

# **Геотермические и ядерно- геофизические методы разведки**

## **Лекция 5**

# Источники теплового поля Земли

Тепловое поле одно из физ. полей Земли, изучаемое *геотермией*.

**Источниками теплового поля Земли являются:**

1. Процессы, протекающие в ее недрах (внутренние источники);
2. Тепловая энергия Солнца (внешний источник).

**Внутренние источники тепла :**

- тепло, накопленное в ходе аккреции Земли,
  - радиогенное тепло, которое создается благодаря распаду рассеянных в горных породах изотопов урана, тория, калия
- Внутреннее тепловое поле отличается высоким постоянством.

**Внешние источники теплового поля**

Энергия, поступающая на земную поверхность от Солнца, в 1000 больше, чем из недр

**Солнечная активность** влияет лишь на температуру приповерхностного слоя воздуха.

- суточные колебания температуры воздуха 1 - 1,5 м.
- сезонные (годовые) колебания - до 20 - 40 м
- на глубинах 20 - 40 м располагается зона постоянных годовых температур.

Многовековые климатические изменения сказываются на вариациях температур сравнительно больших глубин (похолодания и потепления в четвертичном периоде влияли на тепловой режим Земли до глубин 3 - 4 км).

# Методы геотермической разведки

При терморазведке регистрируются и изучаются:

1. Температура, ее вертикальный градиент и тепловой поток, определяемые тепловым полем недр Земли, изучаются в скважинах.

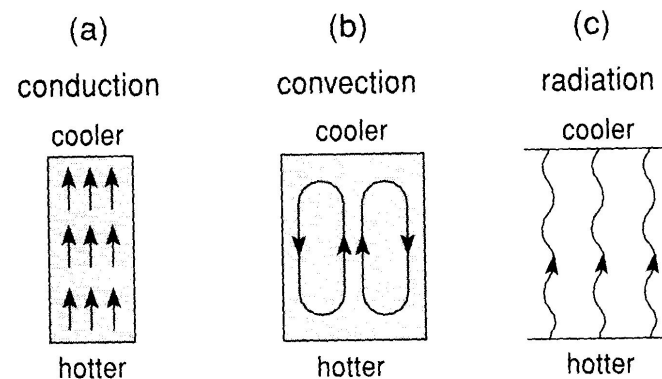
2. Для изучения ландшафтов, решения инженерно-гидрологических задач, изучения мерзлотных условий и движения подземных вод и др. выполняются радиотепловые (РТС) и инфракрасные (ИКС) съемки

# Базовые идеи геотермии

- Тепло всегда имеет тенденцию двигаться от нагретых к холодным областям (как вода – из области высокого давления в сторону низких давлений).
- Температура возрастает с глубиной. Температурный градиент в скважинах на континентах составляет  $25\text{-}30^{\circ}/\text{км}$ . Однако, этот градиент уменьшается с глубиной до  $0.5^{\circ}/\text{км}$ .

# Перемещение тепла

- а) **Кондуктивный** перенос тепла. Тепло перемещается через материал от более нагретой части к более холодной (за счет передачи кинетической энергии от одних молекул к другим при столкновениях).
- б) **Конвективный** перенос тепла. Тепло переносится движением горячего материала (подобно циркуляции горячей воды в системе отопления). В этой системе нагретый материал с пониженной плотностью поднимается вверх, где он охлаждается, его плотность увеличивается и он погружается вниз.
- с) **Электромагнитный** перенос тепла («лучистая энергия»). Связывается с переносом энергии электромагнитным излучением.
- В звездах, где температура достигает десятки – сотни млн. $^{\circ}\text{C}$  преобладает этот механизм передачи энергии.



**Figure 17.1** Ways that heat travels.

## Локальный тепловой поток.

- Источники локальных тепловых потоков, вызывающих аномалии температур, разнообразны:
  - наличие многолетнемерзлотных пород, т.е. мощных (до сотен метров) толщ с отрицательными температурами;
  - присутствие пород и руд с повышенной радиоактивностью;
  - влияние экзотермических (с поглощением тепла) и эндотермических (с выделением тепла) процессов, происходящих в нефтегазоносных горизонтах, залежах угля, сульфидных и других рудах;
  - проявление современного вулканизма и тектонических движений;
  - циркуляция подземных, в том числе термальных, вод и др.

