

## **ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КАРОТАЖНЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕДИНОЙ ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИСКВАЖИННОЙ ЗОНЫ**

***Владимир Анатольевич Киндюк***

ООО «ГАЗПРОМНЕФТЬ НТЦ», 190000, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Галерная, 5а, главный геолог, центр сопровождения бурения, тел. (812)449-30-91, e-mail: Vladimir.Kindyuk@gmail.com

***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 лаборатории электромагнитных полей, 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, доцент, заместитель директора, тел. (383)333-34-32, e-mail: YeltsovIN@ipgg.sbras.ru

Проведена интерпретация практических каротажных и синтетических диаграмм на основе совместной электрогидродинамической и геомеханической модели пласта, разработанной ранее. Мультидисциплинарный подход к моделированию процесса проникновения фильтрата бурового раствора в пласт позволяет учесть геомеханические свойства пород при интерпретации данных ГИС и тем самым снизить погрешность определения фильтрационно-емкостных свойств пласта-коллектора.

**Ключевые слова:** каротаж, удельное электрическое сопротивление, коэффициент бокового отпора, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование.

## **LOGGING DATA INVERSION USING COUPLED ELECTROHYDRODYNAMIC AND GEOMECHANICAL MODEL OF BOREHOLE ENVIRONMENT**

***Vladimir A. Kindyuk***

ООО «LLC Gazpromneft NTZ», 190000, Russia, St. Petersburg, Galernaya Str. 5a, Chief Specialist, Drilling Support Center, tel. (812)449-30-91, e-mail: Vladimir.Kindyuk@gmail.com

***Galina V. Nesterova***

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

***Igor N. Yeltsov***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptuyug Prospect 3, Doctor of Science, Associate Professor, Deputy director on scientific work, tel. (383)333-34-32, e-mail: YeltsovIN@ipgg.nsc.ru

Well-log data as well as theoretical ones were interpreted using coupled electrohydrodynamic and geomechanical model of borehole environment. Multiphysics simulation of processes near borehole improves formation evaluation obtained by interpretation of the data of geophysical well logging.

**Key words:** logging, resistivity, lateral pressure factor, stress-strain state, numerical simulation.

При бурении скважины происходит изменение фильтрационно-емкостных свойств пород вблизи скважины, связанное как с уплотнением породы, так и с ее разуплотнением [1, 7-12]. Все это влияет на проникновение фильтрата бурового раствора в пласт, а следовательно, и на результаты геофизических скважинных измерений. Игнорируя изменение напряженно-деформированного состояния среды, можно некорректно проинтерпретировать данные геофизических (ГИС) и гидродинамических исследований скважины.

Схематически процесс интерпретации представлен на рис. 1 и представляет собой гидроэлектрическую инверсию с учетом геомеханических свойств породы.

