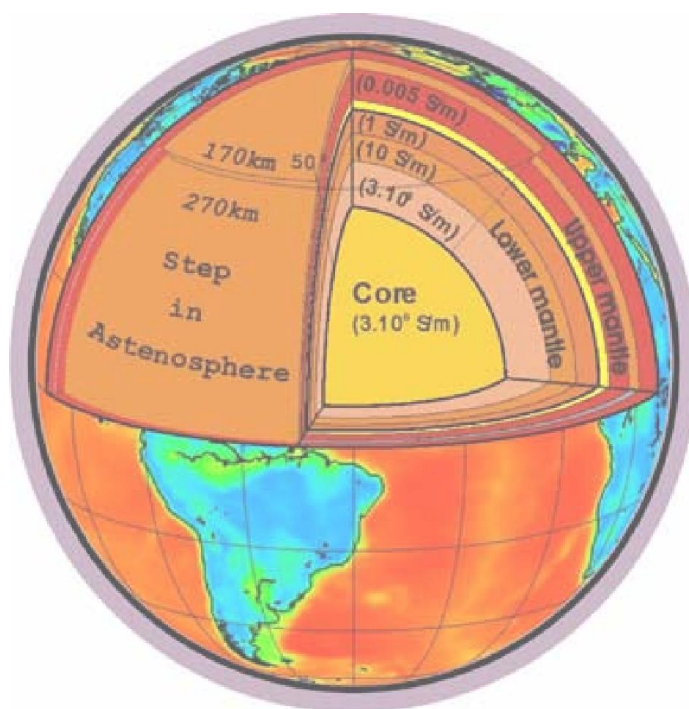




КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДРЕВНИХ ЩИТОВ

Труды Всероссийской (с международным участием)
научной конференции



*Посвящается 50-летию
лаборатории региональной геофизики*

Апатиты 2009

УДК 550.31

Комплексные геолого-геофизические модели древних щитов

Труды Всероссийской (с международным участием) научной конференции.

г. Апатиты, 28–30 сентября 2009 г.

– Апатиты: Геологический институт КНЦ РАН. 2009. – 284 с.

В сборнике приведены результаты изучения глубинного строения и геодинамики литосферы Фенноскандинавского (Балтийского) и других щитов геолого-геофизическими методами. Рассмотрены актуальные проблемы интерпретации потенциальных методов геофизики, сейсморазведки и геоэлектрики в комплексе с геологией и сверхглубоким бурением при моделировании строения литосферы и при ведении горных работ.

Главный редактор – **Ю.Л. Войтеховский**

Редакционная коллегия: **А.А. Жамалетдинов, А.Б. Раевский, В.В. Балаганский, А.Н. Шевцов, Ф.Ф. Горбачевич, Т.Г. Короткова** – секретарь

Подготовка материалов и макетирование: **Т.А. Багринцева, Н.А. Мансурова, А.А. Тележкин, Л.Д. Чистякова**

Фоторепортаж: **А.Д. Токарев, А.Н. Шевцов**

Акустополаризационные эффекты горных пород

М.В. Ковалевский

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты

Для решения многих фундаментальных проблем по изучению строения земной коры и прикладных задач (оценка устойчивости стволов скважин и горных выработок, сейсмическое изучение глубин и напряженного состояния горных массивов) необходимы знания об упругих свойствах горных пород. Наиболее информативными на сегодняшний день являются методы определения упругих характеристик породы с использованием поляризованных акустических волн ультразвукового диапазона. В таких неоднородных средах как горные породы упругие свойства определяются характеристиками минералов, степенью упорядоченности их в пространстве горной породы и наличием предпочтительных ориентировок минеральных зерен.



Рис. 1. Автоматизированный программно-аппаратный комплекс для изучения физических свойств упруго-анизотропных сред с использованием акустополаризационного метода.