Эти источники регистрируются тепловым излучением. Основными методами терморазведки являются: радиотепловые (РТС) и инфракрасные (ИКС) съемки

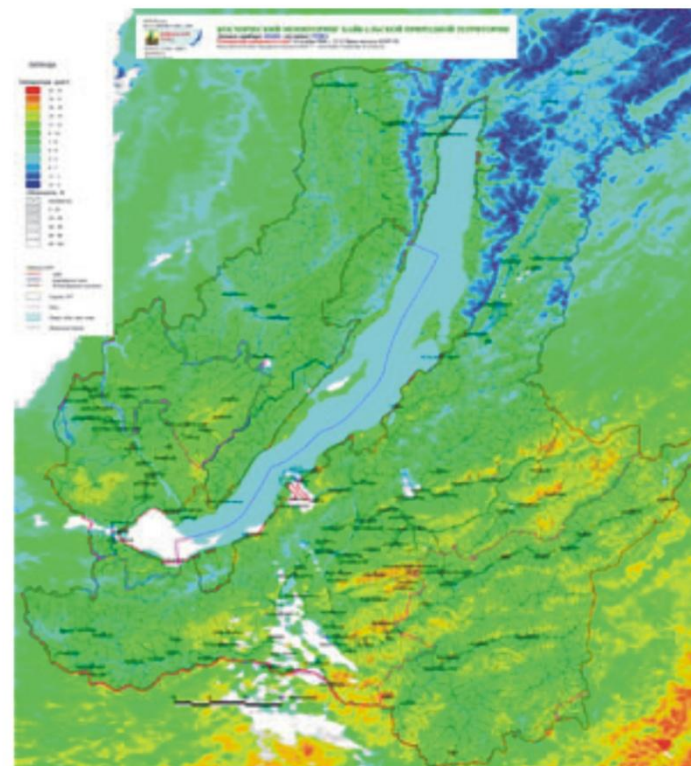
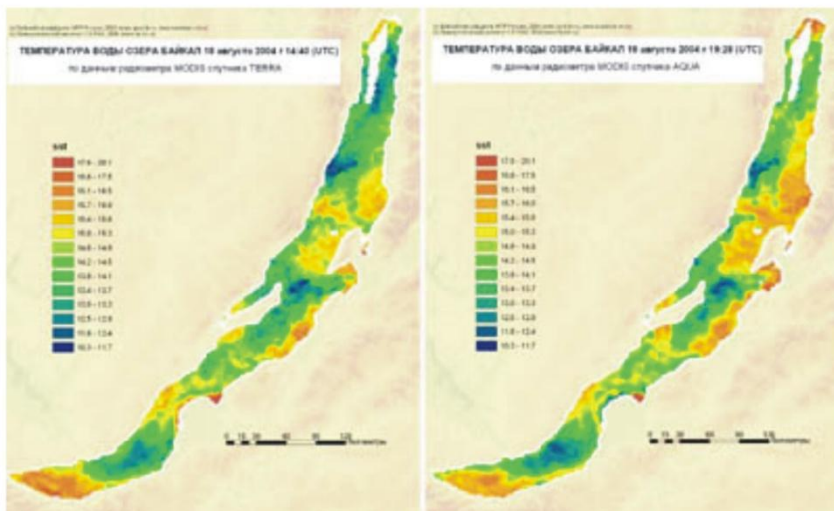
# Тепловизоры.

- Для аэрокосмических и полевых радиотепловых и инфракрасных съемок изготавливают тепловизоры, работающие в тех или иных участках спектра длин электромагнитных волн от микрометрового до миллиметрового диапазона. Фоточувствительным элементом (фотодетектором) тепловизора являются особые кристаллы, чувствительные к электромагнитному излучению определенных длин волн. Для достижения высокой чувствительности (доли градуса) и безынерционности кристаллы должны находиться при очень низких температурах ( $< -203$  C). С этой целью их помещают в охлаждающее устройство на жидком азоте или гелии

# Примеры радиотепловых и инфракрасных съемок

Пример классификационного изображения температуры температуры Байкальского региона

Температура озера Байкал





# Примеры радиотепловых и инфракрасных съемок

Мониторинг тепловых аномалий (лесных пожаров) в Амурской области  
(красные контуры - аномалии, обусловленные пожарами)

