

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 25-30⁰/км. Однако, этот градиент уменьшается с глубиной до 0.5⁰/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. 0°C преобладает этот механизм передачи энергии.

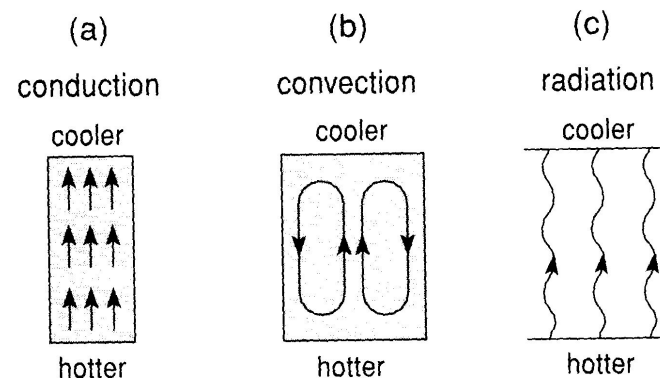


Figure 17.1 Ways that heat travels.

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

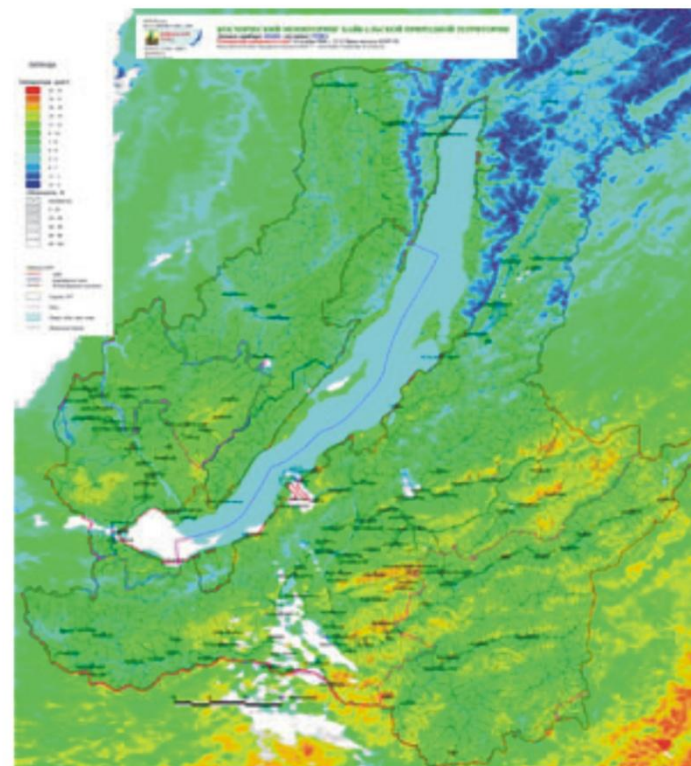
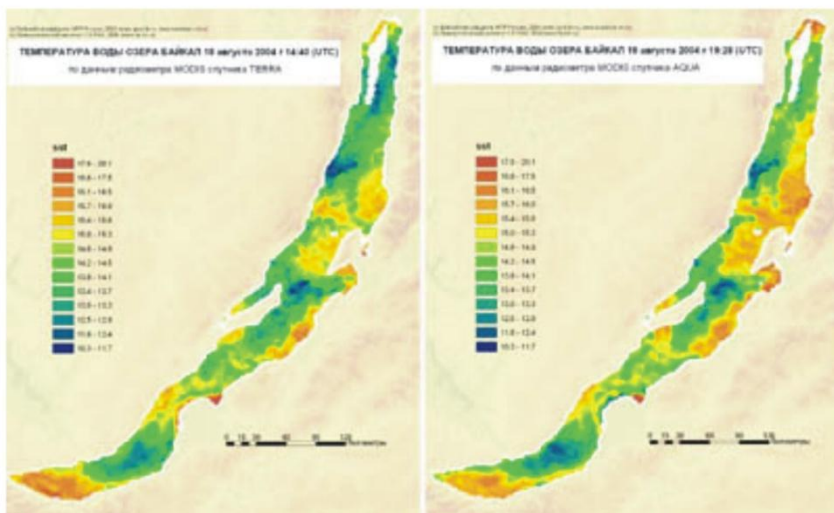
Тепловизоры.

