

О.А. Хачай, А.Ю. Хачай

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОГО ПОРИСТОГО ВКЛЮЧЕНИЯ В ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СЛОИСТО-БЛОКОВОЙ СРЕДЕ ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА

Определение поверхности флюидонасыщенного пористого включения в иерархической слоисто-блоковой среде связано с проблемой конструирования подходов к решению обратной задачи электромагнитного мониторинга в геологической среде с иерархическими включениями. Ранее нами был предложен трехэтапный подход к интерпретации электромагнитных данных, который широко используется для 3-D интерпретации данных картирования в рамках частотно-пространственного активного электромагнитного метода. В этой работе получено новое интегрально-дифференциальное уравнение для реализации третьего этапа интерпретации, называемого решением теоретической обратной задачи в рамках N-слойной модели с иерархическим пористым флюидонасыщенным включением k-го ранга.

Ключевые слова: иерархическое включение, определение поверхности, обратная задача, электромагнитный мониторинг.

Введение

Исследования последних лет показали, что в эволюции динамических систем играют неустойчивости, природу которых изучает теория самоорганизации или синергетика. Информацию об их проявлении в нефтяном пласте при его обработке можно получить только используя данные мониторинга, чувствительные к его иерархической структуре. Следует отметить, что для изучения тонкой структуры дискретных иерархических сред, более высокой разрешающей способности обладают геофизические поля, зависящие как от пространственных координат, так и от времени, либо частоты – это сейсмические и электромагнитные поля. Дополнительно к этому, эти поля, возбуждаемые сосредоточенными источниками, благодаря геометрии нормального поля, обладают фокусирующим свойством или свойством локализации, что позволяет достичь заданной разрешающей способности [1].

При изучении пространственно – временных изменений структуры, физических свойств геологической среды или массива горных пород и связанных с ними напряженно – деформированного или фазового состояния модель слоисто-блоковой среды с включениями усложняется: она представляет собой двух ранговую цепочку в общей иерархически неоднородной модели среды. Модель иерархически неоднородной среды для описания процессов деформирования и разрушения геофизической среды была впервые предложена академиком М.А. Садовским [2]. Развитию и использованию иерархично – блоковой модели среды на качественном уровне посвящен ряд работ сотрудников ИФЗ РАН [3, 4]. Важную роль для понимания формирования и развития иерархии структурных уровней деформации в твердых телах играют теоретические и экспериментальные результаты, полученные на образцах [5], с помощью которых обоснован подход, базирующийся на представлении о диссипативных структу-

рах в неравновесных системах [6]. В работах [7, 8] Н.А. Караевым обобщены результаты сейсмических исследований по выделению участков земной коры со строением гетерогенного типа. Гетерогенность, по мнению автора, – важная особенность горных пород, обусловленная неравномерностью распределения в пространстве геологических неоднородностей в виде включений всех масштабов, т.е. по сути дела изучение строения и динамики гетерогенных участков земной коры необходимо с использованием представлений об иерархичных моделях. Явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок, связанные с дискретностью и фрагментацией среды, описаны академиком Е.И. Шемякиным с соавторами [9] и получили статус открытия [10]. Эти явления имеют место как в неглубоких шахтах (до 500 м), так и в глубоких шахтах (более 500 м). Результаты геолого-геофизических исследований сверхглубоких скважин показывают, что с увеличением глубины сложность геологического строения среды не уменьшается. Наконец, проблема мониторинга и прогноза состояния геологической среды требует тщательного отбора из имеющихся методик исследования трехмерных сред, допускающих пространственно – временное (частотное) масштабирование и фокусирование. В работе [11] построен алгоритм 3D моделирования электромагнитного поля для произвольного типа источника возбуждения N -слойной среды с иерархическим проводящим включением, расположенным в J -ом слое.

При построении математической модели реального объекта необходимо в качестве априорной информации использовать данные активного и пассивного мониторинга, получаемые в ходе текущей эксплуатации объекта. Решение обратных задач имеет огромное значение для нефтяной промышленности, поскольку нефтяной пласт относится к числу природных систем, не поддающихся прямым измерениям и наблюдениям в целом [1].

