

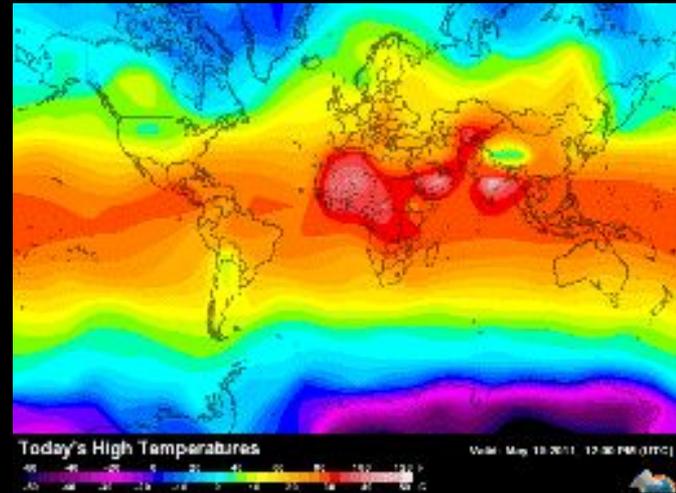


Терморазведка – раздел разведочной геофизики, основанный на изучении распределения в земной коре преимущественно естественных и реже искусственно созданных тепловых полей специальными приборами при проведении аэро-, аква- и наземных геофизических съемок в рамках региональных геотермических исследований и поисково-разведочных геотермических работ.



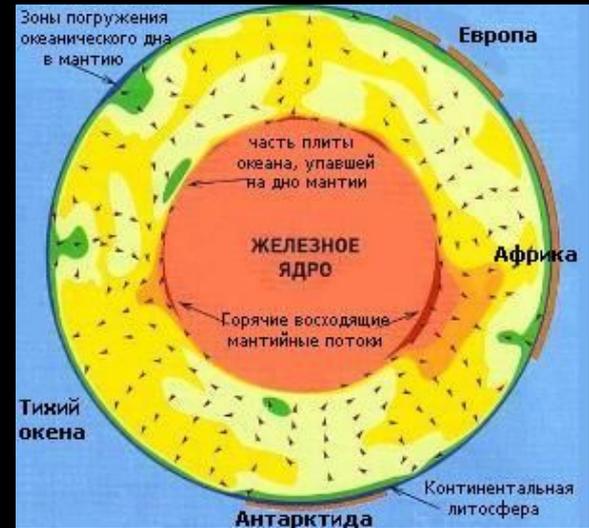
ТЕРМОРАЗВЕДКА

Тепловое поле



- **Тепловое поле**, равно как и другие физические поля, связывают с материальной средой, в которой возникают и взаимодействуют тепловые потоки. Последние, воздействуя на материальные, в частности природные объекты, определяют их тепловой режим, обуславливая деформацию теплового поля.
- Земля, как природный объект, представляет собой тепловой космический модуль, характеризующийся тепловым полем. Это поле складывается из постоянного внутреннего поля Земли (основное поле) и переменного теплового поля, присущего земным оболочкам (литосфере, гидросфере и атмосфере). Основным параметром теплового поля является

Тепловое поле



- Тепловое поле Земли формируется под действием следующих энергетических процессов:
- Солнечная энергия (получаемая и переизлучаемая обратно);
- Геотермическая потеря теплоты;
- Энергия, теряющаяся при замедлении вращения Земли;
- Упругая энергия, высвобождающаяся при землетрясениях.
- Одним из главных источников современной тепловой энергии в земной коре является радиоактивный распад долгоживущих изотопов. Источником тепла является также процесс дифференциации вещества мантии

Тепловой поток

- Есть физический смысл характеризовать тепловое поле посредством параметров потенциала U и напряженности E . Однако в результате сложившихся многолетних представлений оперируют понятиями теплового потока, геотермической ступени и др. В большинстве случаев изучают тепловой поток. Он обозначается Q . Единица измерения Вт/м², его формула – уравнение теплопроводности:

$$Q = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial Z} \right)$$

- , где $\frac{\partial t}{\partial Z}$ -
- λ - коэффициент теплопроводности (Вт/м*К), $\frac{\partial t}{\partial Z}$ - вертикальный градиент изменения температуры К/м. Знак «-» указывает на убывание температуры.