В неоднородных материалах скорость и амплитуда поперечных акустических волн непосредственно зависят от пространственного положения элементов упругой симметрии. Исследования разных ученых с применением различного оборудования показали, что видимая симметрия породы (текстура, структура) не всегда соответствует положению плоскостей или осей упругой симметрии. Для выявления пространственного положения элементов упругой симметрии нами предложен акустополаризационный метод [3]. В этом методе регистрируются амплитуды прошедших через образец квазипоперечных ультразвуковых волн при разной ориентации вектора линейной поляризации излучателя и приемника (параллельной - ВП и скрещенной - ВС). Для повышения точности измерений, чувствительности метода, а также производительности работы был разработан новый автоматизированный программно-аппаратный комплекс (рис. 1). В его состав входят ультразвуковой дефектоскоп УД2-12, акустополарископ, контроллер передачи данных, частотомер и компьютер с программным обеспечением «Acoustpol ©» [5]. Наиболее подробно методика проведения измерения описывается в работах [4, 5–7].

Проводя измерения горных пород с использованием акустополаризационного метода, становится возможным определение различных явлений и эффектов, которые проявляются при распространении сдвиговых линейно-поляризованных волн в упруго-анизотропных средах (рис. 2). Наиболее известные из них приводятся ниже.

Явление упругой анизотропии (УАН) [3]. Проявляется в средах, упругие свойства которой отличаются в различных направлениях. При этом поляризованные сдвиговые волны распространяются вдоль направлений элементов симметрии (акустических осей) анизотропных сред. Явление упругой анизотропии наблюдается наличием четырех и более лепестковой фигуры на акустополариграмме ВС (рис. 2с). Чаще всего фактором, формирующим упругую анизотропию породы, являются напряжения, в особенности, если эти напряжения действуют в земной коре в течение длительного (геологического) времени [4]. Переход горной породы в анизотропное состояние происходит под воздействием палеонапряжений и деформаций в процессе структурно-метаморфической эволюции метаморфических комплексов. Явление возникает в анизотропных средах с различным типом упругой

