

ИНГГ СО РАН

Лаборатория естественных геофизических полей

П.Г.Дядьков

**Тектономагнитный метод
мониторинга напряженного состояния земной коры
и его использование
в Байкальском регионе и на Алтае.**

2009

Терминология

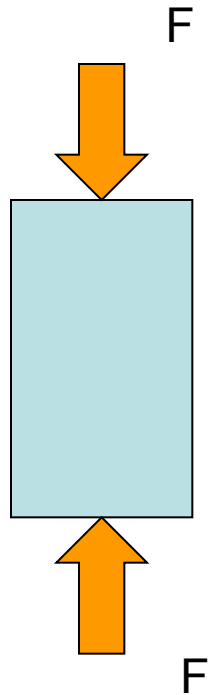
Тектономагнетизм – комплекс явлений в земной коре, вызывающих изменения постоянного магнитного поля и обусловленных геодинамическими и сейсмическими процессами:

пьезомагнитные (магнитоупругие) эффекты – явление изменения намагниченности при его деформации - эффект, обратный магнитострикции.

электрокинетические эффекты – возникновение электрического тока и, как следствие, магнитных эффектов при просачивании флюидов сквозь твердую матрицу горных пород.

Физический механизм магнитоупругого эффекта

Капица С.П., 1955



$$C = 1/\chi_0 \, d\chi/d\sigma;$$

где

C – магнитоупругий (пьезомагнитный) коэффициент;

χ_0 – магнитная восприимчивость образца горной породы до приложения нагрузки сжатия;

$d\chi$ – изменение магнитной восприимчивости под действием одноосной сжимающей нагрузки на образец в направлении действия этой нагрузки;

В перпендикулярном направлении:

$$C_{\perp} = -0.5 C_{\parallel}$$

История развития метода в нашем Институте

В конце 60-х годов прошлого столетия был предложен новый подход к изучению пьезомагнитного эффекта горных пород, который существенно повышал информативность тектономагнитного метода:

Фотиади Э.Э., Каратаев Г.И., Ларионов В.А., Черемисин В.Г.

К изучению пьезомагнитного эффекта реакции магнитовозмущающих тел на изменения напряжений в земной коре // Доклады АН СССР, 1969, т.187, № 6, с. 1282 – 1284.

Кто работал по этой теме:

В.А. Ларионов

О. Федотова

В.Г. Черемисин

Н.А. Маркевич

П.Г.Дядьков

Д.А. Нагорский

О.А. Михеев

В. Храненко

Аппаратурные разработки:

Д.А. Нагорский (ИГиГ СО РАН), М.А.Федотов (ИК СО РАН),
С.Максимовских (ИГФ Уро РАН), Г.К. Жиров (Казгеофизприбор),
В.П.Пак (Санкт-Петербург)