Алгоритм решения обратной задачи 2D электромагнитного мониторинга в слоисто-блоковой среде с включением иерархической структуры

В работе [12] предложена концепция поэтапной интерпретации переменного электромагнитного поля. На первом этапе определяются параметры нормального разреза, или параметры вмещающей одномерной немагнитной среды аномальные проводящие, либо магнитные включения. На втором этапе осуществляется подбор аномального переменного электромагнитного поля системой сингулярных источников, помещенных в горизонтально-слоистую среду с определенными на первом этапе геоэлектрическими параметрами. На третьем этапе решается теоретическая обратная задача, т.е. при заданных геоэлектрических параметрах вмещающей среды для набора параметров неоднородностей определяются контуры этой неоднородности. Получены явные интегро-дифференциальные уравнения теоретической обратной задачи рассеяния двумерного и трехмерного переменного и трехмерного стационарного электромагнитных полей в рамках моделей: проводящее, либо магнитное тело в ν -ом слое проводящего n -слойного полупространства.

В настоящей работе, используя подход, изложенный в работах [13, 14], выписано уравнение теоретической обратной задачи для переменного электромагнитного поля (скалярный случай) для модели проводящая иерархическая неоднородность k -го ранга, расположенная в ν -ом слое проводящего n -слойного полупространства.

$$2\pi U^{s(k-1)}(M_0) = \int_{\partial D_k} ((U_v^{s(k-1)}(M_k) + U_v^{i(k-1)}(M_k)) \left(\frac{\partial G^{ak}(M_k, M_0)}{\partial n} - \left(\frac{b_v}{b_i} \right) \frac{\partial G(M_k, M_0)}{\partial n} \right) - b_v \left(\frac{\partial U_v^{s(k-1)}(M_k)}{\partial n} + \frac{\partial U_v^{i(k-1)}(M_k)}{\partial n} \right) \left(\left(\frac{1}{b_{ak}} \right) G^{ak}(M_k, M_0) - \left(\frac{1}{b_i} \right) G(M_k, M_0) \right) dl_k \quad (1)$$

$U^{+k}(M) = U(M) - U^{ik}(M)$, $U^{+k}(M_k)$, – аномальная составляющая E_x^{+k} или H_x^{+k} для неоднородности k -го ранга при $M_k \in \partial D_k$, $U(M)$ – суммарное поле E_x или H_x , $U^{ik}(M)$ – нормальное поле слоистого разреза E_x или H_x при $k = 1$, при $k > 1$ – поле E_x или H_x , вычисленное в результате решения прямой задачи с использованием алгоритма [11] для случая однородного по проводимости включения, расположенного в v -ом слое n -слойной среды. $G^{ak}(M_k, M_0)$ – функция Грина для внутренности неоднородности k -го ранга, $G(M_k, M_0)$ – функция Грина на n -слойной среде [13–14], b_v , b_i , b_{ak} , – комплексные коэффициенты для v -го слоя, i -го слоя и внутри неоднородности ранга k , введенные в [12]. Иерархические неоднородности представляют собой вложенные несоосные проводящие σ_{ak} цилиндры, расположенные вдоль оси OX . В результате решения интегро-дифференциального уравнения (1) относительно функции $r(\varphi)$, описывающей контур искомой неоднородности k -го ранга, при заданных значениях функций, входящих в (1), как функции частоты и координат и известных значениях физических параметров вмещающей среды и неоднородности k -го ранга.

Выводы

Определение поверхности флюидонасыщенного пористого включения в иерархической слоисто-блоковой среде связано с проблемой конструирования подходов к решению обратной задачи электромагнитного мониторинга в геологической среде с иерархическими включениями. Ранее нами был предложен трехэтапный подход к интерпретации электромагнитных данных, который широко используется для 3-D интерпретации данных картирования в рамках частотно-пространственного активного электромагнитного метода. В настоящей работе получено новое интегрально-дифференциальное уравнение для реализации третьего этапа интерпретации, называемого решением теоретической обратной задачи в рамках N -слойной модели с иерархическим пористым флюидонасыщенным включением k -го ранга. Решение обратных задач имеет большое значение как для нефтяной промышленности, поскольку нефтяной пласт относится к числу природных систем, не поддающихся прямым измерениям и наблюдениям в целом так и для рудной горной промышленности для выявления фокальных поверхностей очага высокоэнергетических динамических явлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хасанов М.М., Булгакова Г.Т. Нелинейные и неравновесные эффекты в реологически сложных средах. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – С. 288.
2. Садовский, М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. – М.: Наука, 1987. – 98 с.
3. Дискретные свойства геофизической среды. Сборник научных трудов ИФЗ АН СССР. – М.: Наука, 1989. – 173 с.