Характеристика тепловых свойств горных пород

- К тепловым свойствам природных объектов относятся теплопроводность, единица измерения которой Вт/м*К и удельная теплоемкость C , измеряемая в единицах Дж/кг*К.
- 1) Теплопроводность (λ) – направленный процесс распределения теплоты, приводящий к выравниванию температуры среды:
 - где
 - q – удельный тепловой поток, $\text{grad } T$ – градиент температуры.
- 2) Удельная теплоёмкость C – величина характеризующая теплоёмкость тела массой m , при увеличении температуры на 1° при действии количества теплоты Q . Единица измерения Дж/кгК.
 - $$C = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)}$$
 где
 - m – масса тела, Q – количество теплоты, $T_2 - T_1$ – изменение температуры тела.

Теплопроводность минералов

- Теплопроводность минералов изменяется в пределах 0,3 (сера)÷420 (серебро) Вт/м·К и зависит от минерального состава, формы, размеров и пространственных ориентации кристаллов или зерен, температуры и давления. Примерный ряд убывания λ для минералов:

Группы минералов	λ , Вт/мК.
Графит, алмаз	120
Сульфиды	20
Оксиды	10
Хлориды	6
Карбонаты	4
Силикаты	3,5
Сульфаты	2,8
Нитраты	2
Сера, селен	0,8

-
- Теплоемкость минералов изменяется в пределах 0,125÷4 кДж/кгК и C зависит от их химического состава и структуры. Так как плотность (δ) также определяется составом и структурой, то наблюдается тесная связь C и δ

Тепловые свойства

- **Теплопроводность воды** в нормальных атмосферных условиях составляет $\lambda = 0,582$ Вт/м·К. При увеличении температуры t до 100° λ возрастает до $\approx 0,7$, а затем падает, так как уменьшается притяжение между молекулами. При увеличении давления λ возрастает и увеличивается с ростом концентрации солей.
- **Теплопроводность нефти** при $t = 20^\circ$ составляет $\lambda \approx 0,13 \div 0,14$ Вт/м·К. λ убывает в породах при увеличении нефтенасыщенности и увеличивается с ростом давления.
- **Теплоемкости воды и нефти** составляют:
- $C_{\text{воды}} = 4$ кДж/кгК, $C_{\text{нефти}} = 1,8 - 2,7$ кДж/кгК.

Тепловые свойства

- Средние значения теплопроводности воздуха и природных газов следующие:
- $\lambda_{\text{воздуха}} = 0,02441 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $\lambda_{\text{метана}} = 0,034 \text{ Вт/мК}$,
 $\lambda_{\text{этана}} = 0,021 \text{ Вт/мК}$. Эти значения возрастают с ростом температуры и давления.
- Теплоемкость воздуха и природных газов характеризуется следующими показателями: $C_{\text{воздуха}} = 1 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$, $C_{\text{метана и этана}} = 2,6 \div 3,6 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$.

Тепловые свойства

- **Теплопроводность магматических пород** в щелочноземельном ряду от кислых к ультраосновным вначале несколько уменьшается, а затем увеличивается, что обуславливается не только некоторым уменьшением пористости, но и их разным вещественно-петрографическим составом .
- λ эффузивных пород $<$ λ интрузивных в силу структурных особенностей. Самая низкая λ у щелочных пород $\approx 2,04$ Вт/мК, а наибольшая λ у кислых вулканитов (кварцевые порфиры) $\approx 4,5$ Вт/мК.
- **Теплоемкость магматических пород** в щелочноземельном ряду наибольшая у диоритов ($C=1,23$ кДж/кг·К) и примерно одинаковая у гранитов и пироксенитов ($C=0,93$ кДж/кг·К)
- **Теплоёмкость метаморфических пород** несколько ниже, чем у магматических и изменяется в пределах $0,3 \div 1,72$ кДж/кг·К.