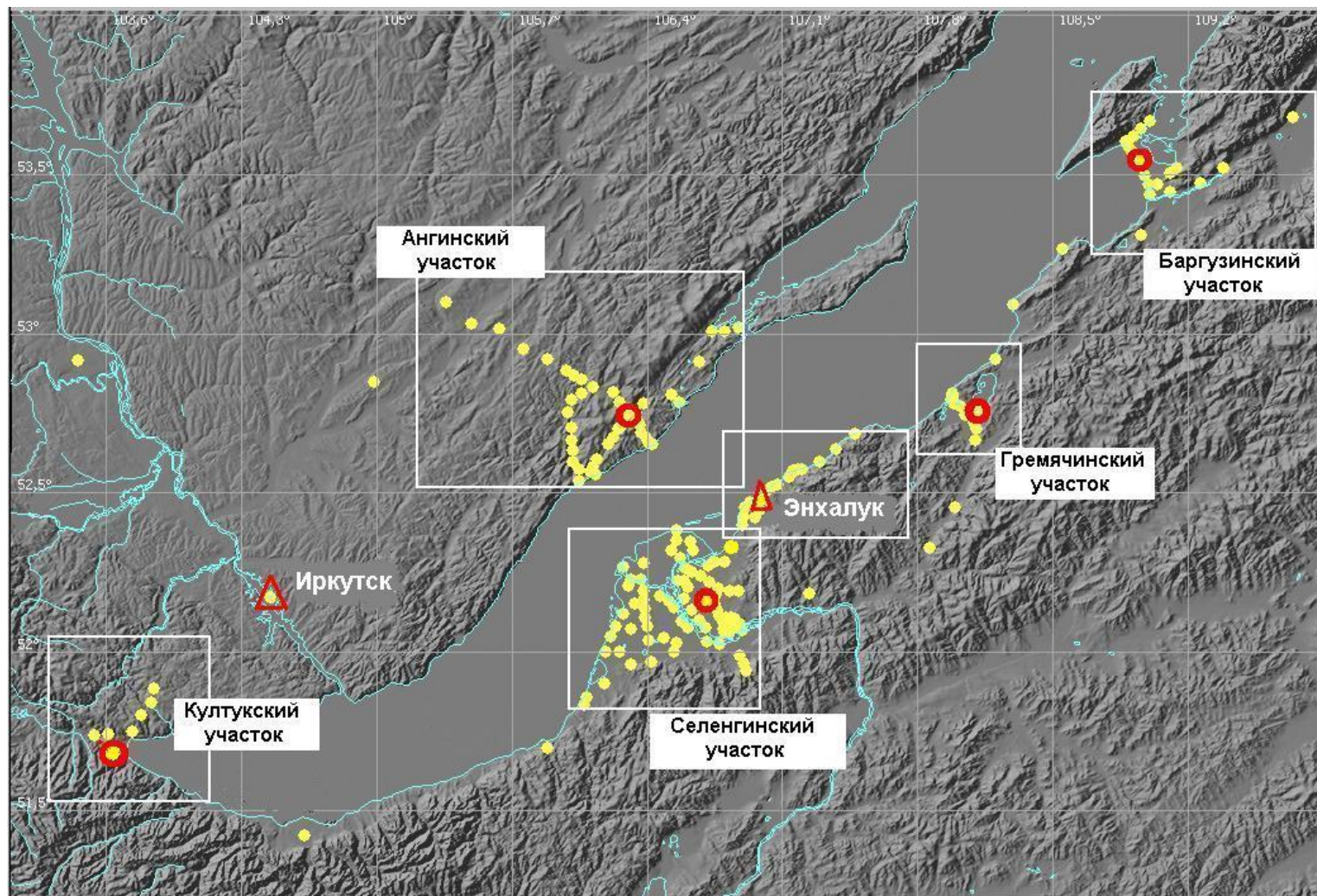


Схема сети пунктов тектономагнитных наблюдений на Байкальском геодинамическом полигоне с указанием участков. Рядовые пункты обозначены желтыми кружками, базовые пункты участков – красными кружками, магнитные обсерватории – треугольниками.