4. Родионов, В.Н., Сизов И.А., Кочарян Г.Г. О моделировании природных объектов в геомеханике / Дискретные свойства геофизической среды. Сборник научных трудов ИФЗ АН СССР. – М.: Наука, 1989. – С. 14–18.
5. Панин, В.Е., Лихачев В.А., Гриняев Ю.В. Структурные уровни деформации твердых тел. – Новосибирск: Наука, 1985. – 226 с.
6. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир, 1979. – 300 с.
7. Караев Н.А., Рабинович Г.Я. Рудная сейсморазведка. – М.: Геоинформмарк, 2000. – 468 с.
8. Караев Н.А. Сейсмическая гетерогенность земной коры и проблемы интерпретации результатов региональных наблюдений в ближней зоне / Тезисы докладов международной конференции «Неклассическая геофизика» (28 августа – 1 сентября 2000 г.). – Саратов, 2000. – С. 30–32.
9. Шемякин, Е.И., Фисенко Г.Л., Курленя М.В., Опарин В.Н. и др. Эффект зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок // ДАН СССР. –1986. – Т. 289. – № 5. – С. 830–832.
10. Шемякин, Е.И., Курленя М.В., Опарин В.Н. и др. Открытие № 400. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок // Бюллетень изобретений. –1992. – № 1.
11. Хачай О.А., Хачай А.Ю. Моделирование электромагнитного и сейсмического поля в иерархически неоднородных средах // Вестник ЮУрГУ, Серия «Вычислительная математика и информатика». – 2013. – Т. 2. – № 2. – С. 48–55.
12. Хачай О.А. Математическое моделирование и интерпретация переменного электромагнитного поля в неоднородной коре и верхней мантии Земли. Докторская диссертация. – Свердловск: ИГФ УрО РАН, 1994. – 314 с.
13. Хачай О.А. Об интерпретации двумерных переменных и трехмерных стационарных аномалий электромагнитного поля // Известия АН СССР, Физика Земли. – 1989. – № 10. – С. 50–58.
14. Хачай О.А. О решении обратной задачи для трехмерных переменных электромагнитных полей // Известия АН СССР, Физика Земли. –1990. – № 2. – С. 55–59. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Хачай Ольга Александровна – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: olgakhachay@yandex.ru, Институт геофизики УрО РАН, Хачай Андрей Юрьевич – кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: andrey.khachay@usu.ru, Уральский Федеральный Университет, Институт математики и компьютерных наук.

UDC 550.830.539.3

DEFINING THE SURFACE OF THE FLUID SATURATED POROUS INCLUSION INTO THE HIERARCHIC BLOCK LAYERED MEDIUM ACCORDING TO DATA OF ELECTROMAGNETIC MONITORING

Khachay O.A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, e-mail: olgakhachay@yandex.ru, Institute of Geophysics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia, Khachay A.Yu., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, e-mail: andrey.khachay@usu.ru, Ural Federal University, Institute of Mathematics and Computer Science, Ekaterinburg, Russia.

The defining of the fluid saturated porous inclusion into the hierarchic block layered medium is linked with a problem of constructing approaches for solution of inverse problems of electromagnetic monitoring in a frame of hierarchic structure of geological medium. It is suggested a three stage approach for interpretation of electromagnetic data, which is widely used for 3D interpretation of mapping in a frame of frequency-distance active electromagnetic method. Here we had written new integral-differential equations for the third stage of interpretation named as theoretical inverse problem solution for 2D electromagnetic field in a frame of the N-layered model with a hierarchic inclusion of the k rank.

Key words: hierarchic inclusion, defining its surface, inverse problem, electromagnetic monitoring.