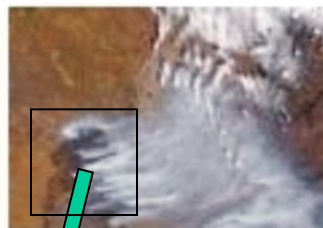
**12.10.2004**  
01:58 UTC



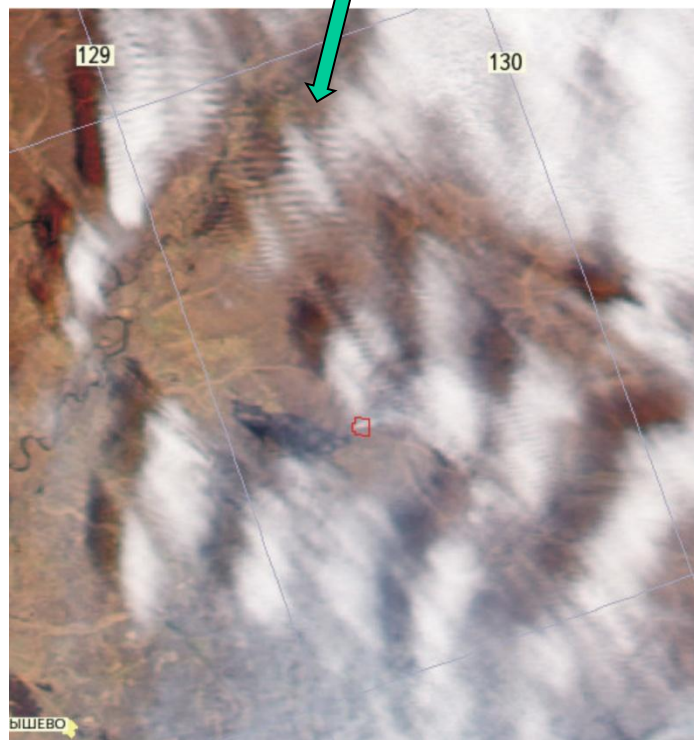
**15.10.2004**  
02:28 UTC



**16.10.2004**  
03:10 UTC



**17.10.2004**  
04:05 UTC

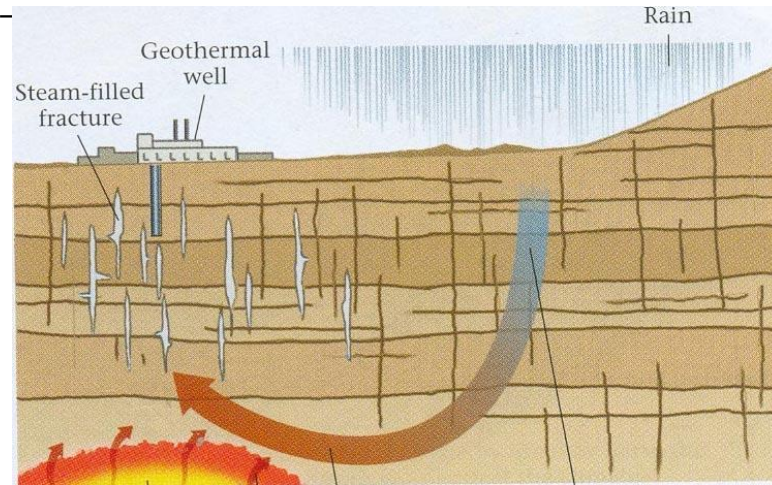


# Геотермальная энергия, геотермальные ресурсы

- Суммарный тепловой поток Земли – около  $42 \cdot 10^{13}$  Вт. Это в 50-100 раз больше, чем продуцируют 10 000 самых крупных электростанций. Геотермальная энергия – возобновляемый, постоянный извлекаемый ресурс, экологически более чистый по сравнению с традиционным органическим топливом и атомной энергией. Геотермальная энергия может обеспечить нужды человечества.
- Средняя плотность теплового потока на континентах –  $58 \text{ мВт/м}^2$  - примерно в 1 000 000 раз меньше тепла, получаемого кастрюлей на газовой плите. Однако, имеются особые условия, когда тепло Земли используется в хозяйственных целях.
- Г.р., разрабатываемые более чем в 60 странах, делятся на 4 группы:
  - 1) «Натуральный пар»
  - 2) «Горячая вода»
  - 3) Горячие сухие породы
  - 4) Тепловые насосы.

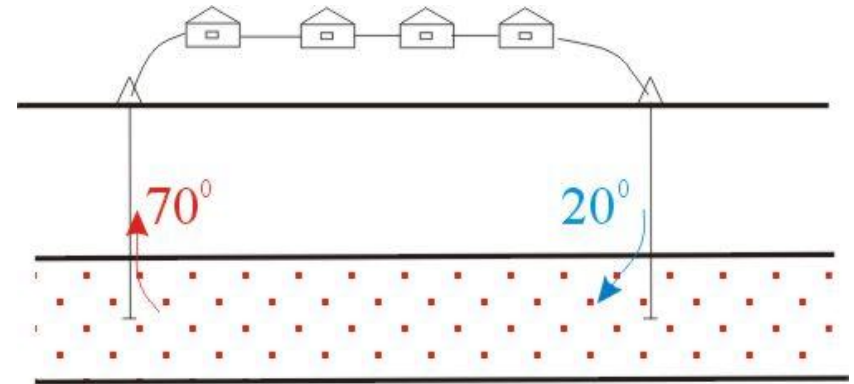
# 1. Натуральный пар.

- Используется в областях, где горячая вода достигает поверхности Земли - областях современного вулканизма (Камчатка, Калифорния, Италия, Япония, Китай, Филиппины и др.
- Большинство электростанций производит пар, сжигая энергоносители, который двигает турбины генератора. В геотермальных энергетических установках пар непосредственно извлекается из недр Земли. В горных породах (бурением вскрыты системы с температурами  $350^{\circ}\text{C}$  и выше). Выработка электроэнергии осуществляется при  $T$  порядка  $150 - 300^{\circ}\text{C}$ .