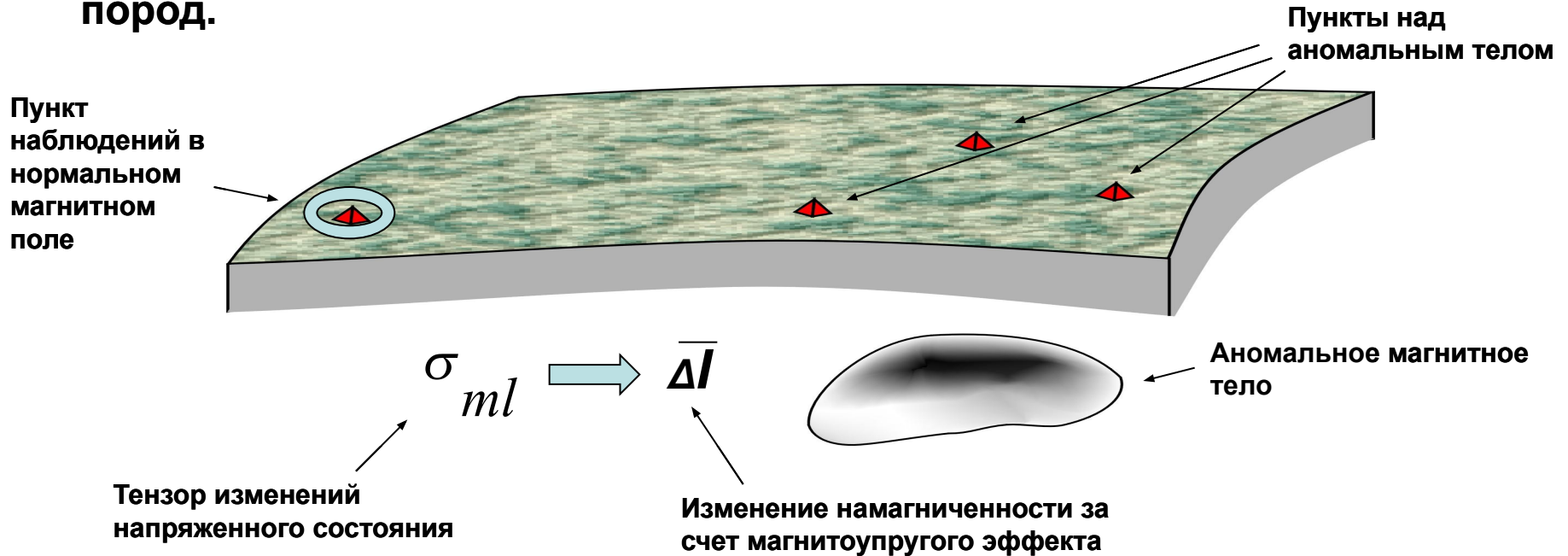
Подходы к решению обратной задачи магнитоупругого эффекта горных пород.

Основной трудностью при решении обратной задачи магнитоупругого эффекта горных пород является то обстоятельство, что в нашем распоряжении имеется **система линейных уравнений** (полученная на основе магнитных наблюдений), **состоящая только из 3-х уравнений**, в то время как **число неизвестных значений компонент тензора, характеризующего изменение напряженного состояния, равно шести**.

Подходы к решению:

- изменение поляризации намагничивающего поля (искусственные или естественные источники);
- проведение наблюдений над аномальными телами, направление вектора остаточной намагниченности у которых различно;
- использование дополнительных знаний об ориентации осей главных напряжений.

Подходы к решению обратной задачи магнитоупругого эффекта горных пород.

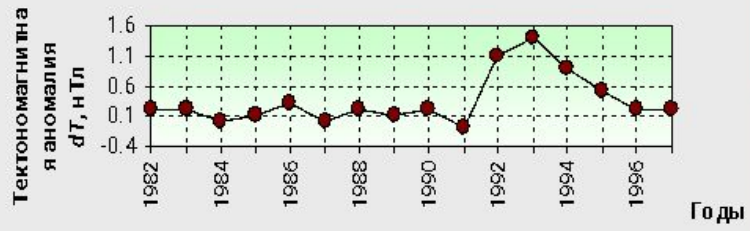


Предложена и реализована методика наблюдений и алгоритмы обработки, позволяющие найти $\Delta I/k$ (при условии однородной намагниченности аномального тела и однородных изменениях компонент тензора напряжений в нем), выполняя векторные наблюдения магнитного поля в одном из пунктов над аномальным телом, либо проводя модульные наблюдения в 3-х пунктах.

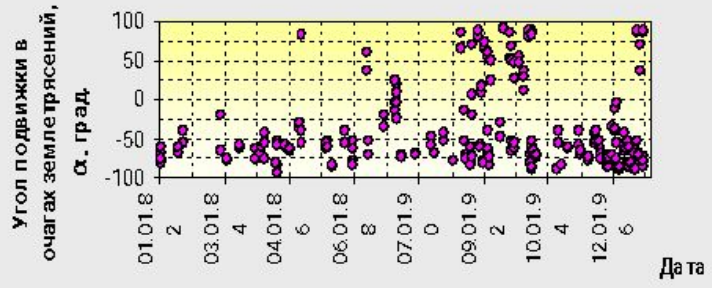
Проверка условия однородности – проведение наблюдений в дополнительных пунктах.

Дополнительное условие для случая значимой остаточной намагниченности - определение фактора Кенигсбергера – Q .

