

АТЛАС ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИСКВАЖИННОЙ ЗОНЫ

Андрей Юрьевич Соболев

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, доцент кафедры геофизических систем ФТФ, e-mail: SobolevAY@ipgg.sbras.ru

Галина Владимировна Нестерова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-49-53, e-mail: NesterovaGV@ipgg.sbras.ru

Игорь Николаевич Ельцов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией электромагнитных полей; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, зав. кафедрой геофизических систем, тел. (383)333-34-32, e-mail: YeltsovIN@ipgg.sbras.ru

Атлас представляет собой систематизированный набор многофизических моделей, характеризующих типичные водонефтенасыщенные пласты и наиболее часто применяемые технологии бурения с учётом напряженного состояния в окрестности скважины. Таким образом, впервые собраны модельные ситуации, включающие анализ геомеханических, гидродинамических и геоэлектрических процессов в окрестности скважины. Атлас позволяет изучить и наглядно представить влияние каждого из гидрофизических и геомеханических параметров на процесс проникновения фильтрата бурового раствора в пласт, геоэлектрическую модель пласта, показания приборов электрического и электромагнитного каротажа. Для выбора и отображения диапазона параметров используется реализация метода параллельных координат с помощью библиотеки D3.js.

Ключевые слова: многофизические модели, фильтрация, электропроводность, упругие и прочностные параметры.

ATLAS OF THE ELECTROHYDRODYNAMIC MODELS OF BOREHOLE ENVIRONMENT

Andrey Yu. Sobolev

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Russia, 630090, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph. D., Senior Researcher, Laboratory of electromagnetic fields; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks Prospect, Associate Professor, e-mail: SobolevAY@ipgg.sbras.ru

Galina V. Nesterova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Russia, 630090, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, Ph. D., Senior Scientist of Laboratory of electromagnetic fields, tel. (383)330-49-53, e-mail: NesterovaGV@ipgg.sbras.ru

Igor N. Yeltsov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Russia, 630090, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, D. Sc., Professor, Deputy director on scientific work; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks Prospect, Faculty of Physical Engineering, head of Geophysical Systems Department, principal researcher, tel. (383)333-34-32, e-mail: YeltsovIN@ipgg.nsc.ru

Atlas is the collection of multiphysics reservoir models. Each model describes typical water-oil-saturated formations and most frequently used technologies taking into account in situ stress state. The model situations of geomechanical, hydrodynamic and geoelectric processes in the borehole environment were collected for the first time. The influence of each model parameters over mud filtration, geoelectrical model, electrical and electromagnetic logs can be analyzed and visualized by Atlas. Parallel coordinates method, implemented by d3.parcoords.js toolkit and D3.js library, is used to select and display parameter ranges.

Key words: multiphysics, filtration, conductivity, elastic and strength parameters.

Ранее была разработана методика создания многофизической (multiphysics) модели прискважинной зоны [1–7]. Рассматриваются взаимосвязанные и взаимообусловленные геомеханические процессы при бурении скважины, изменение вследствие этого фильтрационно-емкостных свойств пород, процессы двухфазной фильтрации несмешивающихся жидкостей (воды и нефти), солеперенос, рост и разрушение глинистой корки, изменение электрофизических характеристик пород, отражающихся в показаниях приборов электрического и электромагнитного каротажа (рис. 1). Такая единая модель включает параметрическое описание среды, бурового раствора и режима бурения, которые численно моделируются для расчетов эволюции полей напряжений, водонасыщенности, солёности, удельного электрического сопротивления. На заключительной стадии вычисляются синтетические диаграммы каротажных комплектов ВИКИЗ и БКЗ, которые рассматриваются нами как следствие процессов, сопровождающих бурение скважины.



Рис. 1. Схема многофизической модели пласта

Промышленное использование созданного программного обеспечения для решения задачи оценки пласта на основе комплексной интерпретации данных геофизических (ГИС) и геолого-технологических (ГТИ) исследований скважины затруднено из-за огромного числа (около 30) параметров комплексной модели и большого объема расчетов. Поэтому первым этапом пути к комплексной интерпретации ГИС+ГТИ на основе 2D электрогидродинамических и геомеханических моделей (ЭГДиГМ) стало создание Атласа (базы) таких многофизических моделей по аналогии с атласами из других областей знания [8, 9]. Атлас включает распределения водонасыщенности, солёности, удельного электрического сопротивления (УЭС), давления в окрестности скважины в каждый момент расчетного времени в цифровом виде, визуализацию их в виде 2D-рисунков, анимацию процессов изменения этих полей во времени. На рис. 2 приведена иллюстрация того, как будет меняться УЭС прискважинной зоны, если при прочих совпадающих параметрах изменится соотношение коэффициентов бокового отпора в двух ортогональных направлениях (q_{\min} , q_{\max}).

