружающего воздуха (ambient atmospheric temperature);
- влажность атмосферного воздуха (atmospheric humidity);
- скорость ветра (wind velocity);
- облачность (cloud cover);
- прозрачность атмосферы (atmospheric clarity);
- отражающие и излучающие свойства земной поверхности (reflectance and emissivity of the earth's surface);
- растительный покров (vegetative cover);
- высота поверхности над уровнем моря (surface elevation above sea level);
- рельеф поверхности (local topography);
- особенности поверхности (surface features);
- тип почвы и степень её увлажнённости (soil moisture and soil type).

Например, существующая технология расчета LST и SST по данным MODIS с учетом данных факторов иллюстрируется в [следующем документе](#).

Максимальная точность измерения температуры:

- **MODIS** - 0.3-0.5°C (вода) и 1°C (суша) [1](#)
- **ASTER** - 0.02°C

### Производные геотермические характеристики

Температура поверхности, рассчитанная по данным одномоментной съемки характеризует пространственную

дифференциацию теплового поля и является достаточно информативной при решении широкого спектра задач.

Для практического использования очень информативными также являются мультивременные геотермические показатели, т.е. математические производные данных разновременных измерений температуры поверхности. Например, такие показатели как температурный контраст (суточная амплитуда температур) и скорость изменения температуры (кажущаяся тепловая инерция).

**Суточный (временной) температурный контраст** характеризует амплитуду суточных вариаций теплового поля поверхности и позволяет выявлять неоднородности, связанные с особенностями тепловых свойств исследуемых объектов. Факторы, влияющие на температурный контраст объектов, проиллюстрированы на нижеприведенном рисунке, на котором отображены радиационно-температурные характеристики (сверху вниз) горных пород и почв, растительности, спокойной воды, бугристой поверхности в их суточном ритме.



Радиационно-температурные характеристики горных пород, почв, растительности, спокойной воды в их суточном ритме.

При выполнении исследований и построении геотермических карт суточный температурный контраст (в %) может быть определен отношением разностей дневных и ночных температур к ночной температуре.

**Тепловая инерция** характеризуется скоростью изменения температуры земной поверхности и может вычисляться по отношению разности значений рассчитанной температуры земной поверхности ко времени, прошедшему между измерениями. При этом рекомендуется использовать данные съемок, сделанных в ночное время (в течение одной ночи).

#### Примеры использования

##### Примеры ГНПП "Аэрогеофизика"

Тепловая инфракрасная аэросъемка при решении задач контроля состояния торфяников, лесных массивов и полигонов по захоронению бытовых и промышленных отходов [>>>](#)

Тепловая инфракрасная аэросъемка при решении задач городского коммунального хозяйства [>>>](#)

Контроль состояния полей фильтрации и аэрации [>>>](#)

Тепловая инфракрасная аэросъемка при контроле состояния водных объектов [>>>](#)

Тепловая инфракрасная аэросъемка при решении задач контроля состояния дорожных покрытий [>>>](#)

Тепловая инфракрасная аэросъемка при решении задач экологического мониторинга и дистанционного контроля состояния нефте- и газопроводов [>>>](#)

##### Примеры ООО "Центр экологического и техногенного мониторинга" ("ЦЭТМ") [>>>](#)

##### Примеры Горного В.И. (Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург)

На юбилейной научно-практической конференции, посвященной 40-летию первого полета человека в космос Санкт-Петербург, 11 апреля 2001 г.

Определение тепловых потерь населенных пунктов [>>>](#)

Картирование карстовых явлений [>>>](#)

Картирование радоноопасных территорий [>>>](#)

Влияние геотермических условий на биопродуктивность земель [>>>](#)

### Семинар "Спутниковые методы и системы исследования Земли" (ИКИ РАН)

"Космические измерительные методы ИК теплового диапазона при мониторинге потенциально опасных явлений и объектов" - PPT (3Mb) [>>>](#)

### Примеры Иркутской станции МПР России, ВостСибНИИГГиМС

**Оперативный спутниковый мониторинг состояния снежного покрова речных бассейнов для оценки риска и прогноза половодных наводнений по данным радиометра MODIS** (по заказу ГУПР и ООС по Иркутской области)

Методика оценки риска и прогнозирования половодных наводнений заключается в сопоставлении данных спутникового мониторинга динамики фронта областей интенсивного снеготаяния с картой районирования территории по факторам максимального стока.