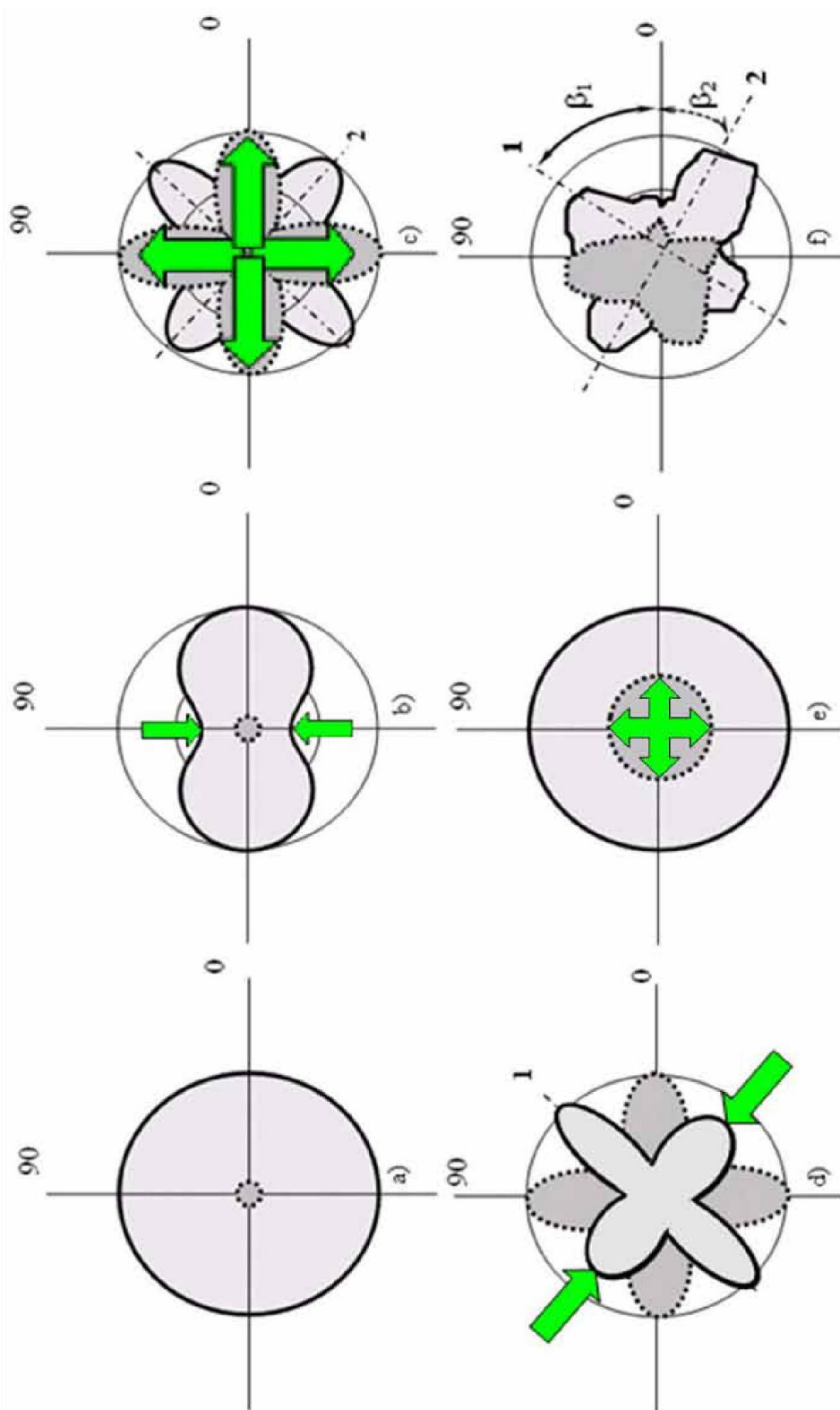


Рис. 2. Эффекты и явления, возникающие при распространении упругих волн в горных породах. Акустопольяграмма образца (сплошная линия – векторы параллельны; пунктирная линия – векторы скрещены; 1, 2 – проекции элементов симметрии; β_1 , β_2 – углы между направлениями проекций элементов симметрии и гранью образца):

- a) – изотропный образец;
- b) – изотропный образец с проявлением эффекта ЛААП;
- c) – анизотропный образец;
- d) – анизотропный образец с проявлением эффекта ЛААП;
- e) – образец с проявлением эффекта деполаризации сдвиговых волн (ДСВ);
- f) – реальный анизотропный образец с проявлением эффекта ЛААП.

симметрии, к которым относятся горные породы и породообразующие минералы. Наблюдается у минералов, а также регистрируется в изверженных, метаморфических и осадочных породах [8, 9].

Эффект линейной акустической анизотропии поглощения (ЛААП) [4]. Эффект отражает способность различным образом поглощать пучок сдвиговых линейно-поляризованных колебаний при повороте его вектора поляризации относительно структурных элементов среды (рис. 2d). При этом, как правило, наибольшее поглощение поляризованного света наблюдается в случае, когда вектор поляризации направлен по перпендикуляру к линейно вытянутым структурным элементам среды. Эффект ЛААП проявляется наиболее значимо в изменении конфигурации акустополяриграмм, полученных в положении ВП излучателя и приемника. По мере увеличения разности фазы в пределах $0-\pi$ акустополяриграмма ВП анизотропного образца становится более вытянутой, на ней появляются дополнительные минимумы. При этом, направления «наибольшего пропускания» и, соответственно, наибольшие диаметры акустополяриграмм ВП на соседних гранях будут направлены друг на друга и укажут пространственное положение плоскостных элементов. На грани, параллельной плоскостным элементам, будут зарегистрированы акустополяриграммы ВП, близкие к изометрическим. Эффект ЛААП объясняется наличием спайности в минералах и по своей физической сущности аналогичен эффекту плеохроизма (дихроизма) проявляемого в области оптических явлений [1]. Эффект позволяет: оценить степень слоистости исследуемой среды; выявить направления наибольшего и наименьшего пропускания сдвиговых волн. Он возникает в текстурированных, слоистых, с линейной текстурой средах, в которых наблюдается правильное чередование одних элементов, вытянутых в определенном направлении, с другими. Эффект ЛААП зарегистрирован в образцах природных силикатных минералах (амфибол, ортоклаз, микроклин, турмалин, кунцит, кордиерит и др.). Впервые эффект обнаружен в породах нижней части разреза Кольской сверхглубокой скважины [2]. Его наличие зарегистрировано в 90% от числа образцов пород из интервала глубин 4.5–12.06 км [3]. Особенности явления является зависимость степени проявления эффекта ЛААП от частоты ультразвуковых волн (дисперсия). Например, в микроклине, также как и в ортоклазе, при одной частоте наибольшее поглощение происходит на структурных элементах одной спайности, при другой – на элементах другой. Проявление ЛААП в массивах пород при проведении геофизических работ может приводить к существенному поглощению одной из компонент поперечных волн в волновом поле [4].

