

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра Геофизики

«Мониторинг трещинообразования методом
магнитотеллурических зондирований»

название темы выпускной квалификационной работы полужирным шрифтом

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 5 курса 501 группы
направления (специальности) 05.03.01 Геология
код и наименование направления (специальности)
 геологического факультета Саратовского
 национального исследовательского государственного университета
 имени
 Н.Г. Чернышевского
наименование факультета, института, колледжа
 Логинова Александра Алексеевича
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

 доктор физ.-мат. наук, профессор
должность, уч. степень, уч. звание/дата, подпись

 В. П. Губатенко
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

 кандидат геол.-мин. наук, доцент
должность, уч. степень, уч. звание/дата, подпись

 Е.Н. Волкова
инициалы, фамилия

Саратов 2016 год

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг — комплексная система регламентированных периодических наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния природной среды с целью выявления изменений и выработки рекомендаций по их устранению или ослаблению.

В данной бакалаврской работе рассмотрен мониторинг трещинообразования методом магнитотеллурических зондирований.

Целями настоящей работы являются:

1. Исследование зависимости электропроводности горных пород от доли трещин и их заполнения в процессе разуплотнения высокоомным или низкоомным флюидом;
2. Решение задачи магнитотеллурических зондирований для двух моделей трещиноватой четырехслойной горизонтально-слоистой среды, при разных углах наклона плоскостей напластования к оси OZ ;
3. Изучение эффективности мониторинга динамики разуплотнения горных пород методами магнитотеллурических зондирований.

В качестве примера мониторинга использованы работыопределения строения участка в зоне главного сейсморазрыва Чуйского землетрясения, а также анализы вариаций электропроводности и электрической анизотропии методами постоянного тока. Рассмотрен сейсмический мониторинг на побережье Копорской губы, проведенный комплексными геофизическими исследованиями.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Бакалаврская работа посвящена применению метода магнитотеллурических зондирований для обнаружения трещинообразования горных пород.

В первом разделе, **образование и развитие разрывных нарушений и трещин**, данной работы были изучены вопросы процессы разуплотнения горных пород, исследования избыточного давления. Так же в данной главе рассмотрена дилатационная модель разуплотнение пород, предполагающей внедрение в изначально дилатансионную зону высоконапорных флюидов, поступающих из нижележащих толщ. В результате расширяются трещины и увеличивается доля пространства, насыщенного флюидами. При дилатации может также возрастать пористость изначально уплотненных не нарушенных трещиноватостью горных пород. В любом случае при разуплотнении горных пород изменяются макроскопические свойства среды, в том числе электропроводность. Прогноз изменений трещинно-порового пространства составляет основную цель мониторинга динамики разуплотнения методами электроразведки

Во втором разделе бакалаврской работы, **теоретических основ метода магнитотеллурических зондирований**, описаны физические основы, методика полевых наблюдений и область применения магнитотеллурических зондирований.

В разделе 3, **мониторинга трещинообразования**, на примерах Копорской губы и юго-западной части Чуйской впадины, был рассмотрен геофизический мониторинг трещинообразования.

В подразделе 3.1, **мониторинга геофизических разрезов как основы оценки устойчивости грунтов**, описывается установка системы геофизического мониторинга на побережье Копорской губы, что является первоочередной задачей для обеспечения безопасности строительства новых и функционирования имеющихся промышленных объектов (Ленинградская

атомная электростанция (АЭС), предприятия по переработке и хранению радиоактивных отходов и т.д.). Слабые землетрясения обычно не представляют опасности для зданий и сооружений. Однако для АЭС и других стратегически важных объектов, слабые землетрясения могут привести к катастрофам, плотность которых очень высока, а вероятность попадания эпицентра слабого землетрясения на территорию сооружения и частота проявления таких землетрясений достаточно велики.