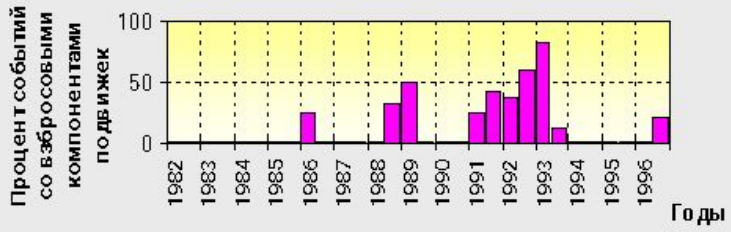
а



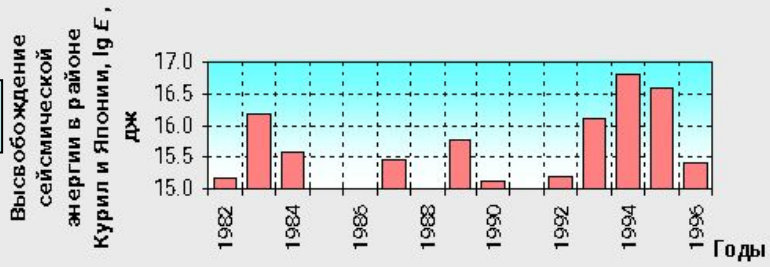
б



в



г



Пример использования тектономагнитного метода для выявления региональных изменений напряженного состояния в земной коре

- эпизода преобладания близгоризонтального сжатия в Байкальской рифтовой зоне в 1992 - 1993 г.г. в результатах комплексного мониторинга напряжений и деформаций (а, б, в) и развитие сейсмического процесса вблизи восточных границ Амурской плиты (г):

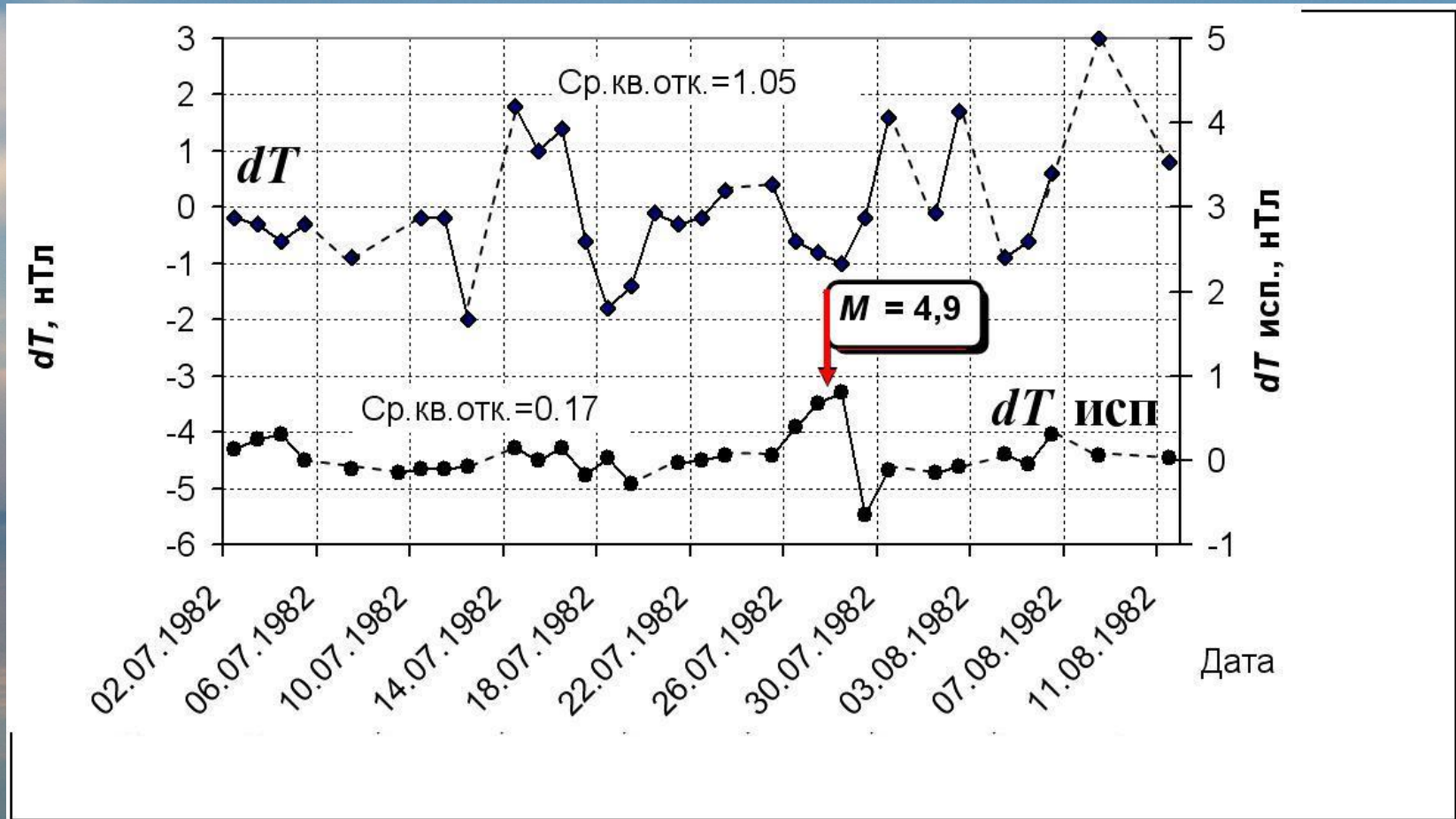
(а) - изменение модуля полного вектора магнитного поля в юго-восточной части Селенгинской депрессии в 1982-1997 годах по данным, осредненным по 5-ти пунктам. Интерпретация – увеличение близгоризонтального сжатия на основе магнитоупругого механизма;

