

*Г. В. Нестерова<sup>1</sup>✉, К. В. Сухорукова<sup>1</sup>, И. В. Сурокина<sup>1</sup>*

## **Построение электрогидродинамических моделей ачимовских коллекторов Сургутского свода по данным скважинных и керновых измерений**

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
г. Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: NesterovaGV@ipgg.sbras.ru

**Аннотация.** Одним из перспективных видов трудноизвлекаемых запасов является ачимовская толща. Сложность для моделирования коллекторов ачимовской толщи представляет вертикальная и латеральная неоднородность пластов, их низкие фильтрационно-емкостные свойства. На примере скважины Имилорского месторождения на основе моделирования фильтрации бурового раствора в пласт и использования каротажных данных, программ расчёта синтетических диаграмм, данных измерений на керне построены электрогидродинамические модели ачимовских коллекторов. Дальнейшее развитие схемы построения таких моделей связано с пополнением комплекса скважинных измерений данными микрокаротажа, эмпирического обоснования фазовых проницаемостей для коллекторов ачимовских отложений, программ нелинейной фильтрации при гидродинамическом моделировании.

**Ключевые слова:** ачимовская толща, коллектор, моделирование, каротаж, фильтрационно-емкостные свойства

*G. V. Nesterova<sup>1</sup>✉, K. V. Sukhorukova<sup>1</sup>, I. V. Surodiva<sup>1</sup>*

## **Electrohydrodynamic models of Achimov reservoirs of Surgut arch based on borehole and core measurements**

<sup>1</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics  
of Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: NesterovaGV@ipgg.sbras.ru

**Abstract.** One of the perspective hard-to-recover reserves is the Achimov arch. The difficulty of the Achimov reservoirs simulation is represented by the vertical and lateral heterogeneity of the formations, their low filtration-capacity properties. Using the example of a well at the Imilor field, based on modeling the filtration of drilling mud into the formation and the use of well logging data, programs for calculating synthetic diagrams, and core measurement data, electrohydrodynamic models of Achimov reservoirs were constructed. Further refinement of models is connected with replenishment of the complex of borehole measurements with micro-logging data, empirical substantiation of phase permeabilities for Achimov deposits collectors, nonlinear filtration programs in hydrodynamic modeling

Further development of the scheme for constructing such models is associated with the replenishment of the complex of well measurements with micro-logging data, empirical substantiation of phase permeabilities for Achimov deposit collectors, nonlinear filtration programs in hydrodynamic modeling.

**Keywords:** Achimov arch, reservoir, simulation, logging, filtration and capacity properties

Одним из перспективных видов трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) является ачимовская толща. Компании «Газпром нефть», «ЛУКОЙЛ–Инжиниринг» уже ведут свои проекты по изучению и разработке месторождений, расположенных в ачимовской толще [1]. Целью проектов является обоснование и точная оценка содержания нефтенасыщенного объема залежи в низкопроницаемых коллекторах для подтверждения рентабельности их добычи [2, 3, 4]. Сложность для моделирования коллекторов ачимовской толщи представляют вертикальная и латеральная неоднородность пластов, низкие фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) [2, 5, 6].

Настоящее исследование продолжает цикл работ, посвящённых построению совместных гидродинамических и геоэлектрических моделей прискважинной зоны пласта по данным каротажа и результатам измерений на керне [7-11]. В электрогидродинамических моделях (ЭГДМ) ачимовских коллекторов Имилорского месторождения учитывается низкая проницаемость коллекторов и анизотропия УЭС, вызванная тонкослоистостью ачимовских разрезов. Это потребовало разработки новых вариантов программ расчёта синтетических сигналов ВИКИЗ и БКЗ.

Первый этап построения ЭГДМ пласта заключается в выделении слоистых пластов-коллекторов с учетом всего комплекса геофизических исследований в скважине (ГИС). Далее при совместной интерпретации ВИКИЗ и БКЗ для выделенных коллекторов строятся геоэлектрические модели (ГЭМ) пласта (рис.1) Если при построении ГЭМ в комплекс измеренных данных входит метод БКЗ, для непроницаемых глинистых отложений учитывается их электрическая анизотропия, обусловленная микрослоистостью. Проницаемые отложения при достаточно детальной разбивке можно считать изотропными ввиду эквивалентности вклада их небольшой анизотропии и повышающей зоны проникновения в сигналы градиент-зондов [12-13].