## 2. Горячая вода

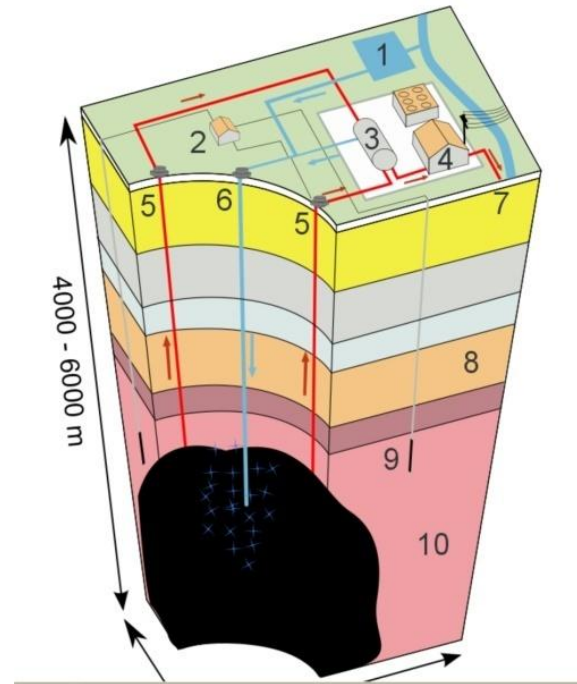
- *Гидротермальная система «Горячая вода»* используется в тех районах, где в зонах с высокими значениями теплового потока располагаются глубокозалегающие осадочные бассейны. Для теплоснабжения используются воды при температурах от 40 до 100 – 150° С. Термальные воды из пористого продуктивного пласта пропускают по системе теплоснабжения и после их охлаждения закачивают обратно в продуктивные пласты



- Система «Горячие сухие породы» реализуется в регионах, где большая часть потенциала геотермальной энергии сосредоточена в сухих и непроницаемых породах. Разработанные технологии позволяют создать искусственную трещиноватость в этих породах путем гидравлического воздействия на них (увеличении давления жидкости в скважине). Ко второй добывающей скважине поступает уже очень горячая вода.

При всех своих достоинствах этот метод опасен в плане возникновения техногенных землетрясений. Так, в 2006 году около новой геотермальной HDR станции в Базеле (Швейцария) через восемь дней после начала закачки воды произошло землетрясение с магнитудой 3.4 по шкале Рихтера.

### 3. Горячие сухие породы



Геотермальная система «горячие сухие породы» 1- резервуар, 2- насосная станция, 3-теплообменник, 4 – машинный зал, 5- эксплуатационная скважина, 6 нагнетательная скважина, 7- горячая вода идущая к потребителю, 8- пористые породы, 9-наблюдательная скважина, 10- вмещающие кристаллические породы. По расчетам охлаждение блока объемом 1 км<sup>3</sup> горячих трещиноватых пород с 200°C to 180°C замещает энергию 1 275 000 тонн нефти и может обеспечить электричеством город с населением 10 000 жителей на период 20 лет. Именно такие параметры рассчитаны для ведущего в мире Проекта Soultz (глубина источника – около 5000 м.



# ТЕПЛОВОЙ НАСОС

- Внешний контур (коллектор) представляет собой уложенный в землю или в воду (напр. полиэтиленовый) трубопровод, в котором циркулирует незамерзающая жидкость — антифриз. Источником низкопотенциального тепла может служить грунт, скальная порода, озеро, река, море, а может даже и океан и даже выход тёплого воздуха из системы вентиляции какого-либо промышленного предприятия.
- Во второй контуре, где циркулирует хладагент, как и в бытовом холодильнике, встроены теплообменники — испаритель и конденсатор, а также устройства, которые меняют давление хладагента — распыляющий его в жидкой фазе дроссель (узкое калиброванное отверстие) и сжимающий его уже в газообразном состоянии компрессор.
- Третий контур, в котором вода нагревается до заданных температур, осуществляет поставку тепла в систему теплоснабжения дома



Виды коллекторов, применяемых при эксплуатации тепловых насосов для теплоснабжения отдельных жилых домов (а- тепло грунтовых вод, б- тепло водоема, в- коллектор, зарытый в грунт).

# Радиометрические методы

## Теоретические основы

- *Радиация- ионизирующее излучение*, когда в результате взаимодействия частицы с атомами среды и происходит образование электрических зарядов.

- Радиометрическими методами изучаются:

1) *альфа-излучение*, которое происходит при распаде радиоактивных атомных ядер с испусканием *альфа-частицы* (ядро гелия, состоящее из 2-х протонов и 2-х нейтронов);

Имеют положительный заряд и их пробег в воздухе составляет 2–8 см, а в горных породах - не более 0,1 мм;

2) *бета излучение*, испускаемое атомными ядрами электронов (e-) и позитронов e+;

Имеют заряд и длина их пробега в воздухе составляет до нескольких десятков см, а в плотных средах до 1 см;

3) *гамма-излучение* – высокочастотное электромагнитное излучение с длиной волны  $\lambda < 10^{-8}$  см, которое сопровождает все виды радиоактивного распада.