Тепловые свойства

- **Теплопроводность и теплоёмкость осадочных пород** характеризуются более значительными вариациями, нежели у кристаллических пород, что связано не только с их литологическим составом, но и влиянием эпигенетических преобразований. Диапазоны этих показателей для λ (0,1 ÷ 7,5 кДж/кг·К) и для C (0,42 ÷ 4,65 кДж/кг·К). Прослеживается тенденция уменьшения λ и увеличения C для следующих групп осадочных пород: 1) терригенно-глинистые, 2) плотные карбонатно-олоноватые и кварцевые породы, 3) каустобиолиты (торф, угли, горючие сланцы).
- Для литологических разностей одноименных стадий преобразования ряд увеличения λ и уменьшения C следующий:
- **угли → глины → аргиллиты → пески → алевролиты → известняки → доломиты → каменная соль.**
-
- Для одних и тех же литотипов, в частности терригенных пород, с возрастанием степени окаменения теплопроводность увеличивается, а теплоемкость уменьшается, при том, что сильно влияет обводненность пород и соленость подземных вод.

Принципы решения прямых и обратных задач

- **Решение прямых задач терморазведки**, то есть расчет аномалий теплового потока над простыми телами простой геометрической формы (шар, столб, цилиндр, пласт и др.) осуществляется по формулам. Для более сложных физико-геологических моделей (ФГМ), например, теплового поля над реальными средами, используются программы математического моделирования геотермии (численные расчеты). При этом должны быть известны геометрические параметры разреза по данным комплекса геолого-геофизических методов и лабораторным измерениям тепловых свойств как объектов поиска, так и вмещающей среды.
- **Решение обратных задач терморазведки** сводится к определению параметров объектов (среды), создавших тепловые аномалии, путем сравнения их с теоретически рассчитанными в ходе математического моделирования для меняющихся геометрических параметров и тепловых свойств ФГМ. Параметры совпавшей модели можно перенести на изучаемый объект. Как и в любом геофизическом методе, в геотермии обратная задача решается не однозначно. Поэтому при решении обратных задач может получиться несколько ФГМ. В ходе геологического истолкования результатов из них можно выбрать те (или ту), которые в наибольшей степени отвечают всем известным геолого-геофизическим данным.

Аппаратура для геотермических исследований

- Тепловизоры используются для дистанционных *аэрокосмических* — радиотепловых и инфракрасных съемок (РТС и ИКС). Они работают в тех участках спектра длин электромагнитных волн от микрометрового до миллиметрового диапазона, где имеются так называемые окна прозрачности для разной облачности. *Фоточувствительными элементами (фотодетекторами)* тепловизора служат особые кристаллы, чувствительные к электромагнитному излучению определенных длин электромагнитных волн.



Аппаратура для геотермических исследований

Термометры служат для измерения температуры пород или воды в скважинах (шпурах) или донных осадках.

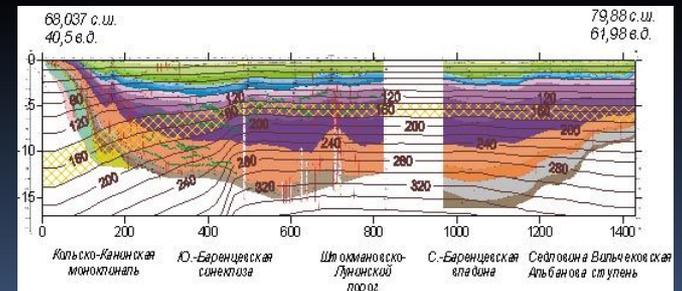
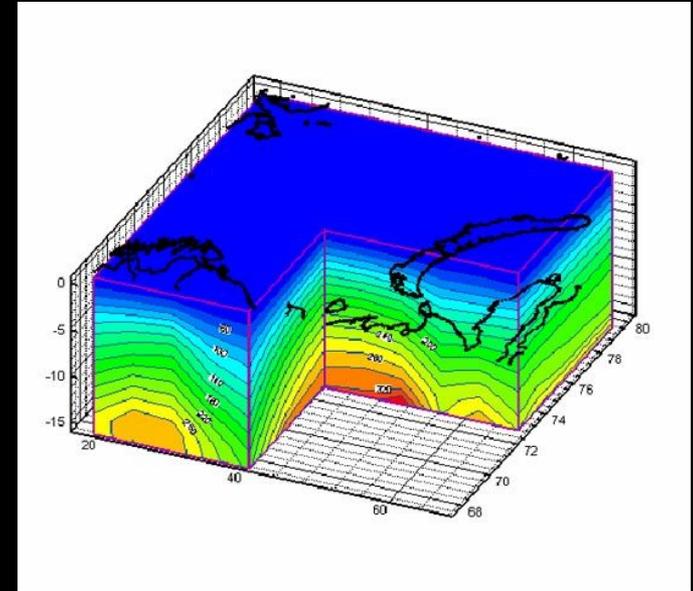
Чувствительным элементом таких термометров являются *термочувствительные датчики*, в качестве которых используются *терморезисторы*, *полупроводниковые резисторы-термисторы*, *термочувствительные пьезокристаллы*, включаемые в измерительные мостовые схемы с источником тока. Существуют шпуровые, скважинные и донные термометры с разной инерционностью (измерения могут длиться до 25 мин), с погрешностью измерений температур до $\pm 0,02$ °С и с градуировочной **точностью** до $\pm 0,01$ °С.