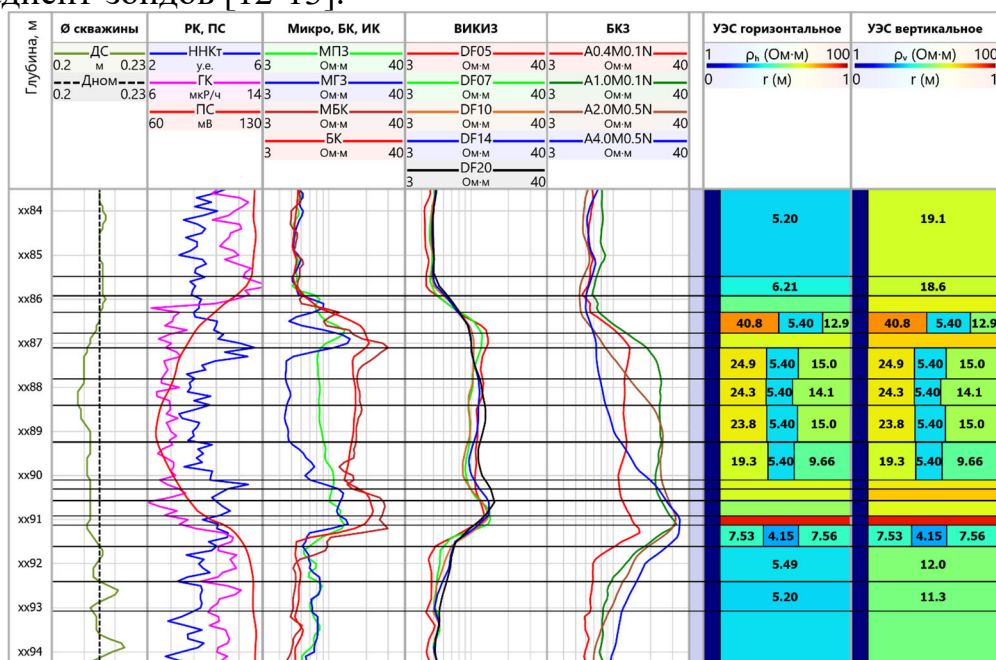


Рис.1. Практические данные ГИС и геоэлектрическая модель пласта

Для проницаемых пропластков строятся их 1D гидродинамические модели, включающие радиальные распределения водонасыщенности и минерализации пластового флюида [14]. Для пересчета результатов гидродинамического моделирования в удельное электрическое сопротивление используется модификация формулы Дахнова-Арчи [10, 15].

Из набора ЭГДМ, построенных для конкретного пропластка, выбирается модель, в которой радиальный профиль УЭС наиболее соответствующая ступенчатому профилю УЭС (рис. 2). Распределение УЭС по глубине и радиальному расстоянию от скважины (2D модель всего пласта) собирается из горизонтального и вертикального УЭС непроницаемых пропластков и радиальных распределений УЭС, полученных при гидродинамическом моделировании проницаемых пропластков.

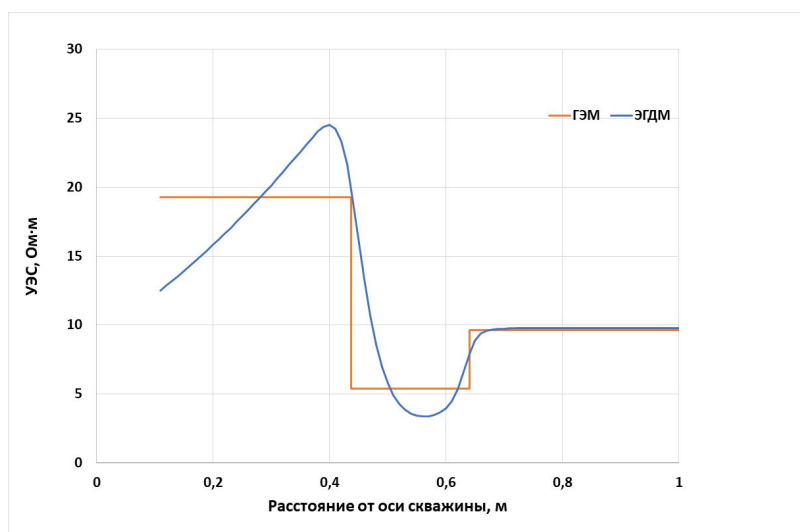


Рис. 2. Пример подбора электрогидродинамической модели проницаемого пропластка

Диаграммы БКЗ рассчитываются по программе BKZ3d\_ANIZ\_ENHDM [16], учитывающей анизотропию УЭС среды, окружающей вертикальную скважину. В программе реализован конечно-разностный подход к аппроксимации уравнений Максвелла. Тензор анизотропии диагональный (рассматриваются модели с вертикальной скважиной). Использован итерационный метод решения, реализованный на графическом процессоре. Для расчёта диаграмм ВИКИЗ применялась программа VIKIZ3D\_GPU\_IZO [17] с изотропной моделью пласта, поскольку при измерении в вертикальной скважине анизотропия УЭС не имеет такого влияния для этого метода, как для метода БКЗ. В программе также используется конечно-разностный подход и реализация алгоритма на графическом процессоре, что позволяет существенно ускорить расчёт синтетических диаграмм.

Синтетические диаграммы ВИКИЗ и БКЗ сравниваются с практическими и оценивается их расхождение. В случае необходимости делается коррекция исходной геоэлектрической модели отдельных пропластков и параметров гидроди-

намической модели до совпадения синтетических и практических сигналов электрокаротажа с практической точностью.