- 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)

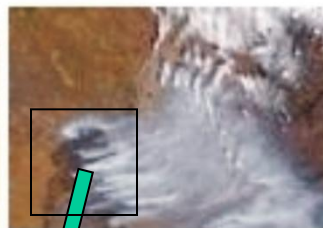
12.10.2004
01:58 UTC



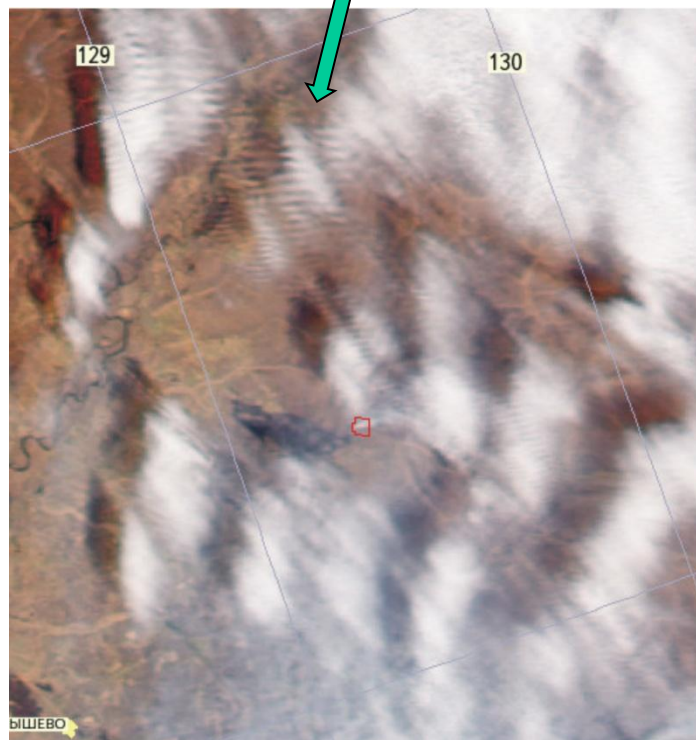
15.10.2004
02:28 UTC



16.10.2004
03:10 UTC



17.10.2004
04:05 UTC

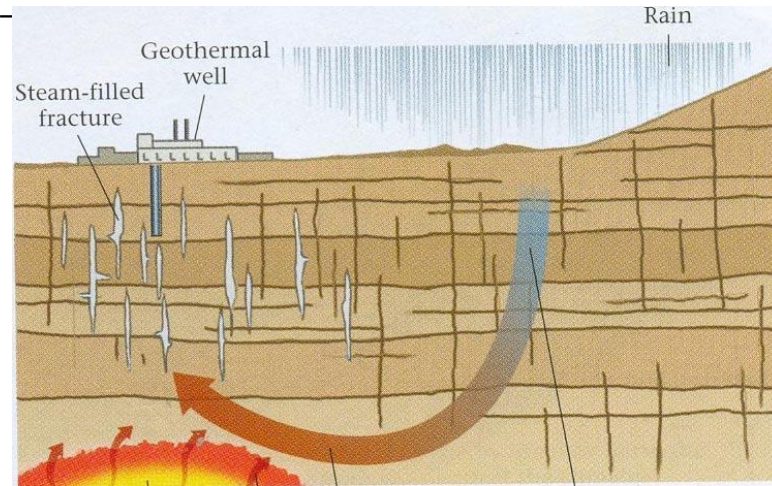


Геотермальная энергия, геотермальные ресурсы

- 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 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.