Современные технологии терморазведки

- В настоящее время для исследования состояния теплового поля Земли и ее природных ресурсов применяются *радиотепловые (РТС) и инфракрасные (ИКС) аэрокосмические съемки*. Ценным их преимуществом является возможность проводить измерения в темноте, а при соответствующем выборе длин волн — и практически при любой погоде.
- *Аномалии* на полученных снимках формируются за счет тепловых потоков из недр, отражения солнечной энергии и зависят от оптических, тепловых и в меньшей степени электромагнитных свойств горных пород верхней части геологической среды. Недостатком является то, что радиотепловые и инфракрасные съемки осложняются термическими помехами, связанными с неравномерным тепловым обменом земной поверхности и атмосферой, изменяющимися климатическими и метеорологическими условиями, состоянием атмосферы и другими факторами.

Современные технологии терморазведки

- Другой вид исследований носит название **геотермических** и сводится к высокоточному (погрешность не более $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$) неоднократному измерению температур, их приращений, иногда тепловых потоков в разведочных скважинах, горных выработках шахт и рудников, донных осадках озер, морей и океанов. Чтобы исключить влияние сезонных колебаний температур, замеры на суше ведут на глубинах свыше 50-100 м, а на акваториях — при толще воды свыше 100 м. Термические измерения с целью восстановления температур, нарушенных вскрытием недр, проводят через несколько месяцев после бурения глубоких скважин, через несколько недель или дней после пробивки шпуров. Поскольку в глубоких выработках, скважинах, на дне океанов температуры не меняются, то создаются банки данных температур, по которым строятся региональные термические карты больших территорий континентов и океанов.

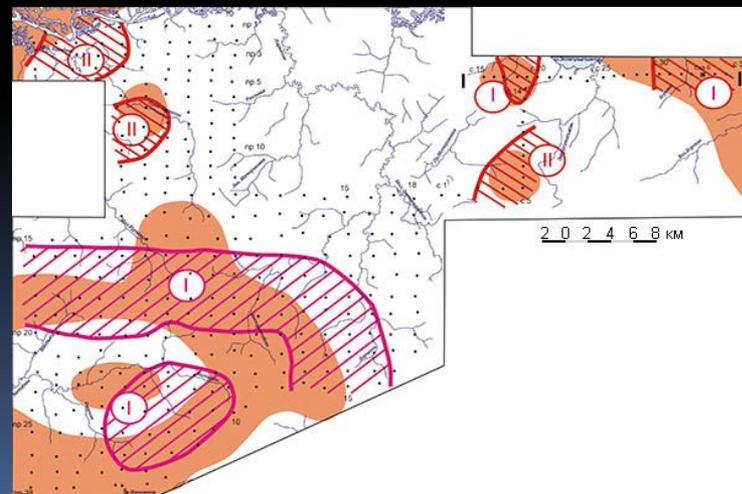
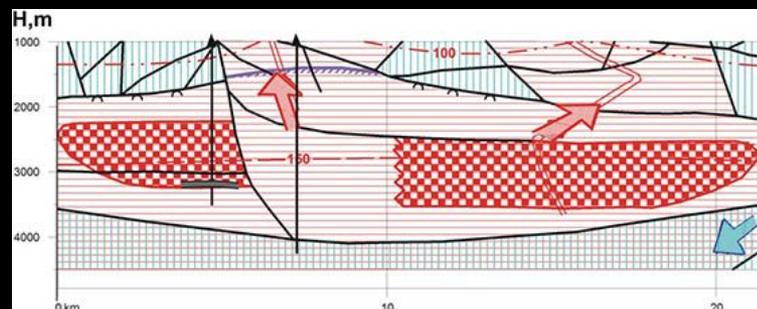
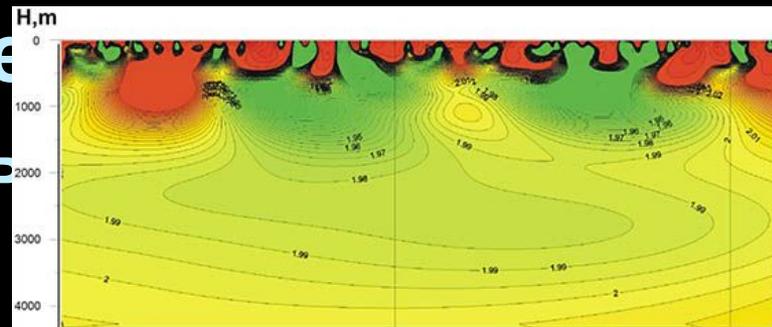