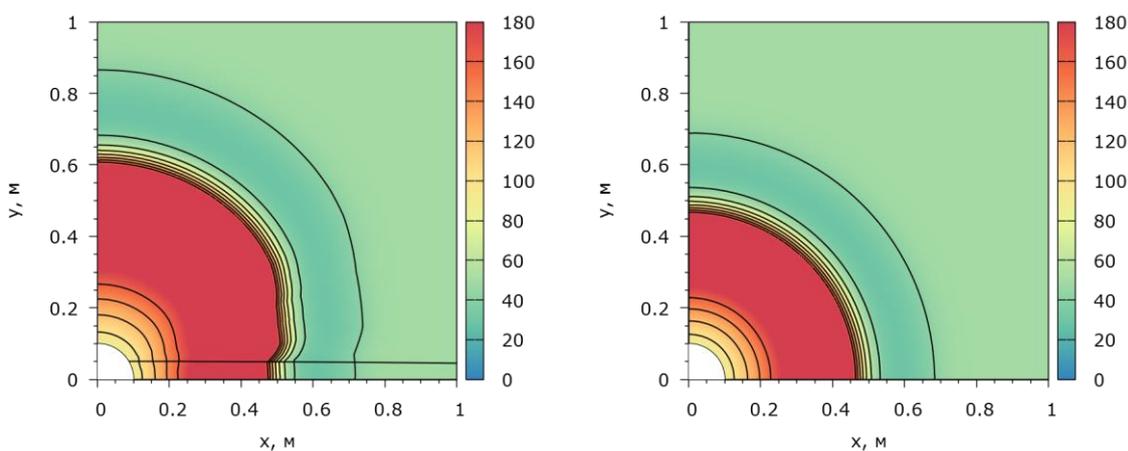


Рис. 2. Изменение полей УЭС при изменении соотношений коэффициентов бокового отпора. Глубина 4000 м, $K_p=10\%$, $K_{pr}=20$ мД, $q_{\max}=0.8$, $q_{\min}=0.67$ (слева), $q_{\min}=0.78$ (справа)

Для визуализации многомерных данных выбран метод параллельных координат [10, 11]. Используется реализация этого метода `d3.parcoords.js` [12] с помощью библиотеки `D3` [13, 14] на языке JavaScript. Реализация в виде веб-приложения позволяет отделить сервер Атласа, хранящий значительный объем данных (десятки Мб для одной модели, включающей все моменты времени), и клиентское приложение, позволяющее осуществлять выборку значений или диапазонов значений параметров модели, фильтрацию по иным признакам и отображение результатов. На рис. 3 приведен пример группы из 1000 моделей; варьировались 7 параметров (коэффициент бокового распора Q_x , предел прочности T_s , коэффициенты в формуле проницаемости kk_{per_0} , kk_{per_1} , проницаемость пласта Per , пористость Por , пористость глинистой корки Por_cake) при неизменных остальных.