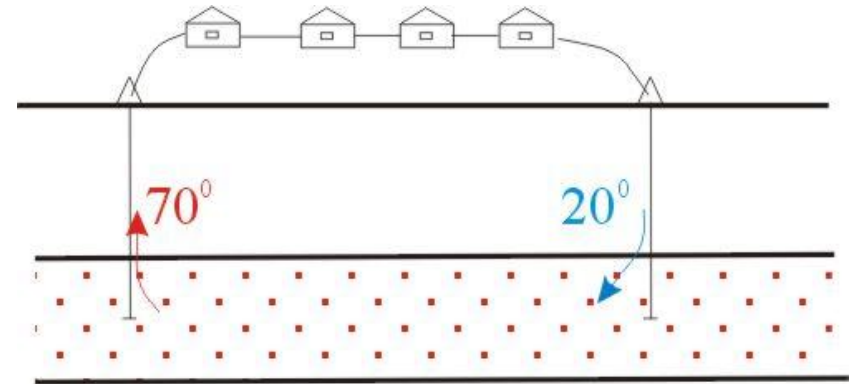
1. Натуральный пар.

- 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°C и выше). Выработка электроэнергии осуществляется при T порядка $150 - 300^{\circ}\text{C}$.



2. Горячая вода

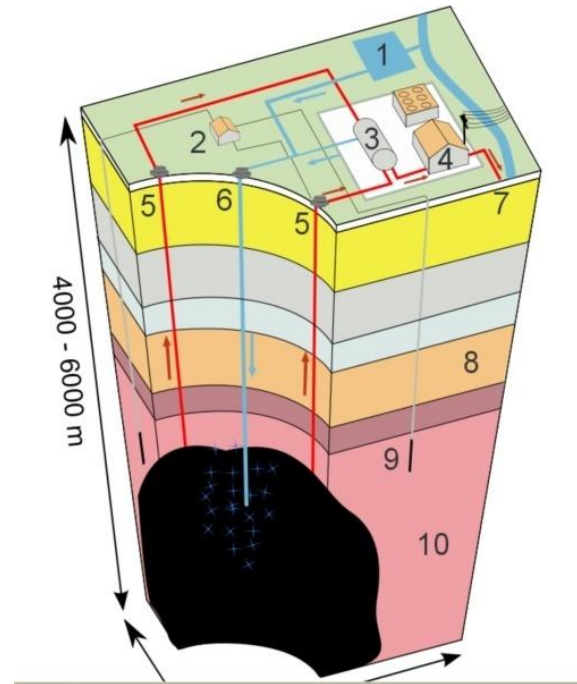
- *Гидротермальная система «Горячая вода»* используется в тех районах, где в зонах с высокими значениями теплового потока располагаются глубокозалегающие осадочные бассейны. Для теплоснабжения используются воды при температурах от 40 до 100 – 150° С. Термальные воды из пористого продуктивного пласта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