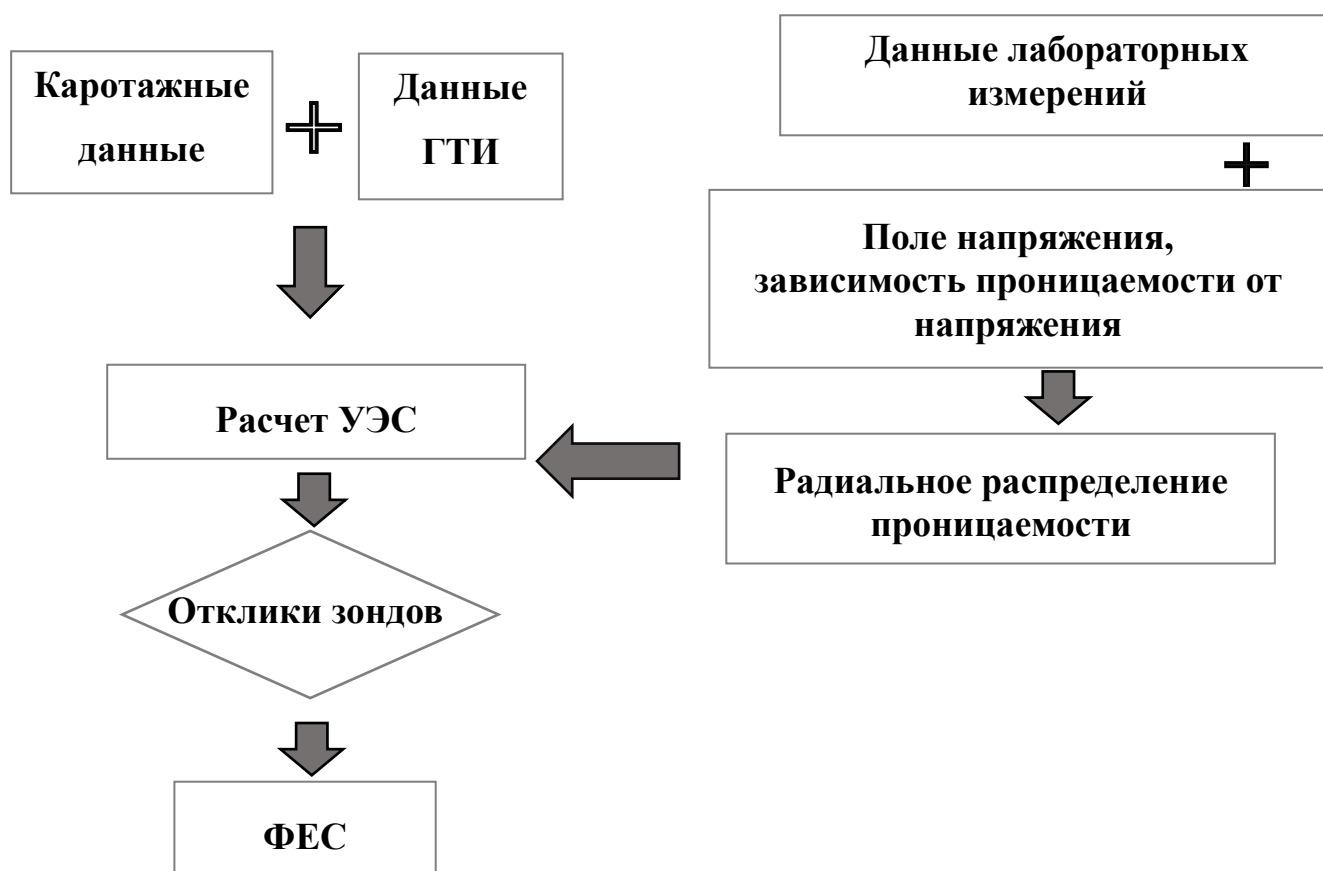


Рис. 1. Схема гидроэлектрической инверсии каротажных данных с учетом геомеханических свойств пород

Авторами был проведен анализ комплекса данных для двух объектов Западной Сибири (скважины Когалымского месторождения и Новосибирской области), по которым сделана совместная гидродинамическая интерпретация, учитывающая геомеханические свойства пород коллектора. На реальных данных и синтетических примерах был проведен анализ необходимости учета

геомеханических процессов при интерпретации данных ГИС и оценке фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пласта.

При интерпретации данных использовались программный комплекс моделирования фильтрации и солепереноса в условиях изменения напряженно-деформированного состояния среды [2-5], а также система VikizGydra, разработанная В.А. Киндюком (рис. 2).