Использование данных MODIS для оперативной оценки состояния снежного покрова предполагает последовательное решение следующих задач:

- исключение из анализа облачных участков изображений;
- расчет значений NDSI и NDVI и определение территорий с наличием снежного покрова;
- расчет температуры снежного покрова;
- топографический анализ DEM для определения экспозиции склонов;
- выделение областей одновременного снеготаяния, характеризующихся положительными температурами, а также соответствующими значениями NDSI;
- определение внутри выделенных областей участков интенсивного таяния снежного покрова, как правило, приуроченных к склонам южной экспозиции, и для которых зафиксированы максимальные значения температуры поверхности.

Ежедневные информационные продукты мониторинга:

- "Snow mask" - распределение снежного покрова с выделением областей одновременного снеготаяния;

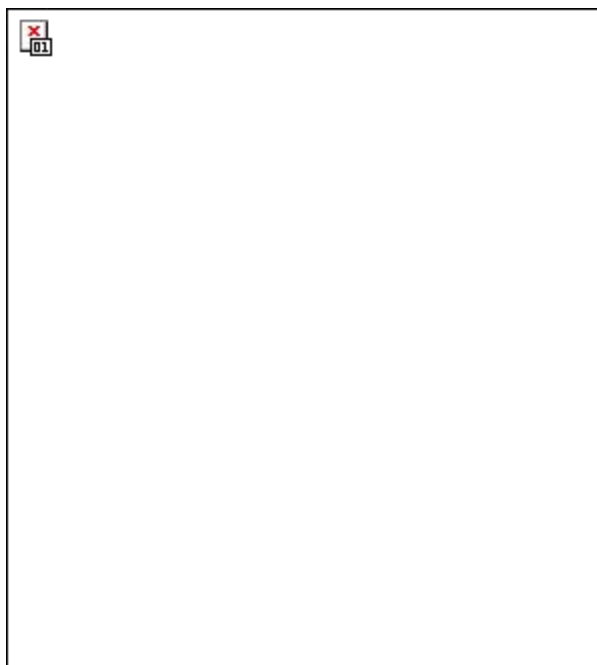
- "Temp mask" - распределение температур поверхности;

[Бассейн р. Лена \(Иркутская обл.\) - апрель 2004](#)

[Бассейн р. Ниж. Тунгуска \(Иркутская обл.\) - апрель 2004](#)

### Космический мониторинг Байкальской природной территории (БПТ)

Информационные ресурсы космического мониторинга БПТ могут использоваться при исследованиях природных условий и решении других научных и прикладных задач.



Пример классифицированного изображения температуры поверхности суши с легендой.

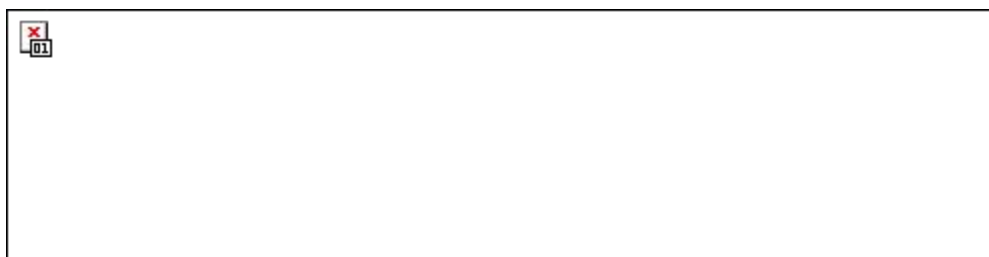
### **Мониторинг температуры воды озера Байкал**



(щелкните по изображению для увеличения)

### **Космический мониторинг тепловых аномалий (природные пожары)**

Пример мониторинга пожара в Амурской области (граница с КНР) в октябре 2004 г. (красные контура - площади на которых выявлены тепловые аномалии связанные с пожаром)

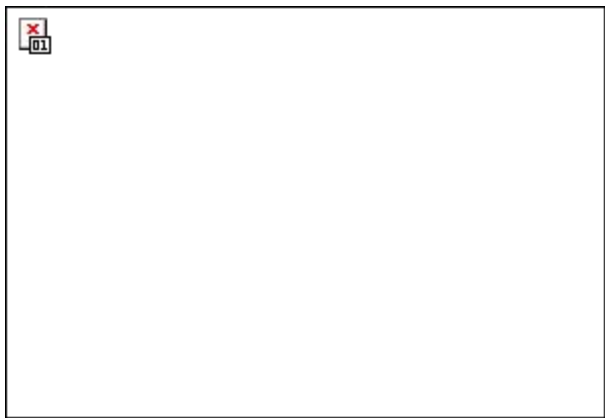


**Примеры использования мелкомасштабного геотермического картографирования при выполнении работ по тектоническому и нефтегазоперспективному районированию территорий** с выделением перспективных структур и участков на примере Байкитской нефтегазоносной области (исследования выполнены специалистами ВостСибНИИГГиМС и Института геохимии СО РАН (Иркутск)).

