

Изложенный подход к использованию предложенных интерпретационных моделей сразу открывает широкие возможности более объективного изучения достаточно сложных геологических разрезов сейсмической разведкой с использованием первых волн.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоносова А.В., Таджимухамедова С.С., Алексеев А.С. К расчету годографов и геометрического расхождения лучей в неоднородных средах // Некоторые методы и алгоритмы интерпретации геофизических данных. - М.: Наука, 1967. - С.124-136.
2. Бурмаков Ю.Ф., Облогина Т.И. Определение лучей и годографов дифрагированных волн численными методами // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. - 1968. - N12. - С.81-88.
3. Вавилова Т.И. Решение обратной кинематической задачи для случая наклонного градиента скорости распространения упругих волн // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн, сб.4. - Л.: Наука, 1962. - С.110-120.
4. Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Шелудько И.Ф. Детальное изучение земной коры в Байкальской рифтовой зоне по данным рефрагированных волн // Геология и геофизика. - Новосибирск: Наука, - 1983. - N12. - С.82-91.
5. Мишенькина З.Р. Интерпретация годографов рефрагированных волн при наличии вертикального и горизонтального градиентов скорости // Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1967. - N4.
6. Пийп В.Б., Облогина Т.И. Восстановление двумерной скоростной функции методом подбора // Прикладная геофизика, N34. - М.: Гостоптехиздат, 1962. - С.87-117.

УДК 550.83.05.012

В.Б. Виноградов

## МАГНИТНЫЕ И ПЛОТНОСТНЫЕ ИНТЕРПРЕТАЦИОННЫЕ СПЛАЙН-МОДЕЛИ

В геологоразведочной практике часто встречаются случаи закономерного пространственного изменения плотностных и магнитных свойств горных пород. Такие изменения наблюдаются в зонах разломов, в зонах перехода от вкрапленных руд к сплошным, в областях метасоматической зональности гидротермальных месторождений, в зонах контактового метаморфизма и т.д. Закономерное уменьшение плотности в сводовых частях локальных структур установлено на востоке Русской платформы, в Западно-Сибирской низменности, в других нефтегазоносных провинциях. Изучение физических свойств на любом объекте показывает их колебание в некоторых пределах, т.е. латеральная изменчивость физических свойств горных пород наблюдается повсеместно, многочисленные примеры приведены в [5-7]. При интерпретации гравитационных и магнитных полей объектов с переменными свойствами в рамках традиционной кусочно-постоянной модели геометрические параметры разреза определяются с ошибкой в десятки и даже сотни процентов. Теоретически это доказано А.Н. Тимофеевым для латерального изменения магнитных свойств по закону Коши. Величина ошибки определяется градиентом изменения свойств. Практические примеры широко известны [4,7,9].

Традиция аппроксимировать тела переменной плотности системой элементарных тел постоянной плотности сложилась в 60-х годах, когда оснащенность геофизических предприятий вычислительной техникой была низкой, а графические и диалоговые средства, в современном представлении, не существовали. Высокая точность современной аппаратуры и хорошая геологическая изученность позволяют использовать сложные интерпретационные модели, которые в свою очередь приводят к большему извлечению информации из наблюдаемых данных.

Пространственная изменчивость физических свойств в каждой конкретной геологической обстановке имеет свой характер. Методы вычисления поля для объектов с переменными

ствами разработаны недостаточно. Прямые задачи гравиметрии и магнитометрии решены ряда конкретных законов: полиномов низких степеней, синусоидального, дробно-рационального и т.д. [3 и др.]. Описание физических свойств кубическими сплайнами позволяет получить решение прямых задач для некоторых объектов правильной геометрической формы в элементарных функциях, которое охватывает вышеперечисленные случаи и может использоваться практически для произвольного закона изменения физических свойств.

Пусть плотность прямоугольного параллелепипеда задана кубическим сплайном [8]:

$$\sigma(x_0) = a_1 + e_1(x_0 - x_1) + c_1(x_0 - x_1)^2 + d_1(x_0 - x_1)^3, \quad x_1 \leq x_0 \leq x_{i+1}, \quad (1)$$

$x_1, x_2, \dots, x_N$  - узлы сплайна,  $a_1, e_1, c_1, d_1$  - коэффициенты сплайна.

