

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ЕДИНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

П.Н. Александров
ЦГЭМИ ИФЗ РАН, г. Москва

STUDYING OF THE GEOLOGICAL MEDIA ON THE BASIS OF UNIFORM GEOMETRICAL CHARACTERISTICS OF GEOPHYSICAL PARAMETERS

P.N. Aleksandrov
GEMRI IRE RAS, Moscow

Аннотация. Комплексованию геофизических методов уделялось и уделяется большое внимание, как в плане практического использования, так и в плане разработки теоретических основ данного подхода. Одна из основных идей современной теории комплексирования заключается в установлении связей между физическими параметрами. Данный подход не свободен от критики, поскольку не всегда такие взаимосвязи обладают физическим смыслом. В силу этого актуальным является развитие теории комплексирования геофизических методов, которая не противоречила бы основным принципам науки, и в полной мере отвечала бы возможностям и требованиям дальнейшему развитию геофизической практики. Основная идея дальнейшего развития методологии комплексирования геофизических методов – единство проявления внутренней структуры горной породы в геометрических характеристиках, общих для всех физических параметров. Геометрическими характеристиками являются границы изменения геофизических параметров и собственные вектора тензоров макроскопических геофизических параметров горной породы. Степень упорядоченности внутренней структуры горной породы на мезоуровне выражается в тензорах ее физических параметров (анизотропии). Наиболее общие линейные материальные связи описываются тензорными соотношениями между компонентами физических полей. Собственные значения тензоров макроскопических геофизических параметров не связаны между собой, поскольку отражают взаимодействие полей и вещества разной физической природы, и нахождение взаимосвязи между ними лишено физического смысла. Однако собственные значения эффективных петрофизических параметров горной породы могут участвовать в некоторых обобщенных параметрах, вводимых исходя из некоторых физико-геологических соображений.

Abstract. To joint interpretation of results of geophysical methods was given and the large attention is given, both by way of practical use, and by way of development of theoretical bases of the given approach. One of the basic ideas of the modern theory of interpretation consists in an establishment of

connections between physical parameters. The given approach is not free from criticism, as not always such interrelations have physical sense. By virtue of it urgent the development of the theory of interpretation of geophysical methods is which would not contradict the basic principles of a science, and to the full would answer opportunities and requirements to the further development of geophysical practice. The basic idea of the further development of methodology of interpretation of geophysical methods - unity of display of internal structure of rock in the geometrical characteristics, general for all physical parameters. The geometrical characteristics are the borders of change of geophysical parameters and own vector tensors of macroscopical geophysical parameters of rocks.

1. Физические свойства горной породы на мезоуровне. Эффективные геофизические параметры горной породы являются результатом естественного осреднения физических полей, применяемых для изучения геологической среды в силу больших объёмов исследования. Вследствие этого, а так же сложного строения горной породы, для адекватного описания ее физических свойств, требуется провести осреднение физических полей по физически конечно малому объёму, что приводит к одним и тем же собственным векторам тензоров физических параметров. Действительно, зададимся, к примеру, тонкослоистой моделью строения горной породы. В случае совпадения границ с координатными плоскостями, результат осреднения приведет к анизотропии (тензору физического параметра), аналогичной трансверсально-анизотропной модели (аналогично диагональному тензору эффективной электропроводности, появляющиеся при осреднении тонкослоистой среды). В этом случае полученные тензоры макроанизотропии физических параметров являются собственными значениями соответствующих тензоров физических параметров. Поворот системы координат приводит к полному тензору физического параметра. Следовательно, в случае совпадения структурно-текстурного строения горной породы (пример, – тонкослоистая среда) для разных физических параметров, собственные значения тензоров макропараметров будут различны по разным физическим свойствам, но одинаковыми по собственным векторам этих тензоров. Отметим, что для упругих параметров эта операция несколько сложнее, чем, например, для электромагнитных.

2. Границы геологических комплексов на макроуровне. Переходя к геологической среде, следует отметить, что границы между геологическими слоями характеризуются изменениями всех физических параметров горной породы. Иначе говоря, геологические границы совпадают с наличием границ по всем физическим параметрам. Их выделение осуществляется по этому признаку. Если по какому-то

физическому параметру граница не выделяется, то это означает, тем не менее, что граница есть, но скачок физического параметра не ней равен нулю или величина скачка является не измеряемой величиной при данной системе наблюдения. Это обстоятельство создает мощную основу для совместного решения прямых задач геофизики с целью комплексирования геофизических методов.

3. Решение совместных прямых задач по комплексированию геофизических методов с использованием полученных эффективных макропараметров. Поля и законы их взаимодействия с веществом – упругие (закон Гука), электромагнитные (закон Ома), гравитационные (закон Ньютона), термические (закон Фурье), флюидодинамика (закон Дарси) и т.п. являются системами дифференциальных уравнений первого порядка в частных производных или могут быть сведены к ним. Известный прием сведения их к дифференциальным уравнениям второго и выше порядков только усложняет решения прямых задач или делает это практически невозможным. Проведённые исследования по грантам РФФИ по изучению сейсмoeлектрического эффекта [Светов и др., 2005] позволяет унифицировать решения прямых задач геофизики в произвольно анизотропных средах. Данный подход связан с решением систем дифференциальных уравнений первого порядка, к которым можно свести все математические модели физических полей. Наиболее эффективен метод решения для одномерных и двумерных анизотропных сред. В случае трехмерных сред наиболее эффективный вычислительный подход связан с решением объёмных интегральных уравнений, которые можно получить из системы дифференциальных уравнений первого порядка в частных производных, используя тензорную функцию Грина соответствующей системы уравнений.