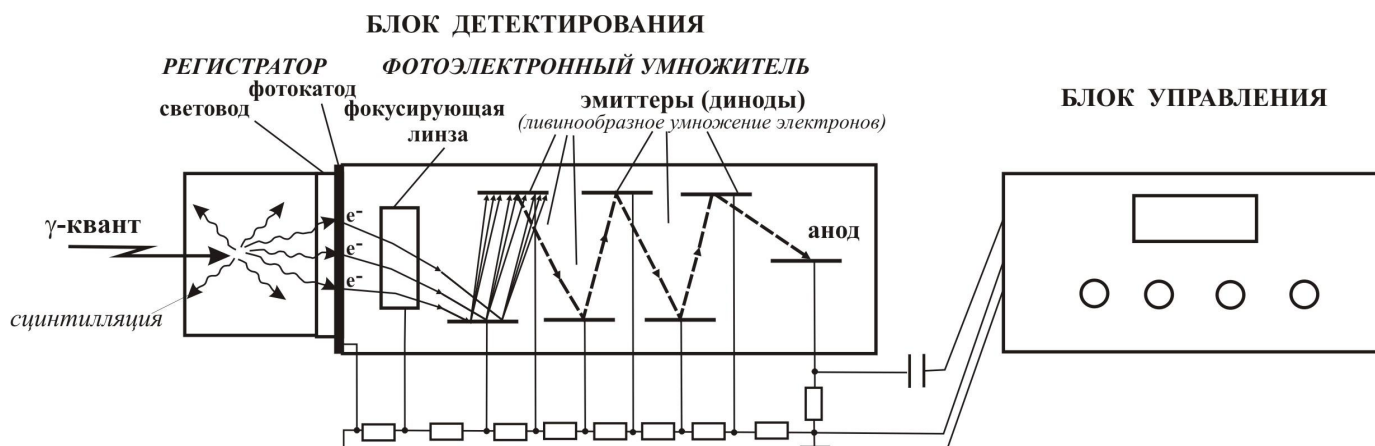
Не имеет заряда; проникающая способность в воздухе составляет до 100 м, а в горной породе около ½ метра.



# Методы регистрации радиоактивных излучений

## Регистрация $\gamma$ - излучения.

- Наиболее широкое применение в радиометрии получили сцинтилляционные счетчики - радиометры, включающие блок детектирования (регистратор и фотоэлектронный умножитель) и блок управления



*Регистратор* - большой проницаемый кристалл (обычно натриевого иода). Взаимодействие заряженной частицы или  $\gamma$ -кванта с веществом люминофора возникают вспышки — сцинтилляции. Часть фотонов через световод попадает на фотокатод и выбивает из него электроны.

В *фотоэлектронном умножителе* электроны направляются фокусирующей линзой на находящиеся под напряжением эмиттеры или диноды, что обеспечивает лавинообразное умножение электронов от динода к диноду и появление на аноде электрического импульса, достаточного для регистрации его радиотехнической схемой.

В *блоке управления* - подсчет числа импульсов, их визуализация или запись.

В геологической практике используются **радиометры**, регистрирующие суммарное излучение радиоактивных элементов и **гамма-спектрометры**, различающие гамма-лучи с

# Радиоактивность

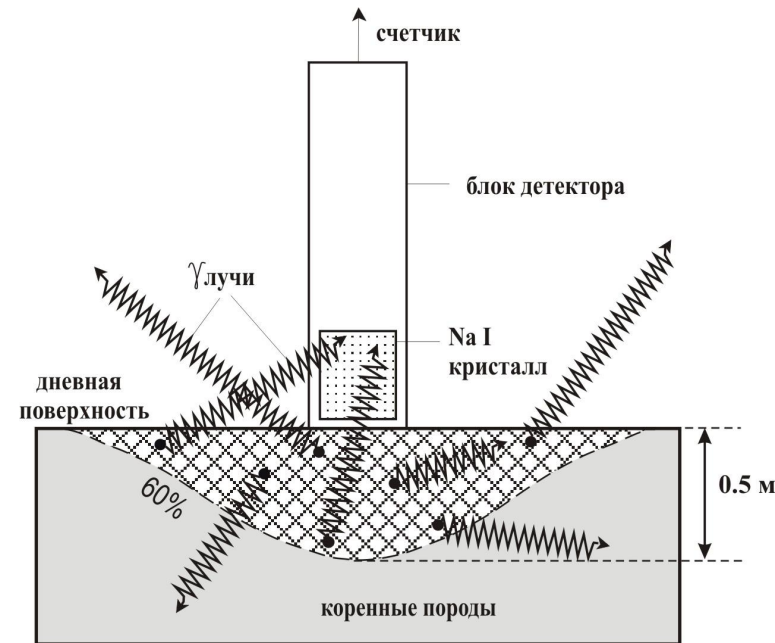
## горных пород

- Наиболее распространенными естественными радионуклидами на Земле являются:  $^{40}\text{K}$  с периодом полураспада  $T_{1/2}=1,31 \times 10^9$  лет и содержанием 2,5% (содержание радиоактивного  $^{40}\text{K}$  в природной смеси изотопов калия составляет 0,012 %);  $^{232}\text{Th}$  с периодом полураспада  $T_{1/2}=1,4 \times 10^{10}$  лет и содержанием  $1,3 \times 10^{-3}\%$ ;  $^{235}\text{U}$  с периодом полураспада  $T_{1/2}=7,13 \times 10^8$  лет и содержанием  $1,8 \times 10^{-5}\%$ ;  $^{238}\text{U}$  с периодом полураспада  $T_{1/2}=4,5 \times 10^9$  лет и содержанием  $2,6 \times 10^{-4}\%$ .)