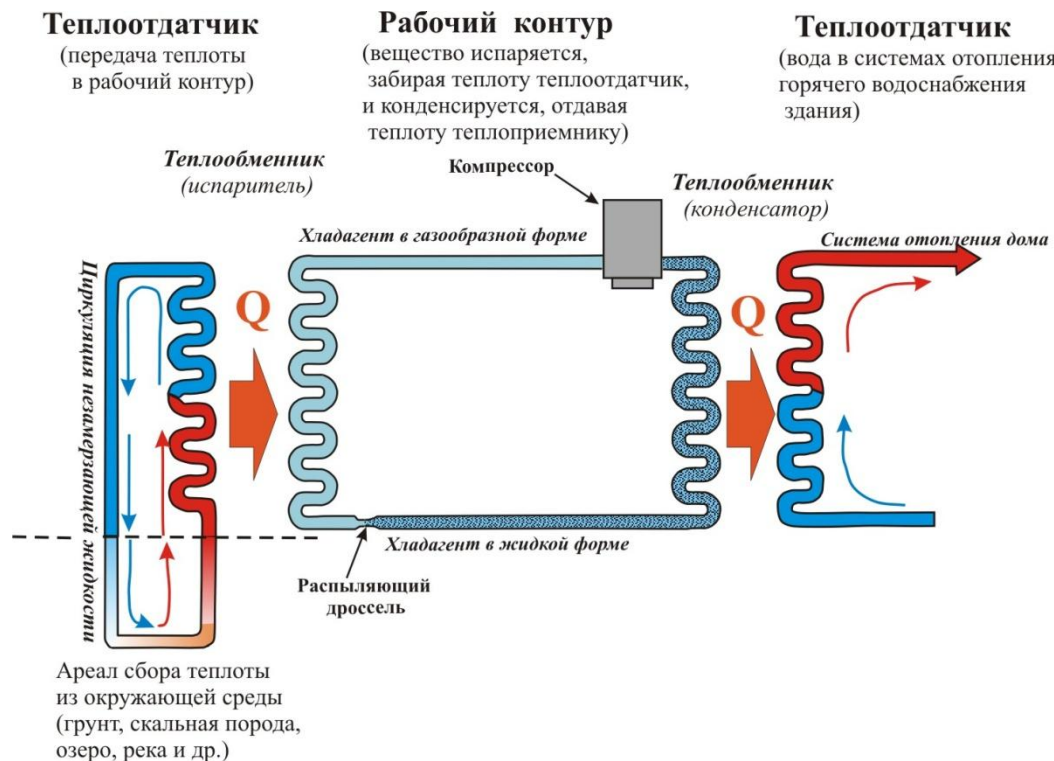
3. Горячие сухие породы



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 км³ 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

- *Тепловой насос* — устройство для переноса тепловой энергии от источника с более низкой температурой к источнику с более высокой температурой. Принцип работы теплового насоса основан на том, что хладагент, имеющий низкую температуру кипения, испаряется в камере с низким давлением и температурой и конденсируется в камере с высоким давлением и температурой, осуществляя таким образом перенос энергии (тепла) от холодного тела к нагретому, то есть в направлении, в котором самопроизвольный теплообмен невозможен. Схематично тепловой насос можно представить в виде системы из трёх замкнутых контуров



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+;

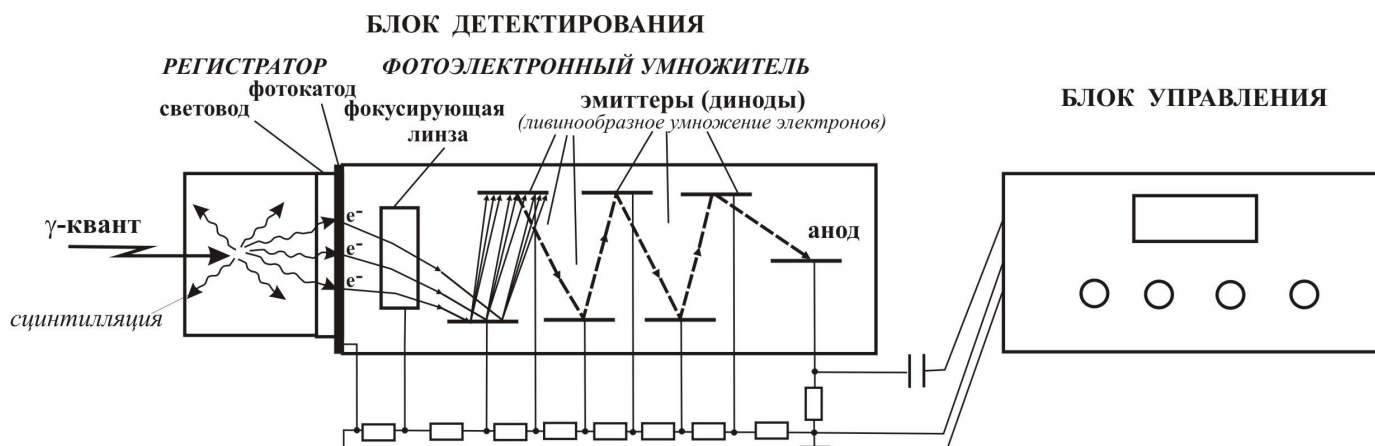
Имеют заряд и длина их пробега в воздухе составляет до нескольких десятков см, а в плотных средах до 1 см;
 - 3) *гамма-излучение* – высокочастотное электромагнитное излучение с длиной волны $\lambda < 10^{-8}$ см, которое сопровождает все виды радиоактивного распада.

Не имеет заряда; проникающая способность в воздухе составляет до 100 м, а в горной породе около $\frac{1}{2}$ метра.