REFERENCES

1. Khasanov M.M., Bulgakova G.T. *Nelineinye i neravnovesnye efekty v reologicheski slozhnykh sredakh* (Nonlinear and nonequilibrium phenomena in media with the complex rheology), Moscow-Izhevsk, Institut komp'yuternykh issledovaniy, 2003, pp. 288.
2. Sadovskii, M.A., Bolkhovitinov L.G., Pisarenko V.F. *Deformirovaniye geofizicheskoi sredy i seismicheskii protsess* (Geophysical medium deformation and seismic process), Moscow, Nauka, 1987, 98 p.
3. *Diskretnyye svoystva geofizicheskoi sredy. Sbornik nauchnykh trudov IFZ AN SSSR* (Discrete properties of geophysical medium. Collection of scientific papers by the Institute of Physics of the Earth, USSR Academy of Sciences), Moscow, Nauka, 1989, 173 p.
4. Rodionov, V.N., Sizov I.A., Kocharyan G.G. *Diskretnyye svoystva geofizicheskoi sredy. Sbornik nauchnykh trudov IFZ AN SSSR* (Дискретные свойства геофизической среды. Сборник научных трудов ИФЗ АН СССР), Moscow, Nauka, 1989, pp. 14–18.
5. Panin, V.E., Likhachev V.A., Grinyaev Yu.V. *Strukturnyye urovni deformatsii tverdykh tel* (Structural levels of deformation in solids), Novosibirsk, Nauka, 1985, 226 p.
6. Nikolis G., Prigozhin I. *Samoorganizatsiya v neravnovesnykh sistemakh* (Self-organization in nonequilibrium systems), Moscow, Mir, 1979, 300 p.
7. Karaev N.A., Rabinovich G.Ya. *Rudnaya seismorazvedka* (Seismic exploration of ore), Moscow, Geoinformmark, 2000, 468 p.
8. Karaev N.A. *Tezisy dokladov mezhdunarodnoi konferentsii «Neklassicheskaya geofizika»* (28 avgusta – 1 sentyabrya 2000 g.) (Nonclassical Geophysics International Conference Proceedings (August 28 – September 1, 2000)), Saratov, 2000, pp. 30–32.
9. Shemyakin, E.I., Fisenko G.L., Kurlenya M.V., Oparin V.N. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1986. vol. 289, no 5, pp. 830–832.
10. Shemyakin, E.I., Kurlenya M.V., Oparin V.N. Otkrytie no 400. Yavlenie zonal'noi dezintegratsii gornykh porod vokrug podzemnykh vyrabotok (USSR Discovery no. 400. Phenomenon of zonal disintegration of rocks around underground excavations). *Byulleten' izobretenii*, 1992, no 1.
11. Khachai O.A., Khachai A.Yu. *Vestnik YuURGU, Ceriya «Vychislitel'naya matematika i informatika»*, 2013, vol. 2, no 2, pp. 48–55.
12. Khachai O.A. *Matematicheskoe modelirovaniye i interpretatsiya peremennogo elektromagnitnogo polya v neodnorodnoi kore i verkhnei mantii Zemli* (Mathematical modeling and interpretation of alternating magnetic field in the heterogeneous crust and upper mantle of the Earth), Doctor's thesis, Sverdlovsk, IGF UrO RAN, 1994, 314 p.
13. Khachai O.A. *Izvestiya AN SSSR, Fizika Zemli*. 1989, no 10, pp. 50–58.
14. Khachai O.A. *Izvestiya AN SSSR, Fizika Zemli*. 1990, no 2, pp. 55–59.



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Теоретическая механика на примерах и задачах из горной техники. Конспект лекций

Автор: Сагалова Р.В.

Год: 2015

Страниц: 188

ISBN: 978-5-98672-392-1

UDK: 531.8

Дано краткое представление о теоретической механике, при этом достаточно внимания уделено наглядности изложения, физической сущности рассматриваемых явлений, а также связи теории с практикой. В пособии нашли отражение такие области горного дела, как подъем, рудничный транспорт, горные машины, крепление, закладка выработанного пространства, обогащение и т.д.

Для студентов и аспирантов горных вузов, а также для самообразования и повышения квалификации работников горной промышленности.