При построении ЭГДМ пласта использовались методы ВИКИЗ и БКЗ. Параметры глинистой корки оценивались по экспериментальным данным из БД ИНГГ СО РАН [18]. Дополнение совокупности методов программами моделирования микрокаротажа позволит уточнять толщину глинистой корки и зоны кольчатации, значения остаточной водонасыщенности по данным скважинных измерений. Использование эмпирического обоснования фазовых проницаемостей для коллекторов ачимовских отложений [19], программ нелинейной фильтрации при гидродинамическом моделировании [20] позволит более точно строить модели пластов.

### ***Благодарности***

Работа выполнена в рамках проекта ФНИ FWZZ-2022-0026.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Запасы будущего: Ачимовские горизонты [электронный ресурс] // URL: <https://achimovka.neftegaz.ru/>.
2. Егорова А.Д., Исакова Т.Г., Бата Л.К., Гоев А.Ю., Хотылев О.В., Чуркина В.В., Коточкова Ю.А., Дьяконова Т.Ф., Козаков С.В., Кожевникова Н.В., Москаленко Н.Ю., Белов Н.В., Мозговой А.С., Калмыков Г.А. Оценка характера насыщенности коллекторов ачимовских отложений по каротажу в условиях низкой проницаемости и фациальной неоднородности // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2023. – № 2. – С. 128–138.
3. Мусихин А.Д., Мингазова Д.И., Байков Р.П., Викторова Е.М., Киселев П.Ю., Тельнова К.С. Подход к вероятностной оценке ресурсного потенциала ачимовской толщи в условиях низкой изученности // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2024. – № 9. – С. 27–33.
4. Мухаметдинова А.З., Доржи Д.Б., Бакулин Д.А., Юнусов Т.И., Аминев Т.Р., Черемисин А.Н., Гришин П.А. Определение относительных фазовых проницаемостей для системы нефть газ в низкопроницаемых коллекторах ачимовских отложений // Нефтяное хозяйство. – 2024. – № 7. – С. 98–103.
5. Жарков А.М. Особенности геологического строения и прогноз распространения залежей углеводородов в ачимовской тоще Западной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2016. – Т. 11. – № 4.
6. Вершинина И.В., Виноградов К.Э., Гильманова Н.В., Коваленко М.А., Шаламова В.И. Обзор применяемых подходов к гидродинамическому моделированию низкопроницаемых коллекторов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2022. – № 9. – С. 41–47.
7. Кашеваров А.А., Ельцов И. Н., Эпов М.И. Гидродинамическая модель формирования зоны проникновения при бурении скважины // ПМТФ. – 2003. – № 6. – С. 148–157.
8. Эпов М.И., Ельцов И.Н., Кашеваров А.А. Эволюция зоны проникновения по данным электромагнитного каротажа и гидродинамического моделирования // Геология и геофизика. – 2004. – № 8. – С. 1031–1042.
9. 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.
10. 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. – Сборник статей. – М.: «ЕАГЕ Геомодель». – 2014. – С. 327-344.

11. Киндюк В.А., Нестерова Г.В., Ельцов И.Н. Оценка проницаемости на основе многофизической модели пласта // Каротажник. – 2017. – № 5. – С. 60-69.

12. Petrov A.M., Leonenko A.R., Danilovskiy K.N., Nechaev O.V. Fast 2D forward modeling of electromagnetic propagation well logs using finite element method and data-driven deep learning // Artificial Intelligence in Geosciences. – 2025. – V. 6. – Is. 1 URL: <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2025.100112>.

13. Сухорукова К.В., Петров А.М., Лапковская А.А., Ананьев С.В. // Методические аспекты комплексирования данных электрокаротажа при инверсии в классе двумерных осесимметричных моделей // Геология и геофизика. – 2025. – Т. 66. – № 4. – С. 513–522.

14. Назаров Л.А., Назарова Л.А., Ельцов И.Н., Нестерова Г.В. GENM2D: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018613634. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 21 марта 2018 г.

15. Нестерова Г.В. Математические модели электропроводности двухкомпонентных сред и формула Арчи // Каротажник. – 2008. – № 10. – С. 81–101.

16. Нестерова Г.В., Суродина И.Н. BKZ3d\_ANIZ\_ENDM: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025619057. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 14 апреля 2025 г.

17. Суродина И.В. VIKIZ3D\_GPU\_IZO Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021667630. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 1 ноября 2021 г.

18. Голиков Н.А., Евменова Д.М., Ельцов И.Н., Нестерова Г.В. База параметров глинистой корки, определенных экспериментально в ИНГГ СО РАН: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624864. Дата государственной регистрации в Реестре баз данных 21 декабря 2023 г.

19. Тухватуллина Ю.В., Каган М.В., Шнайдер А.В., Коваленко Р.В. Эмпирическое обоснование относительных фазовых проницаемостей нефти и воды для коллекторов ачимовских отложений // Нефтепромысловое дело. – 2021. – № 4(628). – С. 32-36.

20. Невмержицкий Я.В., Кузьмина Т.В., Вершинина И.В., Виноградов К.Э. Использование нелинейной фильтрации при гидродинамическом моделировании низкопроницаемых коллекторов ачимовской толщи // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2023. – № 6. – С. 53–58.

© Г. В. Нестерова, К. В. Сухорукова, И. В. Суродина, 2025