Методы регистрации радиоактивных излучений

Регистрация γ - 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 γ -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

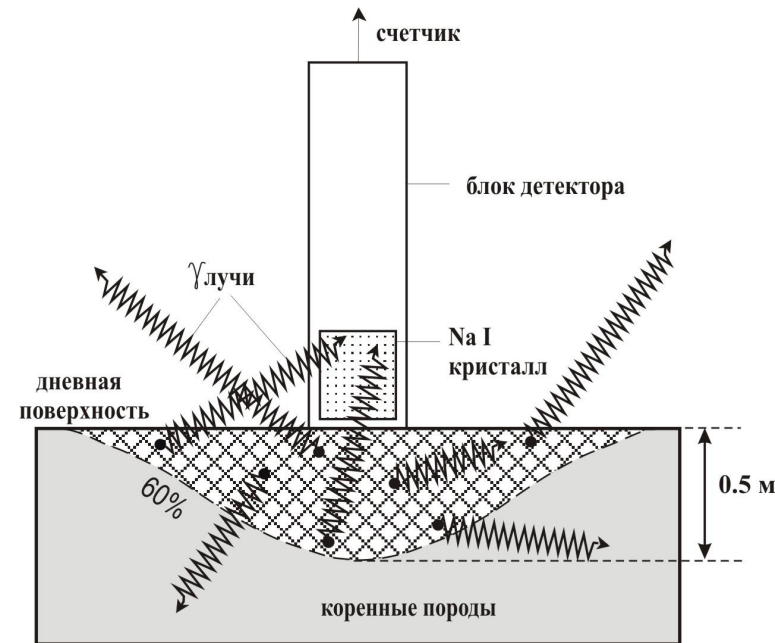
горных пород

- Наиболее распространенными естественными радионуклидами на Земле являются: ^{40}K с периодом полураспада $T_{1/2}=1,31 \times 10^9$ лет и содержанием 2,5% (содержание радиоактивного ^{40}K в природной смеси изотопов калия составляет 0,012 %); ^{232}Th с периодом полураспада $T_{1/2}=1,4 \times 10^{10}$ лет и содержанием $1,3 \times 10^{-3}\%$; ^{235}U с периодом полураспада $T_{1/2}=7,13 \times 10^8$ лет и содержанием $1,8 \times 10^{-5}\%$; ^{238}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
гранит	4	25	40000	0.25
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