Поисково-разведочные геотермические работы

Терморазведка в комплексе с другими геофизическими методами может применяться в процессе *поисков* и *разведки* нефтяных, газовых, рудных, нерудных, угольных месторождений и их эксплуатации. Чаще всего измерения температур пород проводятся в скважинах наземного и подземного бурения и донных осадках океанов, морей в установившемся (за часы, сутки, месяцы в зависимости от глубины скважин) тепловом поле. Кроме того, температуры можно измерять в шпурах, пробуриваемых на земной поверхности глубиной 0,5-2 м, где через минуты или первые часы существует неустановившееся тепловое поле. По замеренным изменениям температур на разных глубинах строят графики их изменения с глубиной. Из наблюдаемых температур желательно исключить вариации фонового теплового поля.

Интерпретация геотермических графиков и карт обычно качественная и сводится к выделению локальных аномалий термического поля и сопоставлению их с аномалиями других геофизических методов, а также с геологическими данными. При количественной интерпретации используются данные математического моделирования.

Природа термических аномалий объясняется: 1) на месторождениях нефти и газа миграцией углеводородов (УВ) к земной поверхности, особенно по субвертикальным зонам трещиноватости, окружающим нефтегазовые ловушки (антиклинальные, структурно-тектонические и др.) 2) на рудных полиметаллических месторождениях большей теплопроводностью руд по сравнению с вмещающими породами, 3) над неметаллическими полезными ископаемыми типа кимберлитовых трубок, из которых до 10 % алмазоносны, - видимо инфильтрацией к кровле трубок поверхностных вод по системам пор и трещин, а также физико-химическими процессами в теле трубок.



Области применения терморазведки

- Аэрокосмические дистанционные радиотепловые и инфракрасные съемки дают информацию для исследования природных ресурсов Земли и, в частности, для изучения районов активного вулканизма и гидротермальной деятельности, геологического картирования и поисков некоторых полезных ископаемых, инженерно-геологических и гидрогеологических съемок, решения задач почвоведения и мелиорации, изучения снежного, ледяного покрова и динамики ландшафтов, охраны природной среды и др.
- Термические исследования геологической среды могут использоваться при выделении локальных тепловых аномалий инженерно-геологической, гидрогеологической, мерзлотно-гляциологической и геоэкологической природы. В различных природных условиях получаемые геотермические профили и карты служат для оконтуривания многолетнемерзлых и талых горных пород с разными тепловыми свойствами; изучения динамики подземных вод (приток глубинных вод создает положительные аномалии температур, поверхностных — отрицательные); прогноза приближения забоя выработок к обводненным зонам и решения других задач.
- Особый интерес представляет *определение скорости фильтрации подземных вод*. Для выявления мест фильтрации вод из водохранилищ, каналов, рек и стволов скважин, а также интервалов, где утечки отсутствуют, можно использовать измерения естественных и искусственных тепловых полей. Участки сосредоточенной фильтрации в берега акваторий выделяют по температурным аномалиям, знак которых зависит от температуры вод. Более четкие результаты получают *при искусственном электрическом подогреве воды*, например, в скважине. По скорости восстановления температур можно не только качественно выявить места утечек, но и оценить скорости фильтрации.
- *В геоэкологических исследованиях шпуровую терморазведку можно использовать для изучения теплового загрязнения, выявления отходов промышленных и сельскохозяйственных предприятий в горных породах и поверхностных водах рек, озер, водохранилищ.*