4. Комплексирование геофизических методов в настоящее время понимается как установление взаимосвязей между физическими параметрами горной породы. Это подразумевает нахождение коэффициентов в аппроксимирующих функциях этих взаимосвязей. Другой подход может быть реализован на введении некоторого обобщенного параметра в виде некоторой функциональной зависимости от физических параметров (собственных значений тензоров физических параметров). В отличие от первого подхода, второй подход подразумевает, что коэффициенты этих функций устанавливаются заранее исходя из соответствующих физико-геологических предпосылок. Примером второго подхода являются коэффициент нефтенасыщения горной породы (КНГ), обобщенные параметры, полученные исходя из теории информации, нейросетевой подход и т.п.

5. Результаты математического моделирования сейсмических полей в методе вибросейморазведки в горизонтально-слоистой анизотропной модели геологической среды. Неожиданным результатом

решения прямых задач оказалось принципиальное изменение волнового поля в случае наклонной анизотропии (рис.1). Так в случае трехслойной модели, в которой второй слой был анизотропный по упругим параметрам с углом поворота вокруг оси x на 45° , горизонтальные смещения по оси y имели синфазный характер, в то время как в случае изотропной модели они ведут себя противофазно относительно источника (вибратора). В случае наклона анизотропии 0° и 90° отмеченный эффект исчезал. Следует также отметить, что годографы сейсмических волн ведут себя симметрично относительно источника упругого поля, что являлось некоторым противоречием в плане ожидаемых результатов, поскольку современное представление о сейсмической анизотропии сводится к анизотропии скоростей. Из этого должно следовать, по аналогии с электроразведкой, смещение минимума годографа по горизонтали.

Горизонтально слоистая модель геологической среды представлена в таблице 1. Параметры тонкослоистой среды – второго слоя (слой №2, сильноконтрастная горная порода) представлены в таблице 2.

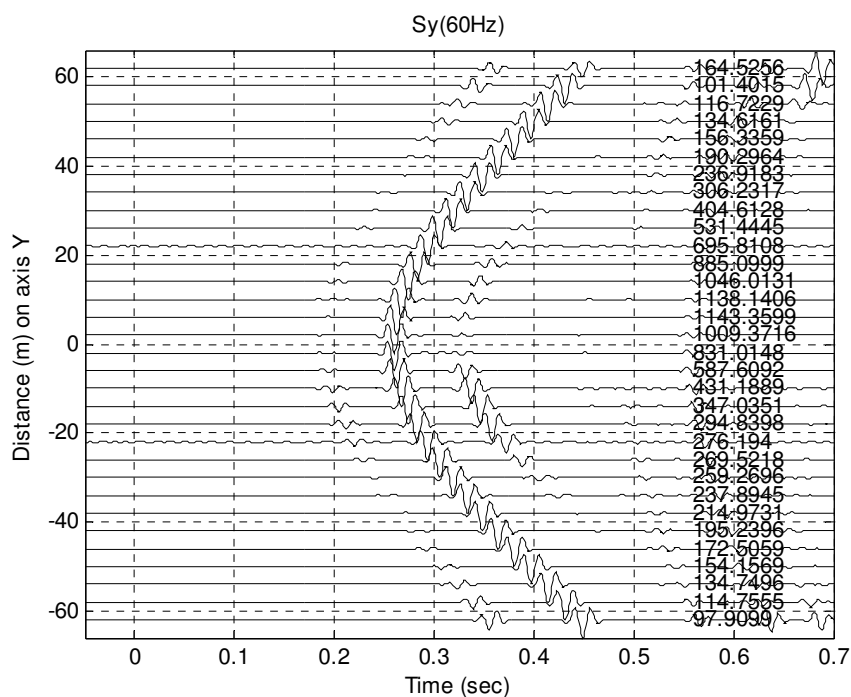


Рис.1 Аномальное сейсмическое поле (за вычетом поля для полупространства) горизонтального смещения S_y по оси y . Каждая сеймотрасса подписана абсолютным значением максимума (в условных единицах).

Таблица 1.

	$H, м$	$V_p, \frac{м}{с}$	$V_s, \frac{м}{с}$	$\rho, \frac{кг}{м^3}$
Слой №1	20	200	200/1.7	2000
Слой №3	∞	1000	1000/1.7	2300

где H - толщина слоя, V_p - скорость продольных волн в слое, V_s - скорость поперечных волн в слое, ρ - плотность горной породы в слое.

Таблица 2.

$h, м$	$V_p, \frac{м}{с}$	$V_s, \frac{м}{с}$	$\rho, \frac{кг}{м^3}$
0.01	565.6854	332.7561	2000
0.02	126.4911	74.4065	2000
0.03	565.6854	332.7561	2000
0.01	126.4911	74.4065	2000
0.02	565.6854	332.7561	2000

Заключение. Проведенные исследования показывают существенное влияние анизотропии упругих параметров на сейсмическое поле, измеряемое на дневной поверхности. Аналогичные эффекты, возможно в более сильной форме, будут проявляться и в методе вертикального сейсмического профилирование (ВСП). Изучение этого вопроса представляет актуальную задачу дальнейших исследований.

Литература

1. Светов Б. С. Александров П.Н., Агеев В.В. К теории сейсмоэлектрических методов разведки и каротажа, основанных на эффекте 2 рода. // Доклад на Всероссийской научно-практической конференции: Новые методики и технологии геофизических исследований на основе комплексирования методов и взаимодействия полей. М. Вниггефизика, 2005.