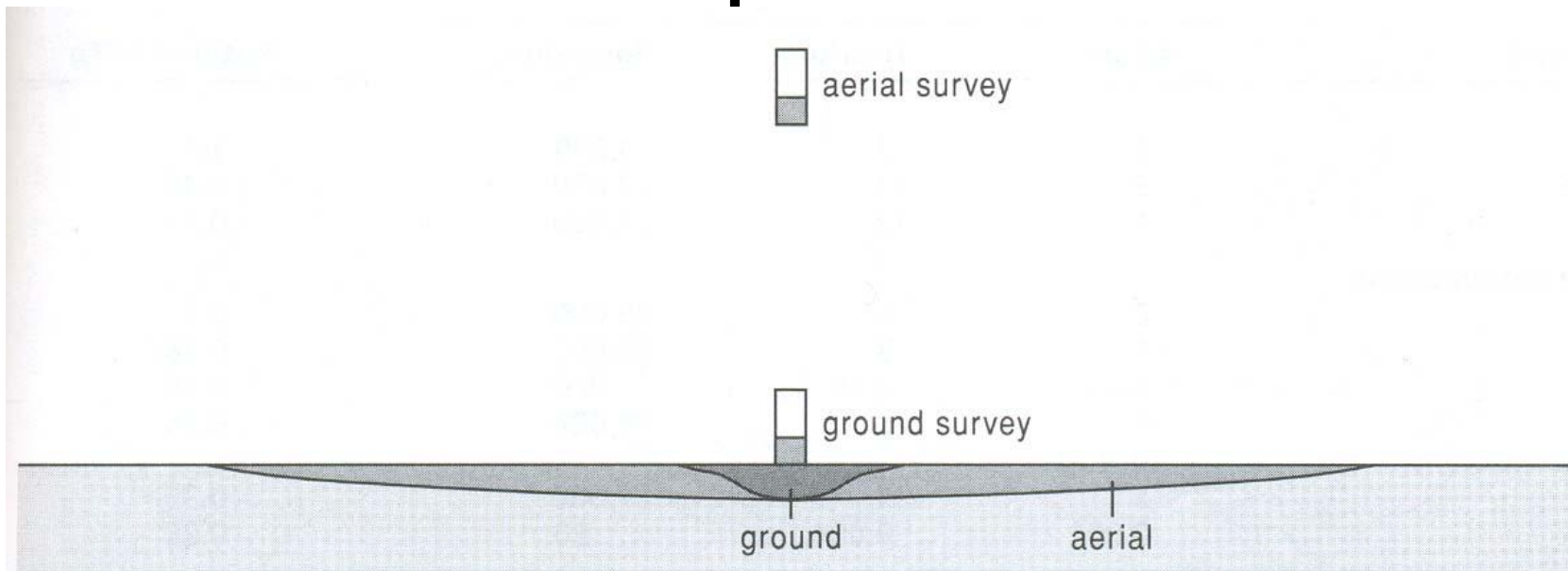
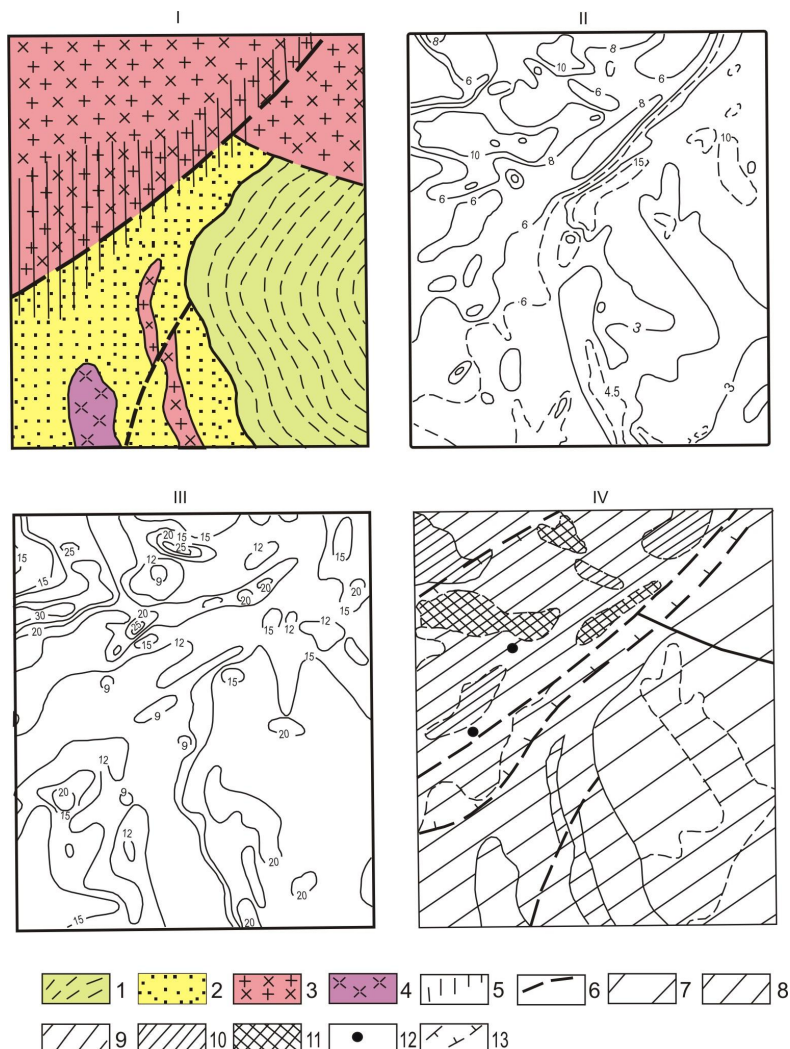


Figure 16.4 Source volumes for ground and airborne surveying.