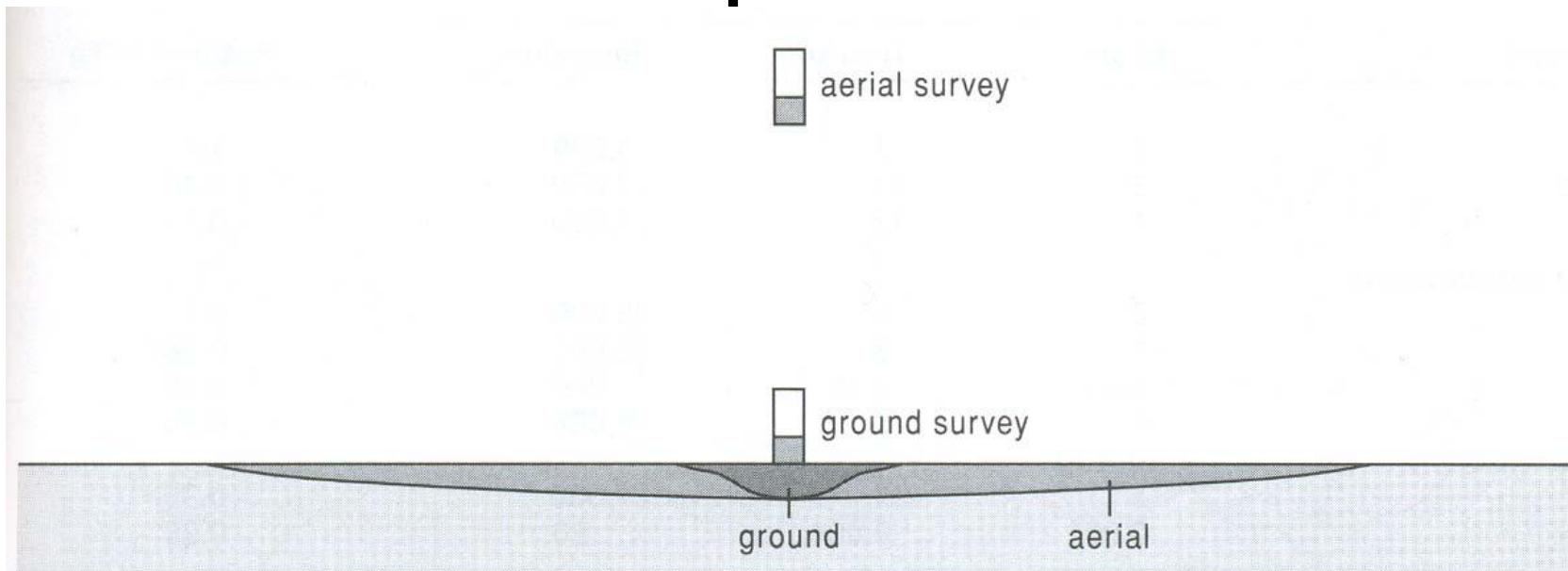
Породы или минералы	Концентрация элемента			
	К-во частиц на 1 млн			
	U	Th	K	U/Th
Осадки				
известняк	2	2	3000	1.6
песчаник	2	11	27000	0.35
глина	4	12	25000	0.27
Вулканические и метаморфические породы				
андезит	2	6	25000	0.3
базальт	1	3	10000	0.28
габбро	0.05	0.15	800	0.33
<b>гранит</b>	<b>4</b>	<b>25</b>	<b>40000</b>	<b>0.25</b>
крист сланец	3	11	27000	0.35
Ультраметаморфические породы	0.001	0.004	30	0.26

# Гамма-съемка

- Т.к. проникающая способность в воздухе гамма лучей до 100 м метод используется в наземном и аэро-вариантах.
- **Наземная съемка.** Радиационное обследование территорий проводят методом площадной гамма-съемки. При этом на территории закладывается система параллельных профилей, равномерно покрывающих площадь исследований. Расстояние между профилями определяется масштабом съемки и целей обследования.
  - Если гамма-спектрометр помещен на ровную пов-ть, большинство фиксируемых лучей (60%) продуцируется линзовидным объемом. В плотных породах – объем меньше.
  - Инструмент может быть калиброван на преобразование числа импульсов в концентрацию K, U, Th.