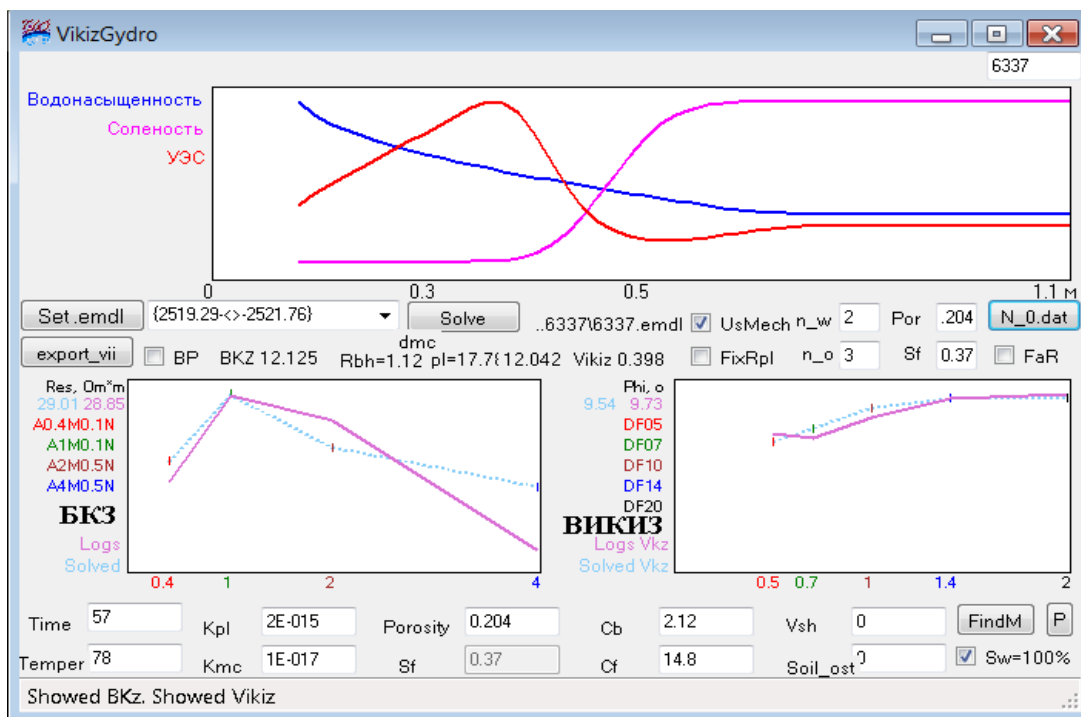


Рис. 2. Окно подбора параметров единой электрогидродинамической модели прослая коллектора (Когалым) в системе VikizGydra

Сравнение профилей УЭС для одного из прослоев изучаемых коллекторов представлено на рис. 3, из которого видно, что при учете геомеханических свойств породы при моделировании радиальное распределение УЭС сдвигается в сторону стенки скважины.

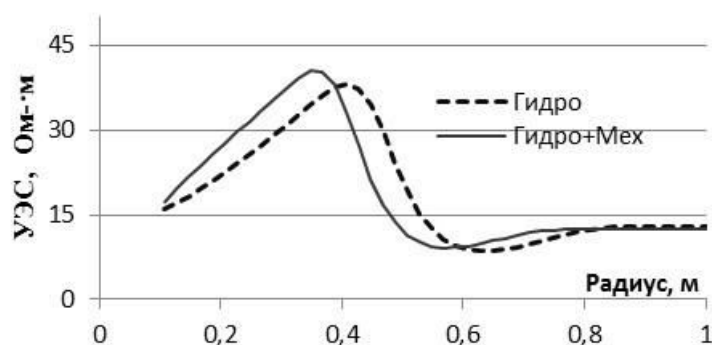


Рис. 3. Радиальные профили УЭС, полученные без учета геомеханических параметров пород (синяя линия) и с их учетом (черная линия) для одного из коллекторов Когалымского месторождения

Для нескольких образцов из БД петрофизических и геомеханических свойств пород PetroMechBD [6] были проведены 2 варианта инверсии синтетических диаграмм: с учетом (вариант 1) и без учета (вариант 2) геомеханических свойств породы. В таблице указаны параметры одного из таких образцов.

Таблица

Параметры коллектора и результаты оценки

Свойства коллектора и вмещающих пород	Вариант 1	Вариант 2
Коэффициент бокового отпора, ед.	0.4	Не учитывались
Сцепления пород скелета коллектора, МПа	78.35	
Угол внутреннего трения пород скелета коллектора, град.	30	
Проницаемость коллектора, мД	15	2.7
Начальная нефтенасыщенность коллектора, %	66	66
Заданная пористость коллектора, %	22	22

В результате выполненных оценок удалось количественно описать влияние геомеханических свойств на результат гидродинамического моделирования.