- 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

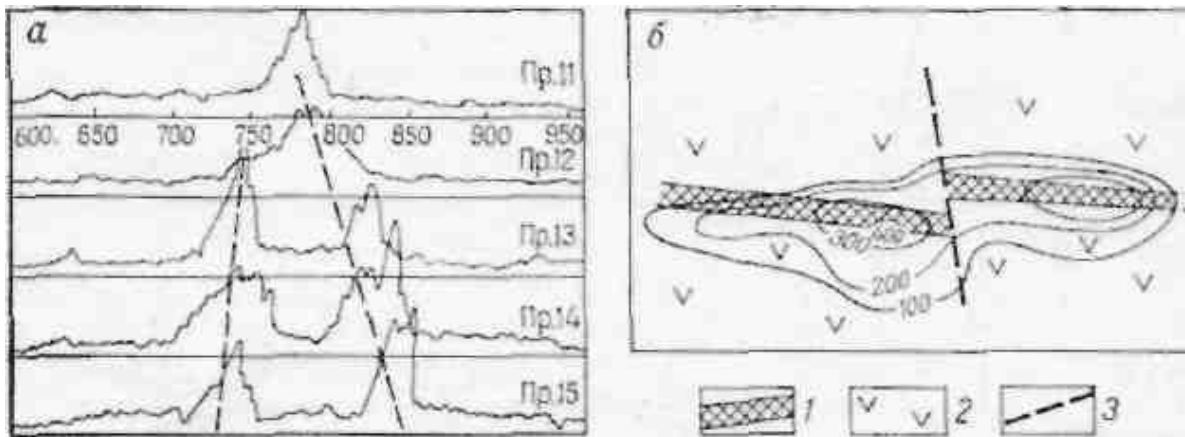
- Радиометрическую съемку широко применяют при поисках и разведке месторождений радиоактивных и нерадиоактивных руд, нефти и газа, при геологическом картировании и в *радиоэкогеологических исследованиях*.
- *Задачи картирования и геохимического районирования.*



- Радиогеохимическая карта хорошо обнаженного участка горного района по результатам вертолетной гамма-съемки I- геологическая основа: 1-филлитовые сланцы, 2-песчаники, 3- гранодиориты, 4- монцититы, 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).

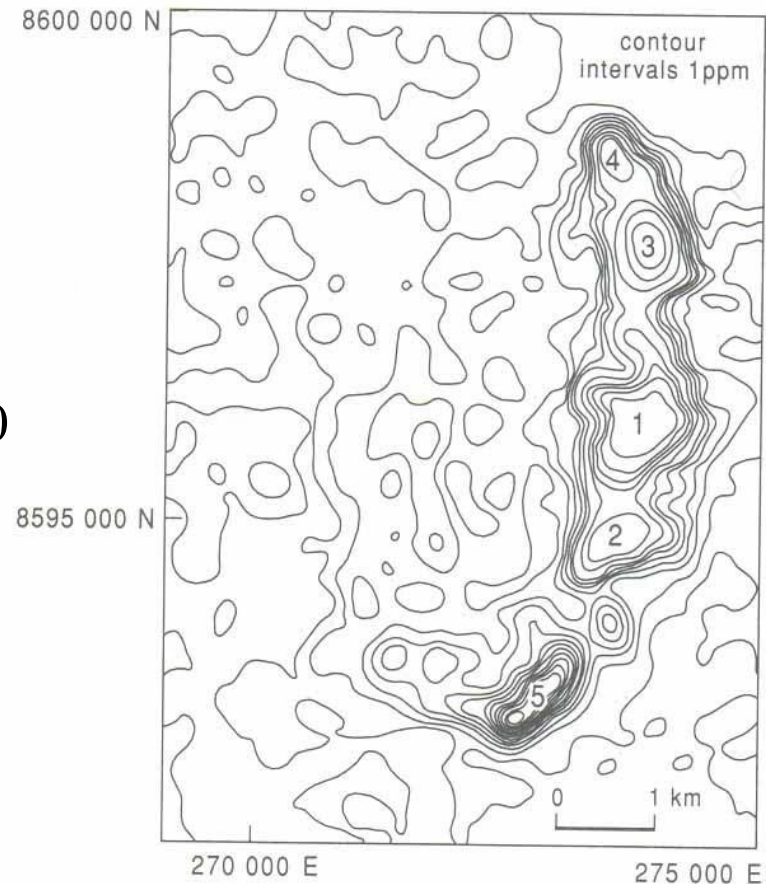


Figure 16.5 Airborne survey of uranium orebodies, Ranger, Australia.