Поле силы тяжести примет вид:

$$\Delta g(x) = \sum_{i=1}^N \{ [c_{0i}t + c_{1i}(t^2 + s^2)/2 + c_{2i}(t^3/3) + c_{3i}(t^4 - s^4)/4] \ln d + c_{1i}(uR/2) + [c_{0i} - c_{2i}(3s^2 + u^2)/4] \ln f - [c_{0i} + c_{2i}(s^2/3)] s \operatorname{arctg} tu/Rs + c_{2i}(Rtu/6) + c_{3i}[-us^2 - d((2u^2 - s^2)/4 + d(u/3 - d/16))] \} \Big|_{x_i}^{x_{i+1}} \Big|_{h_1}^{h_2} \quad (2)$$

где  $b_x, b_z$  - размеры параллелепипеда по оси OY;  $h_1, h_2$  - глубины до верхней и нижней кромки,  $x = x_0, u = y - y_0, s = z - z_0, R = \sqrt{t^2 + u^2 + s^2}, d = u + R, f = t + R, c_{0i} = \sigma(x_1), c_{1i} = -e_1 - 2c_1(x - x_1) - 3d_1(x - x_1)^2, c_{3i} = -d_1, c_{2i} = c_1 + 3d_1(x - x_0),$

Магнитное поле горизонтального пласта, намагниченность которого задана выражением, подобным (1), имеет вид:

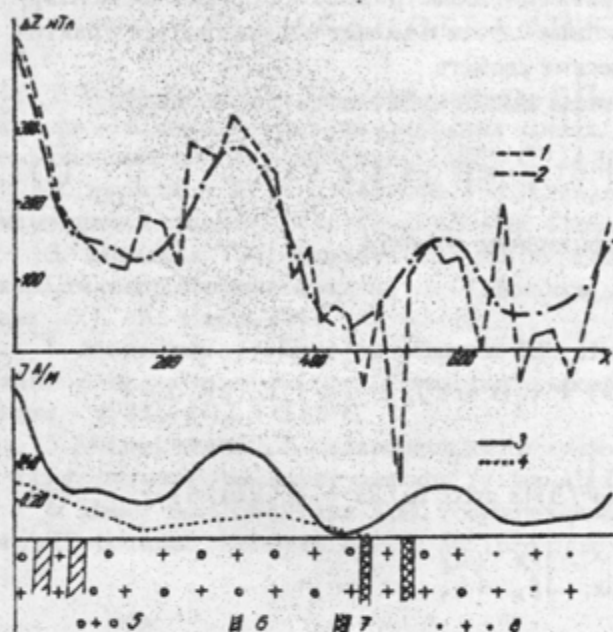
$$z(x) = -2z_0 \sum_{i=1}^N \{ (B_{10} - B_{12}z_0^2)/z_0 (\operatorname{arctg} z_0(x - x_{i+1}))/z_0 + (x - x_1)(x - x_{i+1}) - B_{12}(x_{i+1} - x_1) + ((B_{11} - B_{13}z^2)/2) \ln(z_0^2 + (x - x_{i+1})^2)/(z_0^2 + (x - x_1)^2) - (B_{13}/2)(2x - x_1 - x_{i+1}) \} \Big|_{h_1}^{h_2} \quad (3)$$

где  $B_{10} = I(x_1), B_{11} = -e_1 - 2c_1(x - x_1) - 3d_1(x - x_1)^2, B_{12} = c_1 + 3d_1(x - x_1), B_{13} = -d_1.$