Геофизические исследования, выполненные на акватории и побережье Финского залива, свидетельствуют о существовании современных геодинамических процессов, которые могут привести к разжижению грунтов верхней части разреза (ВЧР). Для объяснения процесса разжижения было предложено восстанавливать историческую структуру, претерпевшую последующее опускание с выделением грязи и газа. Анализ был выполнен по геоэлектрическим разрезам, полученным в результате радиолокационного зондирования ВЧР. Для оценки состояния мест разрыва контролирующего ВЧР горизонта в разрезе, была выполнена съемка методом сверхдлинноволновых радиостанций. В зонах предельно напряженных участков разреза, в которых, судя по разрезам, происходит разрушение, в связи с геодинамическими процессами следует с осторожностью производить земляные работы, чтобы не вскрыть находящиеся под нагрузкой жидкие отложения и не спровоцировать опасные процессы.

В работе, рассмотренной в подразделе 3.2, **мониторинг и геоэлектрическое строения юго-западной части Чуйской впадины по данным вертикального электрического зондирования**, показаны результаты исследований методами вертикального электрического зондирования, электротомографии, выполненных в западной части Чуйской впадины Горного Алтая. Работы проведены в области наиболее близкой к эпицентру разрушительного Чуйского землетрясения долине реки Чаган, в устье которой расположен поселок Бельтир, наиболее пострадавший от последствий землетрясения. Построены детальные геоэлектрические модели

участка. Измерения ВЭЗ были начаты в 2004 году и продолжаются в настоящее время. Каждый год выполняются новые измерения методами ВЭЗ для уточнения строения. Кроме того, существует целый ряд режимных пунктов, измерения в которых повторяются ежегодно. Целью данной работы является определение строения участка в зоне главного сейсморазрыва Чуйского землетрясения, а также анализ вариаций электропроводности и электрической анизотропии для оценки процессов консолидации геологического массива горных пород после сильного сейсмического воздействия. В трещиноватой зоне выполнены круговое и крестовое вертикальное электрическое зондирование. Здесь же были проведены профильные измерения с шагом 250 метров и с шагом 500 метров. Обоснована методика проведения полевых наблюдений для изучения анизотропии геологического объекта методами постоянного тока. Математическое моделирование показало, что разрыв сплошности горных пород и образование в них трещин приводит к значительному изменению эффективной электропроводности даже при появлении их незначительного количества. Это обстоятельство и является теоретическим обоснованием методики прогноза развития трещиноватости в среде на основе классических методов электроразведки.

В 4 разделе, **расчет кривых МТЗ в присутствии макроанизотропной среды с различными углами напластования**, исследована зависимость электропроводности горных пород от доли трещин и их заполнения в процессе разуплотнения минерализованной водой или газом (нефтью). Решена задача магнитотеллурических зондирований для двух моделей трещиноватой четырехслойной горизонтально-слоистой среды. Показана возможность мониторинга динамики разуплотнения горных пород методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ). Доказано, что разрыв сплошности горных пород и образование в них трещин, приводит к значительному изменению эффективной электропроводности даже при ничтожной доле трещин в среде. Это обстоятельство открывает перспективу

для прогноза динамики развития трещиноватости в среде на основе классических методов электроразведки.

В качестве примера, иллюстрирующего возможности методов для электроразведки для мониторинга динамики разуплотнения горных пород, рассмотрена в прямоугольной декартовой системе координат x, y, z четырехслойная модель немагнитной ($\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м) среды, рисунок 1.