Явление углового несогласия (УНС) между направленностью элементов симметрии УАН и ЛААП [4]. Пространственное положение элементов симметрии упругой анизотропии и линейной акустической анизотропии поглощения в твердых телах может и не совпадать, так как эти явления имеют разную физическую природу. Признаком наличия УНС между элементами симметрии ЛААП и упругой анизотропии является неравенство размеров и площади лепестков акустополяриграммы ВС. При этом наблюдается ассиметричность акустополяриграмм при ВП и ВС. Явление объясняется несоответствием между слоистыми, линейными текстурами среды и элементами упругой симметрии. Позволяет оценить угол этого несоответствия. Возникает в средах, в которых пространственное положение элементов упругой симметрии и ЛААП не совпадает. При этом преимущественное направление микротрещин не совпадает с преимущественной ориентацией кристаллоупругих осей минеральных зерен.

Эффект деполяризации сдвиговых волн (ДСВ) [4]. Проявление эффекта состоит в том, что при распространении поляризованных сдвиговых волн, например, в средах с разноориентированными минеральными зернами, происходит деполяризация этих волн. Это явление диагностируется в том случае, когда зарегистрированные минимумы амплитуд на акустополяриграмме ВС либо велики, либо совсем не выделяются (рис. 2е). Проявление эффекта ДСВ можно объяснить веерным распределением ориентации кристаллоупругих элементов симметрии в минеральных зернах, слагающих породу. Сопровождается изменением степени поляризации цугов сдвиговых волн (увеличение эллиптичности сдвиговых волн или деполяризации). Явление позволяет оценить угол между элементами упругой симметрии в разных зернах (слоях) моно- и полиминеральных горных пород. Эффект ДСВ возникает при распространении сдвиговых волн через среды, состоящие из слоев или зерен, слагающих, например горную породу, в которых наблюдается разная ориентировка элементов упругой симметрии. Также может наблюдаться в слоистых средах, если в слоях ориентация элементов симметрии материала не будет совпадать. Явление зарегистрировано в образцах песчаника, андезито-базальтового туфа, биотит-плагиоклазового гнейса, роговообманкового амфиболита и др. Среди минералов оно наблюдается в образце турмалина. Эффект ДСВ наблюдался в метаморфизованных архейских породах по разрезу Кольской сверхглубокой скважины.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №07-05-00100-а, Президента РФ МК-1908.2008.5.

Список литературы

1. Волкова Е.А. Поляризационные измерения. - М.: Изд-во стандартов, 1974. 156 с.
2. Горбачевич Ф.Ф. Акустополяризационный метод оценки упругой анизотропии горных пород // Геофизические и геодинамические исследования на северо-востоке Балтийского щита. Апатиты: изд-во Кольского филиала АН СССР, 1982. С. 112–124.
3. Горбачевич Ф. Ф. Акустополяризация горных пород. Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 1995. 204 с.
4. Горбачевич Ф.Ф. Акустополяризация породообразующих минералов и кристаллических пород. Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2002. 140 с.
5. Ковалевский М.В. Повышение информативности акустополяризационного метода определения упругих характеристик горных пород: автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 01.04.06, 05.11.13. СПбГЭТУ. СПб.,

2002. 16 с.