# Аэросъемка

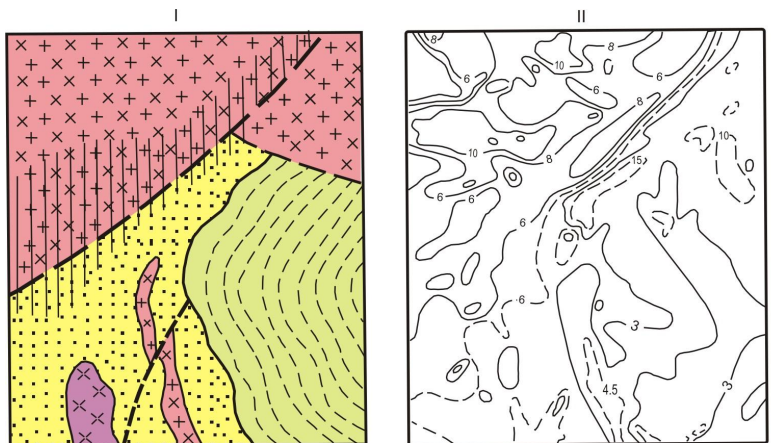


**Figure 16.4** Source volumes for ground and airborne surveying.

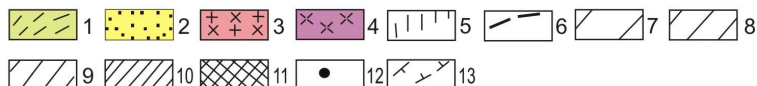
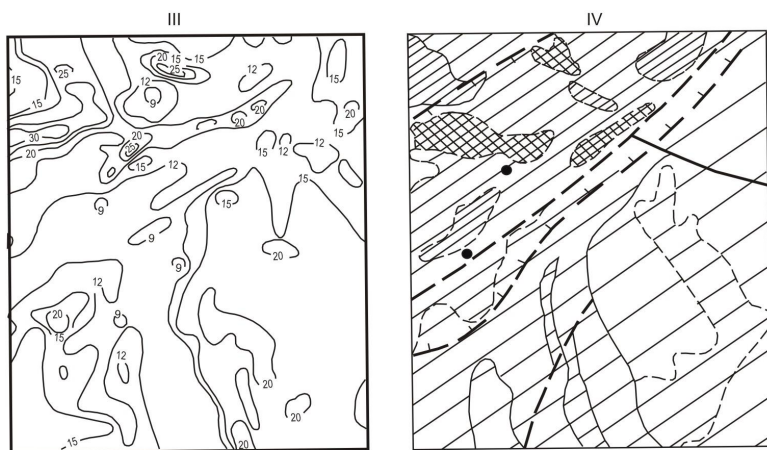
- Если спектрометр располагается выше поверхности Земли – зона влияния увеличивается. Т.к. время экспозиции на точке при аэросъемке уменьшается – увеличивается размер детекторного кристалла.
- Если пространственное разрешение аэросъемки невелико – в пределах выделенных аномалий выполняется наземная съемка. Часто она комплексирована с электромагнитной и магнитной съемками.

# Сферы применения радиометрической съемки

- Радиометрическую съемку широко применяют при поисках и разведке месторождений радиоактивных и нерадиоактивных руд, нефти и газа, при геологическом картировании и в *радиоэкогеологических исследованиях*.
- *Задачи картирования и геохимического районирования.*