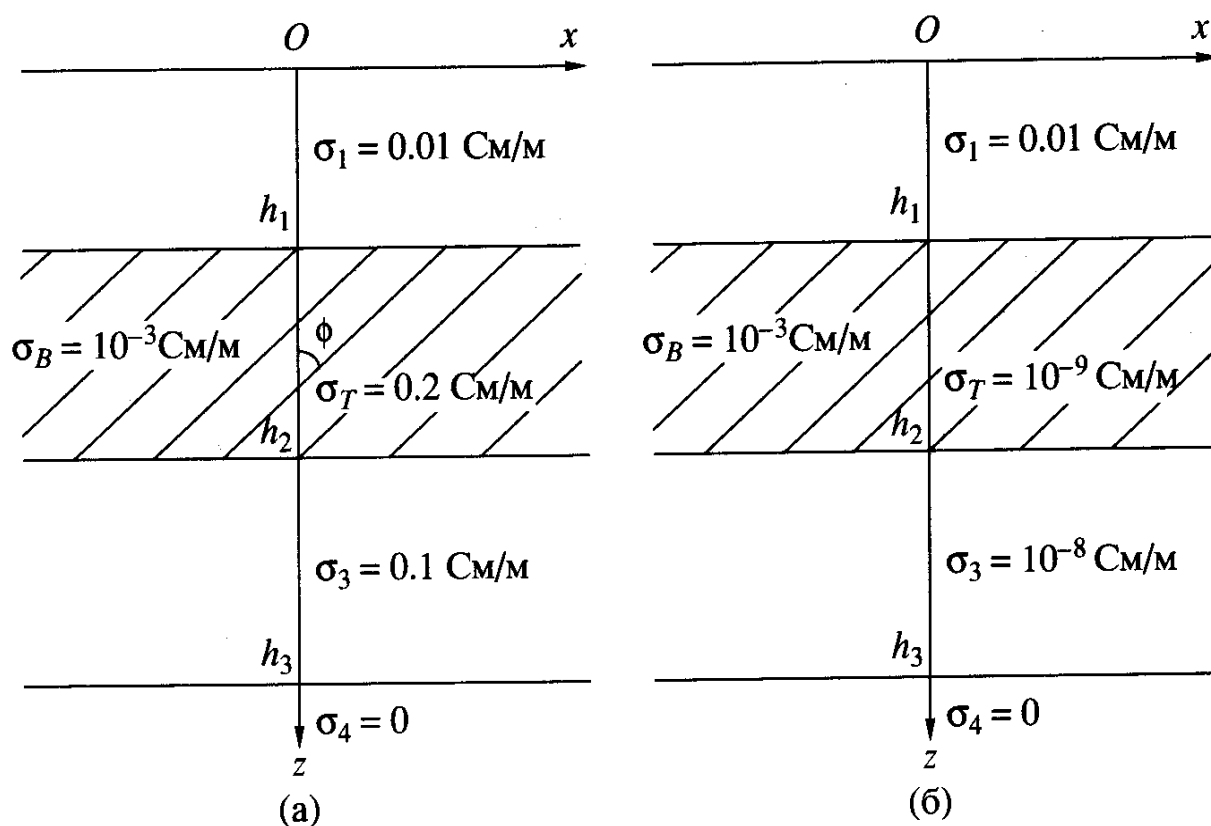


Рисунок 1 - Модели разуплотненных структур: трещиноватый 2-й слой заполнен минерализованной водой (а), нефтью или газом (б).

Верхнее полупространство ($z < 0$) в этой модели непроводящее ($\sigma_0 = 0$). Первый слой ($0 < z < h_1$) - однородный изотропный проводник электропроводности σ_1 . Второй слой ($h_1 < z < h_2$) - макроанизотропный, определенный тензором электропроводности $\hat{\sigma}$. Его анизотропия вызвана

тем, что в нем (первоначально изотропном электропроводности σ_B) образовались трещины, ориентированные вдоль оси OY, наклоненные под углом Φ к оси OZ и заполненные флюидом электропроводности σ_T .

Для двух вариантов четырехслойной модели среды по формуле 1, были рассчитаны в комплексе программ O2 амплитудные $\rho_k = \frac{|Z|^2}{\omega\mu}$ и фазовые

$\psi = \arg Z$ кривые магнитотеллурических зондирований, где

$$Z = \frac{E_x^{(1)}(0)}{H_y^{(1)}(0)} = -\frac{i\omega\mu}{k_1} R; R = \operatorname{cth} \left\{ k_1 H_1 + \operatorname{arcth} \left[\frac{k_1}{k_2} \operatorname{cth} \left(k_2 H_2 + \operatorname{arcth} \left(\frac{k_2}{k_3} \operatorname{cth} k_3 H_3 \right) \right) \right] \right\};$$

$H_1 = h_1, H_2 = h_2 - h_1, H_3 = h_3 - h_2$ – мощности 1, 2 и 3 слоев соответственно;

$$k_j^2 = i\omega\mu\sigma_j; \operatorname{Re} k_j > 0, \quad j = 1, 2, 3; \sigma_2 = \frac{\sigma_\tau \sigma_n}{\sigma_n \sin^2 \Phi + \sigma_\tau \cos^2 \Phi}.$$