Обратная задача для (1-3) состоит в определении закона изменения физических свойств, т.е. в отыскании коэффициентов кубического сплайна свойств на заданной сети узлов. В [6] указывается, что латеральная изменчивость плотности на 60-90% определяет гравитационный эффект нефтегазоносных структур, обратную задачу можно свести к определению этой изменчивости внутри сульфатно-карбонатного комплекса, т.е. обратная задача в вышеприведенной формулировке имеет важное практическое значение. При разбиении объекта на  $n$  звеньев для решения обратной задачи требуется определить  $4n$  неизвестных коэффициентов сплайна, особенность состоит в том, что решение должно удовлетворять  $3(n-1)$  уравнению, которые определяют свойства кубического сплайна. Для возмущающих объектов с неизвестным законом изменения физических свойств единственность решения обратной задачи не доказана, поскольку наблюдаемые поля всегда осложнены ошибками, то решение всегда представляет собой семейство  $\epsilon$ -эквивалентных по полю сплайнов. Есть два способа решения обратной задачи. Распределение плотности или намагниченности можно искать как решение задачи нелинейного программирования, минимизирующее отклонение вычисляемого поля от наблюдаемого. Решение, найденное таким способом, часто оказывается неинтересным с геологической и физической точки зрения [1,2]. Более эффективен метод подбора в диалоговом режиме на ЭВМ, изменением значений свойств в узлах сплайна можно быстро подобрать теоретическое поле.

В гравиразведке и магниторазведке редко встречаются примеры расчета полей от сред с

непрерывным законом изменения плотности или намагниченности. З.М. Слепак разработал типовые физико-геологические модели нефтеперспективных структур с непрерывным изменением свойств [6], однако вычисления проводил для модели с кусочно-постоянными свойствами.



Схематический геолого-геофизический разрез через гидротермальное месторождение:

1 - наблюдаемое поле, 2 - вычисленное поле, 3 - сплайн намагниченности, 4 - результаты измерения магнитной восприимчивости, 5 - измененные граниты, 6 - лампрофиры, 7 - кварцевые жилы, 8 - сильно измененные граниты

Применение интерпретационной модели с латеральной изменчивостью магнитных свойств рассмотрим на примере Булуктайского молибдено-вольфрамового месторождения [7]. Вдоль профиля, пересекающего гидротермально-измененные граниты и штокверковое оруденение, измерены магнитная восприимчивость пород и магнитное поле. Интенсивность поля, вычисленного по (3) на основе измеренной магнитной восприимчивости, оказалась намного меньше наблюдаемого поля. Это вызвано тем, что свойства определены по образцам, собранным в приповерхностной зоне, подвергшимся выветриванию, а гипергенные процессы чаще всего приводят к понижению магнитных свойств. Подобранный сплайн намагниченности и соответствующее поле, а также результаты полевых измерений приведены на рисунке. Результат интерпретации подтверждается данными по другим месторождениям того же района, где разведочные работы сопровождались изучением магнитных свойств по скважинам.

Развитие методов интерпретации в гравиразведке и магниторазведке идет по пути усложнения моделей. Интерпретационные модели на основе описания физических свойств сплайнами позволяют существенно улучшить точность количественной интерпретации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аронов В.И. О некоторых вопросах применения математических методов и ЭВМ в геологии и геофизике // Геофизический журнал. - 1990. - Т.12, N2. - С.62-72.
2. Веселов К.Е. Современное состояние методов интерпретации данных гравиразведки // Прикладная геофизика, вып. 106. - М.: Недра, 1983. - С. 80-90.
3. Голизра Г.Я. Комплексная интерпретация геофизических полей при изучении глубинного строения земной коры. - М.:Недра, 1988. - 212 с.
4. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. 5-е изд. - Л.: Недра, 1979. - 351 с.
5. Ревякин П.С., Бродовой В.В., Ревякина Э.А. Высокоточная магниторазведка. - М., Недра, 1986., 272 с.
6. Слепак З.М. Применение гравиразведки при поисках нефтеперспективных структур. - М.: Недра, 1989. - 200 с.
7. Соловьев Г.А. Петрофизическая характеристика эндогенных месторождений. - М.: Недра, 1984. - 161 с.
8. Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н. Сплаины в вычислительной математике. М.: Наука, 1975. - 248 с.
9. Тимофеев А.Н. Об интерпретации магнитных аномалий в случае изменяющейся магнитной восприимчивости горных пород // Труды Ин-та геол. и геоф. Сиб. отд. АН СССР. Вып.1. -Новосибирск, 1960. - С. 137-146.