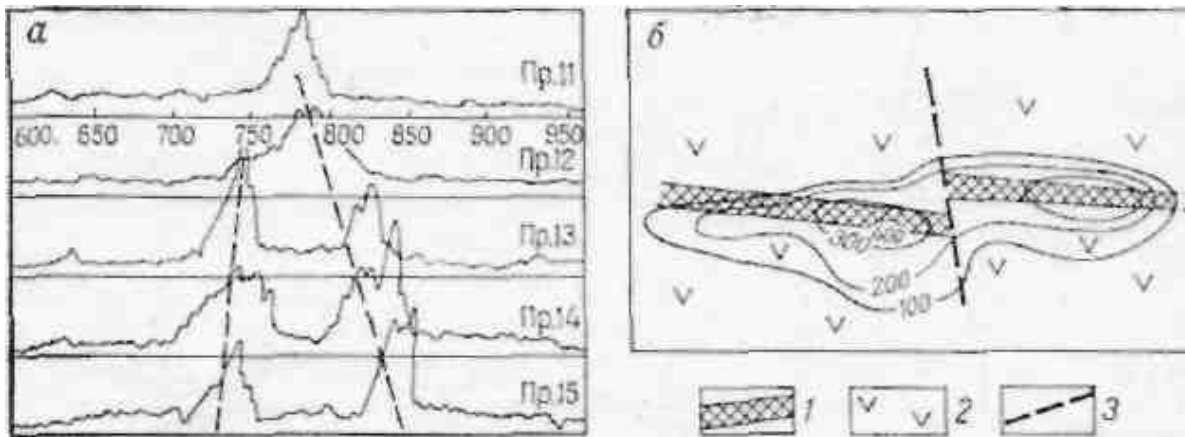


- Радиогеохимическая карта хорошо обнаженного участка горного района по результатам вертолетной гамма-съемки I-геологическая основа: 1-филлитовые сланцы, 2-песчаники, 3-гранодиориты, 4-монцитониты, 5-зоны гидротермально-метасоматических изменений, 6-разломы; II-карта изоконцентраций урана по данным аэрогамма-съемки ( $n \cdot 10^{-4}\%$ ); III-карта изоконцентраций тория ( $n \cdot 10^{-4}\%$ ); IV-геохимическая нагрузка. Содержание урана в горных породах (%): 7— $(1.5-2.5) \cdot 10^{-4}$ ; 8— $(2.5-2.5) \cdot 10^{-4}$ ; 9— $(3.5-5.0) \cdot 10^{-4}$ ; 10— $(5-10) \cdot 10^{-4}$ ; 11— $(10-25) \cdot 10^{-4}$ ; 12—участки локальных концентраций урана  $>25 \cdot 10^{-4}$ ; 13- зона привноса и перераспределения урана.



# Пешеходные гамма-съемки и наземные гамма-спектрометрические наблюдения

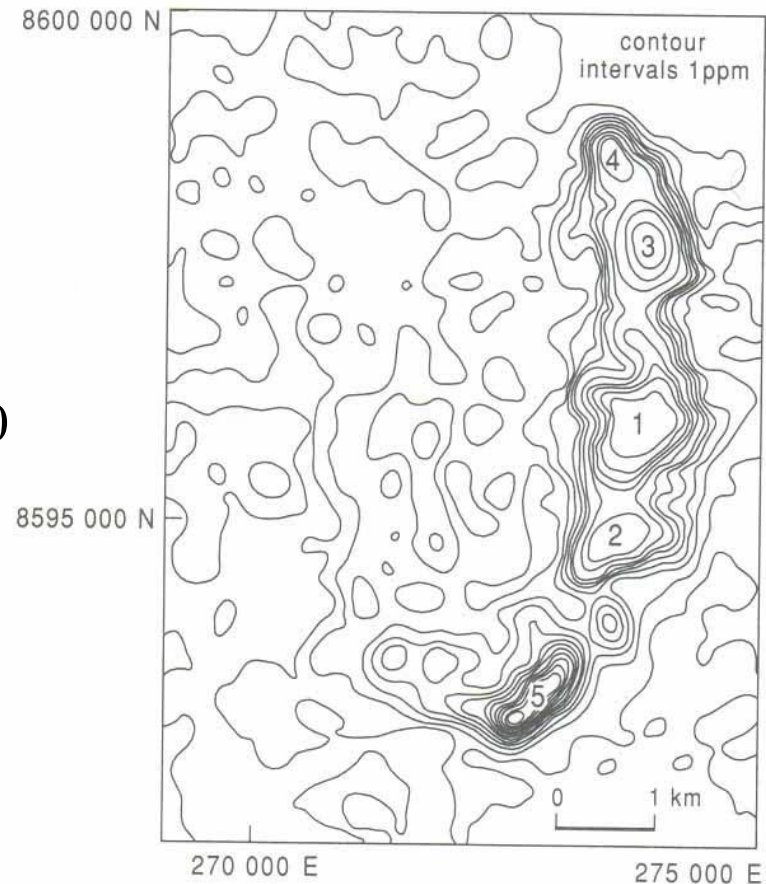
- Являются основными видами наземных поисков радиометрических аномалий и рудопроявлений. Обычно маршрутные гамма-поиски проводятся в мелких масштабах (от 1:200 000 до 1:25 000), а гамма-съемки — в масштабах от 1:10 000 и крупнее. Пешеходные гамма-поиски проводятся в районах со сравнительно хорошей обнаженностью, в ландшафтных условиях, способствующих формированию открытых ореолов рассеяния урана. При проведении маршрутных гамма-поисков и гамма-съемок активность пород непрерывно прослушивается с помощью телефона радиометра и измеряется в фиксированных точках наблюдений.



- Изображение результатов пешеходных гамма-поисков:
- *a* — карта корреляционных графиков; *б* — карточка гамма-аномалии в изолиниях интенсивности 1 — рудная зона; 2 — вмещающие породы; 3 — линия смещения

# Поиски урановых месторождений

- **Пример** – съемка уранового рудного тела в Северной Австралии:
  - Высота съемки – 80 м по субширотным профилям с шагом 180 м. Кристалл – 50 литров.
  - Результаты изучения выделенных аномалий:
    - 1 и 3 - рудные тела с запасами 50 000 и 30 000 тонн,
    - 2 и 4 – аномалии вторичной минерализации,
    - 5 – (национальный парк).



**Figure 16.5** Airborne survey of uranium orebodies, Ranger, Australia.