В обоих вариантах $H_1 = 50\text{м}, H_2 = 5000\text{м}, H_3 = 5000\text{м}, \sigma_1 = 10^{-2}\text{СМ/м}, \sigma_B = 10^{-3}\text{СМ/м}$. Однако в первом случае третий слой низкоомный ($\sigma_3 = 10^{-1}\text{СМ/м}$), а во втором случае высокоомный ($\sigma_1 = 10^{-8}\text{СМ/м}$). Как в том, так и в другом случаях трещины во втором слое заполняются флюидом, поступающим из третьего слоя. В первом варианте $\sigma_T = 0.2\text{СМ/м}$, что соответствует минерализованной среде, а во втором случае – трещины заполняются высокоомным флюидом (газом или нефтью) и поэтому $\sigma_T = 10^{-9}\text{СМ/м}$ [33].

С этой целью был изучен комплекс программ O2.EXE, проведен расчет амплитудных и фазовых кривых магнитотеллурических зондирований для двух моделей четырехслойной анизотропной геоэлектрической среды. В первой модели второй трещиноватый слой заполняется низкоомным флюидом, а во второй – высокоомным. Расчеты кривых магнитотеллурических зондирований были произведены для разных углов наклона плоскостей напластования к оси OZ ($\Phi = 90^\circ, \Phi = 45^\circ$ и $\Phi = 0^\circ$) и для

различных значений α , отношения занимаемого трещинами объема к общему объему.

Некоторые результаты расчетов показаны на рисунках 2 и 3, соответствующих моделям разуплотненных сред, изображенных на рисунках 1а и 1б.

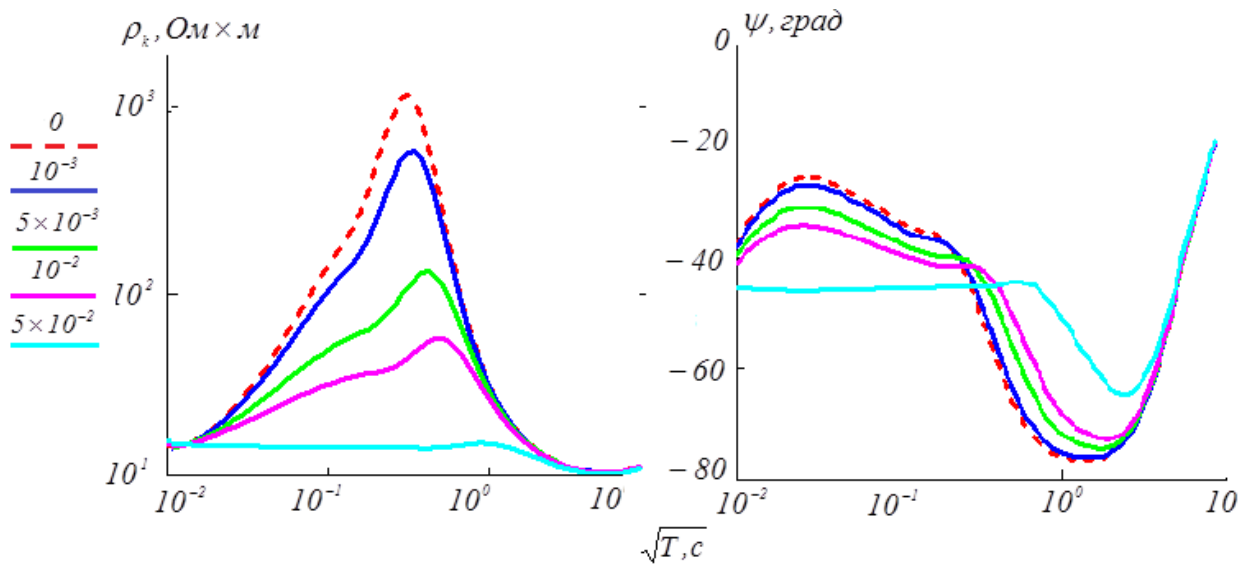


Рисунок 2 - Амплитудные и фазовые кривые МТЗ для трещиноватого слоя, заполненного минерализованной водой, угол $\varphi = 90^\circ$. Шифр кривых α .