(б) - изменение типа подвижки в очагах землетрясений Байкальской рифтовой зоны в 1982 - 1996 годах по данным об изменении угла подвижки, отрицательные значения – решения со сбросовыми компонентами подвижек, положительные – со взрывовыми;

(в) - изменение со временем процента землетрясений в Байкальском регионе, имеющих взрывовые компоненты подвижек в очаге;

(г) - высвобождение сейсмической энергии в 1982-1996 г.г. в районе Японии, Южных Курил и Сахалина для событий с $M_s > 6.0$.

Пример тектономагнитной аномалии, сопровождающей землетрясение



Изменение аномального магнитного поля в июле - августе в пункте № 3 на Никольской магнитной аномалии относительно пункта Быково, расположенного в нормальном магнитном поле. Верхняя кривая (dT) получена обычным способом - взятием разности синхронных значений; нижняя кривая (dT исп) получена путем исключения из dT ориентационных и индуктивных эффектов. Стрелкой обозначено землетрясение с $M = 4.8$, произошедшее 27.07.82 г. в 30 - 35 км от пунктов наблюдений.

Заключение

1. Разработана методика тектономагнитных наблюдений в аномальных магнитных полях, ориентированная на мониторинг напряженного состояния земной коры.
2. Предложены способы решения обратной задачи магнитоупругого эффекта горных пород.
3. С использованием магнитоупругой модели выполнена интерпретация ряда тектономагнитных аномалий, наблюдавшихся перед умеренными и сильными землетрясениями.
4. Разработано программное обеспечение для обработки первичных данных магнитных наблюдений – пакет MIES и для 3D интерпретации тектономагнитных аномалий – пакет Piezomag.
5. Анализ зарегистрированных тектономагнитных аномалий и результаты их интерпретации свидетельствуют:
 - о возможности контроля за изменениями напряженного состояния земной коры, вызванных региональными процессами;
 - при сильных и умеренных землетрясениях не во всех, но в большинстве случаев, регистрировались тектономагнитные аномалии при условии относительно близкого расположения их очагов от пунктов наблюдений – на расстоянии, как правило, до $5L$, где L – размер разрыва в очаге;
 - результаты интерпретации тектономагнитных аномалий, зарегистрированных перед землетрясениями, свидетельствуют о падении максимальных касательных напряжений на последнем этапе подготовки землетрясений, как правило, за несколько дней до главного события;
 - выполненные количественные приближенные оценки изменений напряженного состояния находятся в пределах от десятых долей до ~ 3 МПа.