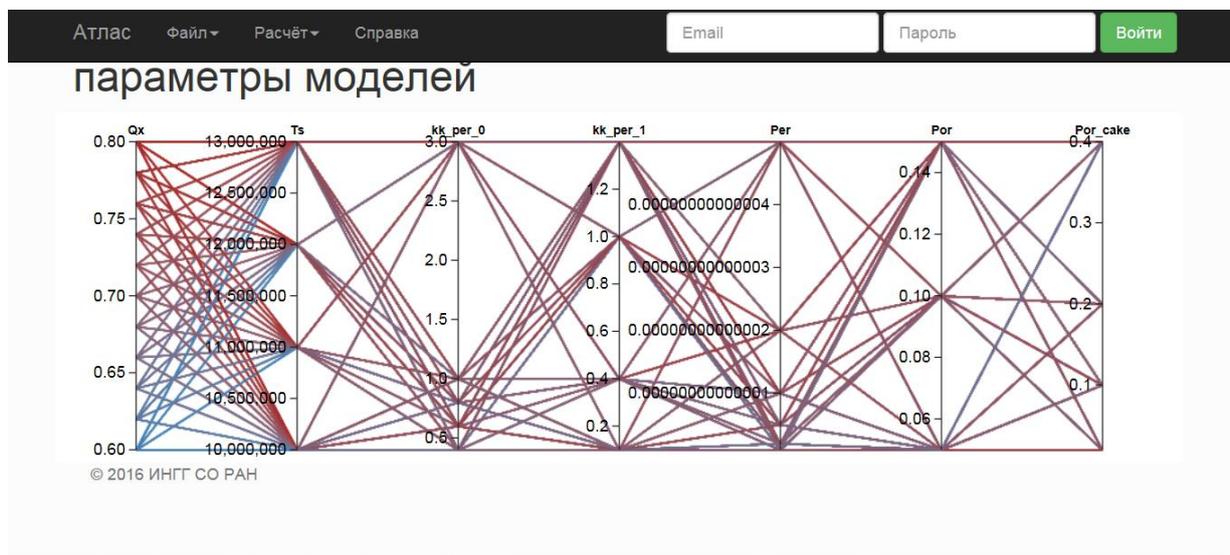


Рис. 3. Представление моделей методом параллельных координат

Таким образом, предлагаемый Атлас позволяет получить представление об особенностях формирования зоны проникновения и эволюции ее свойств и физических полей для применяемых на практике технологий бурения и исследования скважин. Пользуясь Атласом, можно изучить влияние каждого из параметров комплексной модели на процесс проникновения фильтрата бурового раствора в пласт, проследить во времени изменение геоэлектрической модели пласта, прогнозировать показания приборов электрического и электромагнитного каротажа и таким образом проводить виртуальный эксперимент по бурению и исследованию скважин.

Материалы разработанного Атласа используются при интерпретации каротажных данных ВИКИЗ и БКЗ на основе многофизической модели прискважинной зоны, а также будут включены в учебные пособия для студентов геофизиков.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-05-00830.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интерпретация геофизических измерений в скважинах с учетом гидродинамических и геомеханических процессов в зоне проникновения / И.Н. Ельцов, Л.А. Назаров, Л.А. Назарова и др. // ДАН. – 2012. – Т. 445, № 6. – С. 671–674.
2. Скважинная геоэлектрика нефтегазовых пластов, разбуриваемых на репрессии давления в неравнокомпонентном поле напряжений / И.Н. Ельцов, Л.А. Назарова, Л.А. Назаров и др. // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 5–6. – С. 978–990.
3. Моделирование гидродинамических процессов в напряженно-деформированной прискважинной зоне и геофизические приложения / Г.В. Нестерова, И.Н. Ельцов, В.А. Киндюк и др. // Петрофизика сложных коллекторов: проблемы и перспективы 2014: сб. статей. – М.: «ЕАГЕ Геомодель», 2014а. – С. 327–344.
4. Моделирование влияния неравнокомпонентного поля напряжений в окрестности скважины на диаграммы ВИКИЗ и БКЗ [Электронная публикация] / Г.В. Нестерова,

И.Н. Ельцов, Л.А. Назаров и др. // Тезисы конференции «Геомодель-2014: 16-я научно-практическая конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа», (г. Геленджик, Россия, 8–11 сентября 2014 г.). – 4 с. – URL: <http://earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=77927>.

5. Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2012619496 РФ. ГЕНМ / Л.А. Назаров, Л.А. Назарова, Г.В. Нестерова, И.Н. Ельцов. Правообладатель: Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. – № 2012619496 от 19.10.2012.

6. Jalali, M.R., Dusseault M.R. Coupling geomechanics and transport in naturally fractured reservoirs // Int. J. Min & Geo-Eng. (IJMGE). – 2012. – Vol. 46, N 1. – P. 1–26.

7. Multidisciplinary model of borehole environment and formation evaluation [Электронный ресурс] / I. Yeltsov, G. Nesterova, L. Nazarova, L. Nazarov // The World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium – WMESS 2015 (Prague, Czech Republic, 7–11 September 2015): Abstract Collection. – Prague, 2015. – P. 318–318. – CD-ROM.

8. Электронный атлас по океанографии Южно-Китайского моря / И.Д. Ростов, В.В. Мороз, Н.И. Рудых, В.И. Ростов // Океанология. – 2009. – Т. 49, № 6. – С. 942–946.

9. Тюгин Д.Ю., Куркин А.А., Куркина О.Е. Электронный атлас кинематических и нелинейных параметров внутренних гравитационных волн в мировом океане // Датчики и системы. – 2011. – № 12. – С. 49–52.

10. Heinrich J., Weiskopf D. State of the Art of Parallel Coordinates // Eurographics (STARs). – 2013. – P. 95–116.

11. Inselberg A. Parallel Coordinates: Visual Multidimensional Geometry and Its Applications. – New York: Springer, 2009. – 554 p.

12. Chang Kai. Parallel Coordinates. A visual toolkit for multidimensional detectives [Электронный ресурс]. – 2012–2017. – URL: <http://syntagmatic.github.io/parallel-coordinates>

13. Bostock M., Ogievetsky V., Heer J. D³ data-driven documents // IEEE transactions on visualization and computer graphics. – 2011. – Vol. 17, N 12. – P. 2301–2309.

14. D3 // D3.js Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://d3js.org>

© А. Ю. Соболев, Г. В. Нестерова, И. Н. Ельцов, 2017