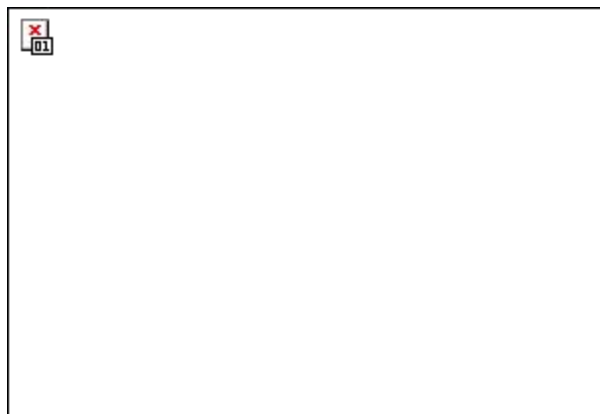
Данные тепловых космических съемок низкого и среднего пространственного разрешения вряд ли могут зафиксировать геотермические аномалии низкой амплитуды, напрямую связанные с залежью углеводородов. Но анализ подготовленных дистанционных геотермических карт позволяет выявлять кинематические и морфологические особенности глубинных деформаций за счет выявления геотермических аномалий различной морфологии, приуроченных к разрывным нарушениям и зонам трещиноватости. Комплексный анализ таких карт и всей геологической и геофизической информации о территории позволяет выполнять нефтегазо-перспективное районирование территории для постановки поисковых работ на более детальном масштабном уровне.

Геотермическая карта эмиссионного теплового потока

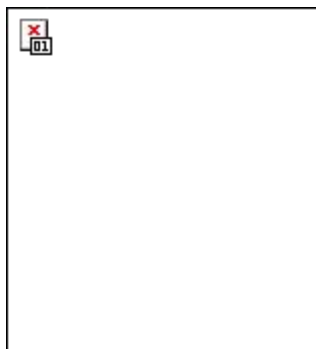
Геотермическая карта суточного температурного контраста



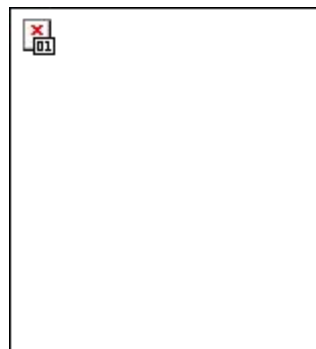
Геотермическая карта тепловой инерции



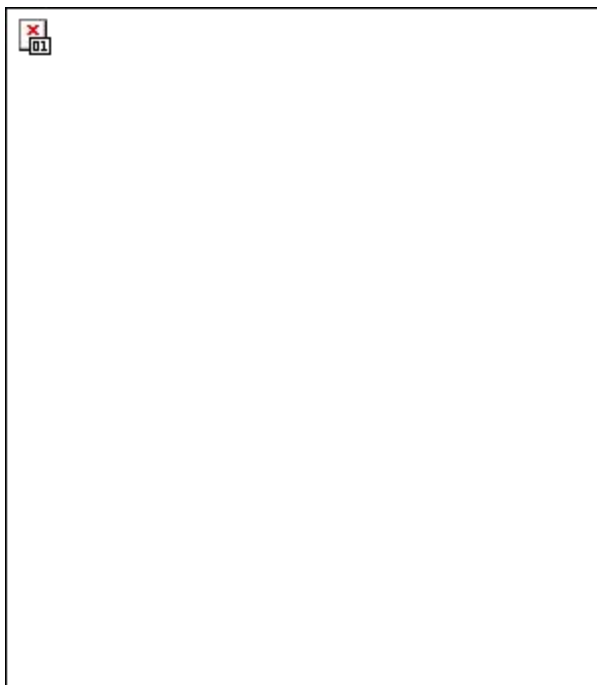
Региональные геотермические профили  
Байкитской НГО



Локальные геотермические профили Чадобецкой  
структуры Байкитской НГО



Основные геолого-структурные единицы Байкитской нефтегазоносной области и их ночной  
эмиссионный тепловой ИК поток



## Литература

1. MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD) Version 3.3 (2.3. Instrument Characteristics)

[Обсудить в форуме](#) Комментариев — 3

## Ссылки по теме

- [Подробнее о формировании теплового поля поверхности Земли и физических основах дистанционного определения температуры: ГНПП "Аэрогеофизика"](#)
- [Неофициальный сервер геологического факультета МГУ](#)
- [Обработка данных ДЗЗ теплового диапазона и расчете геотермических показателей \(The Warm Earth - Thermal Remote Sensing, Chapter 9\)](#)

Последнее обновление: May 01 2011

Дата создания: ???

Автор(ы): Андрей Кичигин