6. Ковалевский М.В. К вопросу о совершенствовании методики исследований упругих характеристик геоматериалов методом акустополарископии // Информационные материалы 12-й научной конференции: структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Сыктывкар: Геопринт, 2003. С. 123–125.
7. Ковалевский М.В. Методика определения скоростных соотношений упругих волн в задачах акустополарископии // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 16-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2007. С. 69–72.
8. Невский М.В. Квазианизотропия скоростей сейсмических волн. М.: Наука, 1974. 179 с.
9. Чесноков Е.М. Сейсмическая анизотропия верхней мантии Земли. М.: Наука, 1977. 144 с.

Применение двумерного вейвлет-анализа при интерпретации геофизических данных на примере Печенгского рудного района

В.А. Любчик

ООО «Печенгагеология», Никель, lubchich@yandex.ru

Известно, что многие геологические системы, такие как, например, архейские железорудные комплексы Кольского полуострова, сети тектонических нарушений и другие, обладают иерархической структурой организации [2]. Естественно, что при проведении геофизических работ над такими структурами полученные массивы геофизических данных обладают фрактальными свойствами. Как показано в работе [1], для исследования фрактальных свойств пространственных рядов данных удобно использовать вейвлет-анализ. Этот метод более всего подходит для выявления иерархической организации среды по результатам геофизического профилирования. Вейвлетпреобразование одномерного сигнала представляет собой его разложение по базису солитоноподобных функций (вейвлетов) и обеспечивает своеобразную двумерную развертку исследуемого сигнала в физическом (координата) и частотном пространствах, при этом частота и координата рассматриваются как независимые переменные. Функция $\psi(t)$ является вейвлетом, если, во-первых, ее среднее значение (интеграл по всей оси) равно нулю, и, во-вторых, она быстро убывает при $t \rightarrow \pm\infty$. Базис, по которому раскладывается сигнал $f(t)$, конструируется из данного вейвлета $\psi(t)$ с помощью масштабных преобразований и сдвигов. Таким образом, непрерывное вейвлетпреобразование одномерного сигнала можно записать в следующем виде:

$$Wf(b, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (b, a) \in \mathbb{R},$$

где b — параметр сдвига анализирующего вейвлета вдоль координатной оси, a — масштабный параметр растяжения вейвлета. Этот параметр играет такую же роль, как период T в преобразовании Фурье. Вейвлетанализ пространственных и временных рядов данных обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению с традиционным спектральным анализом, основанном на преобразовании Фурье исследуемого сигнала.

Во-первых, вейвлетпреобразование обеспечивает хорошую частотновременную локализацию информации об особенностях сигнала. Дело в том, что базисные функции вейвлетпреобразования локализованы не только во временном пространстве, но и в частотном. При фиксированном значении параметра сдвига b мы получаем частотную развертку сигнала в окрестности данной точки. Если задан масштабный параметр a , то задана некоторая частота ω_0/a , вокруг которой локализован фурьеобраз растянутого вейвлета. Так как свертка функций во временном пространстве эквивалентна их перемножению в частотном, то из спектра анализируемого сигнала вырезается область частот, близких к ω_0/a , и мы получаем информацию о временной эволюции изучаемой функции на данных частотах. Кроме того, вейвлетпреобразование автоматически обладает подвижным частотновременным окном, с узким временным интервалом на высоких частотах (малые значения параметра a) и с широким на низких.

Во-вторых, вейвлетпреобразование более наглядно представляет полученные результаты и позволяет рассмотреть особенности сигнала на различных масштабных уровнях, динамику их изменений вдоль масштабной и координатной осей. Причем основная информация об особенностях сигнала сосредоточена в так называемом скелетоне вейвлетпреобразования — множестве точек на плоскости (b, a) , в которых находятся локальные максимумы непрерывного вейвлетпреобразования.

В-третьих, базис вейвлетпреобразования является автомодельным, так как он конструируется из одного вейвлета $\psi(t)$ посредством масштабных растяжений и сдвигов. Свойство самоподобия базисных функций позволяет успешно применять вейвлетпреобразование для анализа не только гармонических сигналов, но и сингулярных фрактальных рядов, имеющих иерархическую структуру. Для таких рядов распределение локальных максимумов (скелетон) непрерывного вейвлетпреобразования также будет иметь иерархическое строение. По скорости