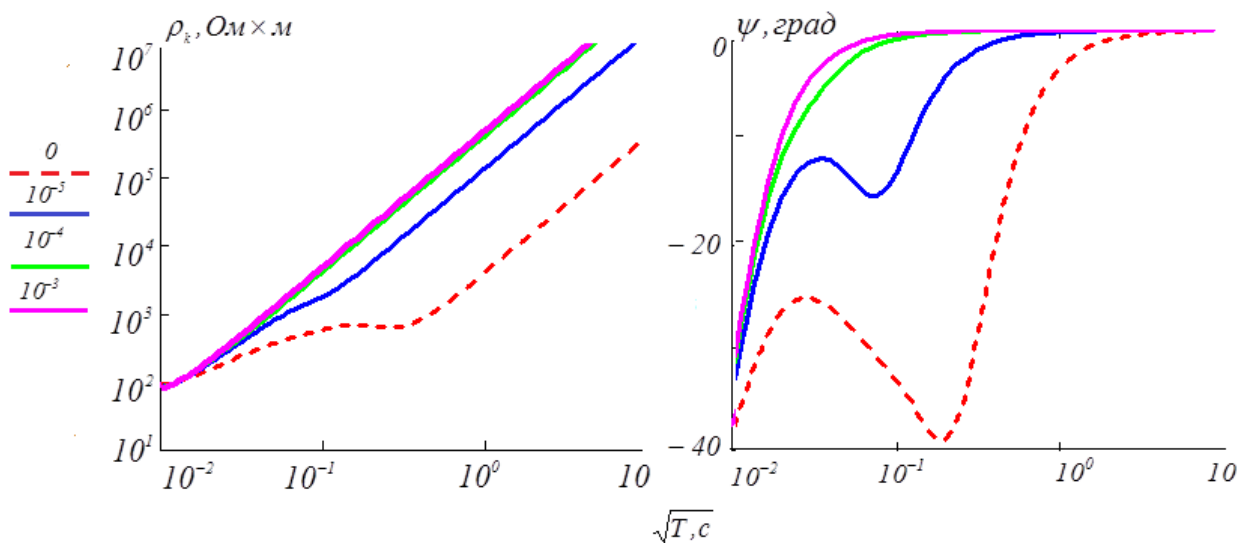


Рисунок 3 - Амплитудные и фазовые кривые МТЗ для трещиноватого слоя, заполненного нефтью или газом, угол $\varphi = 0^\circ$. Шифр кривых α .

Именно прослеживание изменений электромагнитных полей с незначительными и, очевидно, медленными процессами трещинообразования, как следствия напряженно-деформируемых состояний горных пород, и является основной целью прогноза динамики разуплотнения. В отличие от первого варианта модели четырехслойной среды, с увеличением доли α трещин различие кривых МТЗ становится все менее заметным, а процесс раннего трещинообразования хорошо определяется как по амплитудным, так и по фазовым кривым.

Показано, что методом магнитотеллурических зондирований удастся определить самые ранние этапы образования трещин. Это открывает возможность применения магнитотеллурических зондирований для проведения мониторинга трещинообразования в сейсмически активных регионах и в зонах повышенной техногенной опасности (атомных станциях, подземных газовых хранилищах и т.д.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Эффективная электропроводность горных пород может заметно изменяться при возникновении в них относительно малой доли трещин.
2. При заполнении трещин высокоомным флюидом прогноз раннего трещинообразования методами электроразведки возможен для напряженности электрического поля, ориентированной поперек направления трещин, а при заполнении низкоомным флюидом – вдоль.
3. Если трещины наполняются высокоомным флюидом, то изменение электромагнитного поля может быть замечено на ранних этапах трещинообразования, при 0,001% доле трещин. С увеличением доли трещин изменения электромагнитного поля становится менее значимым. В случае же заполнения трещин низкоомным флюидом (например, минерализованной водой) изменение электромагнитного поля наиболее заметно при более 0,1% трещин во вмещающей среде.