Наиболее чувствительным параметром модели оказалась проницаемость пласта, ее значение изменяется в пять и более раз. Значения нефтенасыщенности и пористости отличаются на 1-2 %.

Реализованный мультидисциплинарный подход к моделированию процесса проникновения фильтрата бурового раствора в пористую среду в окрестности скважины позволяет определить случаи, требующие учета геомеханических свойств пород при интерпретации данных ГИС, учесть эти свойства при оценке петрофизических свойств коллектора на основе данных электромагнитного каротажа и тем самым снизить погрешность определения ФЕС.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуфранов М.Г. О динамике изменения свойств породы в прискважинной области // Каротажник. - 2000. - № 77. - С. 75-79.
2. Ельцов И.Н., Назаров Л.А., Назарова Л.А., Нестерова Г.В., Эпов М.И. Интерпретация геофизических измерений в скважинах с учетом гидродинамических и геомеханических процессов в зоне проникновения // ДАН. - 2012. - Т. 445. - № 6. - С. 671-674.
3. Ельцов И.Н., Назарова Л.А., Назаров Л.А., Нестерова Г.В., Соболев А.Ю., Эпов М.И. Скважинная геоэлектрика нефтегазовых пластов, разбуриваемых на репрессии давления в неравнокомпонентном поле напряжений // Геология и геофизика. - 2014. - Т. 55. - № 5-6. - С. 978-990.
4. Нестерова Г.В., Ельцов И.Н., Киндюк В.А., Назаров Л.А., Назарова Л.А. Моделирование гидродинамических процессов в напряжённо-деформированной прискважинной зоне и геофизические приложения // Петрофизика сложных коллекторов: проблемы и перспективы 2014: Сб. статей. - М.: «ЕАГЕ Геомодель», 2014. - С. 327-344.

5. Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2012619496 РФ. ГЕНМ / Назаров Л.А., Назарова Л.А., Нестерова Г.В., Ельцов И.Н. Правообладатель: Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. - № 2012619496 от 19.10.2012.
6. Свидетельство о гос. регистрации базы данных PetroMechBD / Ельцов И.Н., Голиков Н.А., Киндюк В.А., Назаров Л.А., Назарова Л.А., Нестерова Г.В. // Правообладатель: Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. - № 2015620912 от 11.07.2015 года.
7. Стефанов Ю.П. Режимы дилатансии и уплотнения развития деформации в зонах локального сдвига // Физическая мезомеханика. - 2010. - № 13. - С. 44-52.
8. Ярмахов И.Г, Попов С.Б. Комплексный метод гидродинамики околоскважинного пространства и индукционного (дизлектрического) каротажа при изучении нефтегазовых скважин // Каротажник. - 2003. - № 10. - С. 63-83.
9. Chin L.Y., Rajagopal R., Thomas L.K. Fully coupled geomechanics and fluid-flow analysis of wells with stress-dependent permeability // SPE Journal. - 2000. - Vol. 5. - N 1. - P. 32-45.
10. Ita, J., Malekzadeh F. A True poroelastic up and downscaling scheme for multi-scale coupled simulation // SPE RS Symposium. - Texas, 2015. - P. MS1-MS12.
11. Jalali M.R., Dusseault M.R. Coupling Geomechanics and Transport in Naturally Fractured Reservoirs // Int. J. Min & Geo-Eng. (IJMGE). - Vol. 46. - N. 1. - P. 1-26.
12. Wang X., Chalaturnyk R., Huang H., Leung J. Experimental study on geomechanical dilation during injection // SPE Canada heavy oil technical conference. - Calgary: SPE, 2015. - P. MS1-MS17.

© В. А. Киндюк, Г. В. Нестерова, И. Н. Ельцов, 2016