

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЮРСКОГО КОЛЛЕКТОРА ВОСТОЧНО-СУРГУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ДАННЫМ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Артём Русланович Леоненко

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, инженер, тел. (383)330-45-05, e-mail: Leonenkoart@gmail.com

Алексей Михайлович Петров

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник, тел. (383)330-45-05, e-mail: PetrovAM@ipgg.sbras.ru

Карина Владимировна Сухорукова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 6030090, Россия, г. Новосибирск, пр. Коптюга 3, главный научный сотрудник, тел. (383) 330-49-52, e-mail: suhorukovakv@ipgg.sbras.ru

В статье представлены результаты совместной интерпретации данных гальванического и электромагнитного каротажа отложений юрского возраста. Юрские отложения характеризуются высокой контрастностью электрических свойств, анизотропией, частотной дисперсией диэлектрической проницаемости. Привлечение современных методов совместной численной инверсии позволяет построить их детальные геоэлектрические модели, отвечающие измеренным данным электрокаротажа в сложных геологических условиях.

Ключевые слова: нефтяные коллекторы, геофизические исследования скважин, детальные геоэлектрические модели, численное моделирование

GEOELECTRIC MODEL OF THE VOSTOCHNO-SURGUTSOE FIELD JURASSIC RESERVOIR ACCORDING TO GALVANIC AND ELECTROMAGNETIC LOGGING SOUNDING DATA

Artem R. Leonenko

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, Engineer, tel. (383)330-45-05, e-mail: Leonenkoart@gmail.com

Aleksei M. Petrov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, Junior Researcher, tel. (383)330-45-05, e-mail: PetrovAM@ipgg.sbras.ru

Karina V. Sukhorukova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, Chief scientist, tel. (383)330-49-52, e-mail: suhorukovakv@ipgg.sbras.ru

The article presents the results of galvanic and electromagnetic well logs joint numerical inversion. Jurassic deposits are characterized by high contrast of electrical properties, resistivity anisotropy and dielectric polarization, that complicates modeling. Applying of modern methods of joint

numerical inversion makes it possible to build detailed geoelectric models corresponding to the measured data in complex geological environments.

Keywords: oil reservoirs, well logging, high-detailed geoelectric models, numerical simulation

Введение

Разрез юрских отложений характеризуется большим контрастом электрических свойств, частым чередованием низкоомных глинистых и высокоомных карбонатных пластов небольшой толщины, повышенной глинистостью пластов-коллекторов и рассеянной пиритизацией, что значительно затрудняет интерпретацию данных каротажа даже при визуальном анализе диаграмм. Тонкое переслаивание алевроаргиллита с алевролитом в перекрывающих и подстилающих пластах и песчаника с карбонатизированными и глинистыми породами в самом коллекторе приводит к возникновению электрической анизотропии, т. е. различию значений удельного электрического сопротивления (УЭС) вдоль и вкрест слоистости. Наличие микроанизотропии глинистых пород и большой контраст УЭС соседних пластов затрудняет применение одномерного подхода к интерпретации данных бокового каротажного зондирования (БКЗ) на интервалах коллекторов. Рассеянная пиритизация и глинистость приводят к повышению диэлектрической проницаемости и её частотной дисперсии, вследствие этого возникают противоречия в численных значениях кажущегося сопротивления по данным электромагнитных зондирований (ВИКИЗ/ВЭМКЗ) и каротажа на постоянном токе.

Учет перечисленных особенностей возможен при использовании в качестве базовой модели среды двумерной осесимметричной. Совместная численная инверсия данных БКЗ и ВИКИЗ на базе такой модели позволяет устранить кажущуюся противоречивость измерений и получить согласованные по данным двух методов оценки электрофизических свойств отложений.

Данные ГИС на интервале юрских отложений Восточно-Сургутского месторождения

На рис. 1 представлен комплекс данных ГИС, измеренных на интервале нефтенасыщенного коллектора ЮС₂ и вмещающих его отложений в скважине Восточно-Сургутского месторождения.

Верхняя часть интервала представлена преимущественно глинистыми отложениями. На интервале 2905-2922 м на диаграммах всех представленных методов отчетливо виден целевой объект – песчаный коллектор ЮС₂. Расхождение диаграмм зондов БКЗ и ВИКИЗ разной длины свидетельствует о наличии радиального изменения УЭС, вызванного фильтрацией бурового раствора в пласты. Ниже по разрезу расположены контрастные по УЭС чередующиеся тонкие пласты глин, карбонатов и углей. Большой контраст УЭС прослоев приводит к форме диаграмм БКЗ, очень сложной для визуального анализа. Высокоомные карбонатные и угольные пласты хорошо локализируются по данным БК, но при

небольшой толщине слабо проявляются на диаграммах ВИКИЗ, что является основанием для использования совместной инверсии данных. На основе анализа представленного комплекса данных ГИС построена стартовая модель для последующей инверсии.

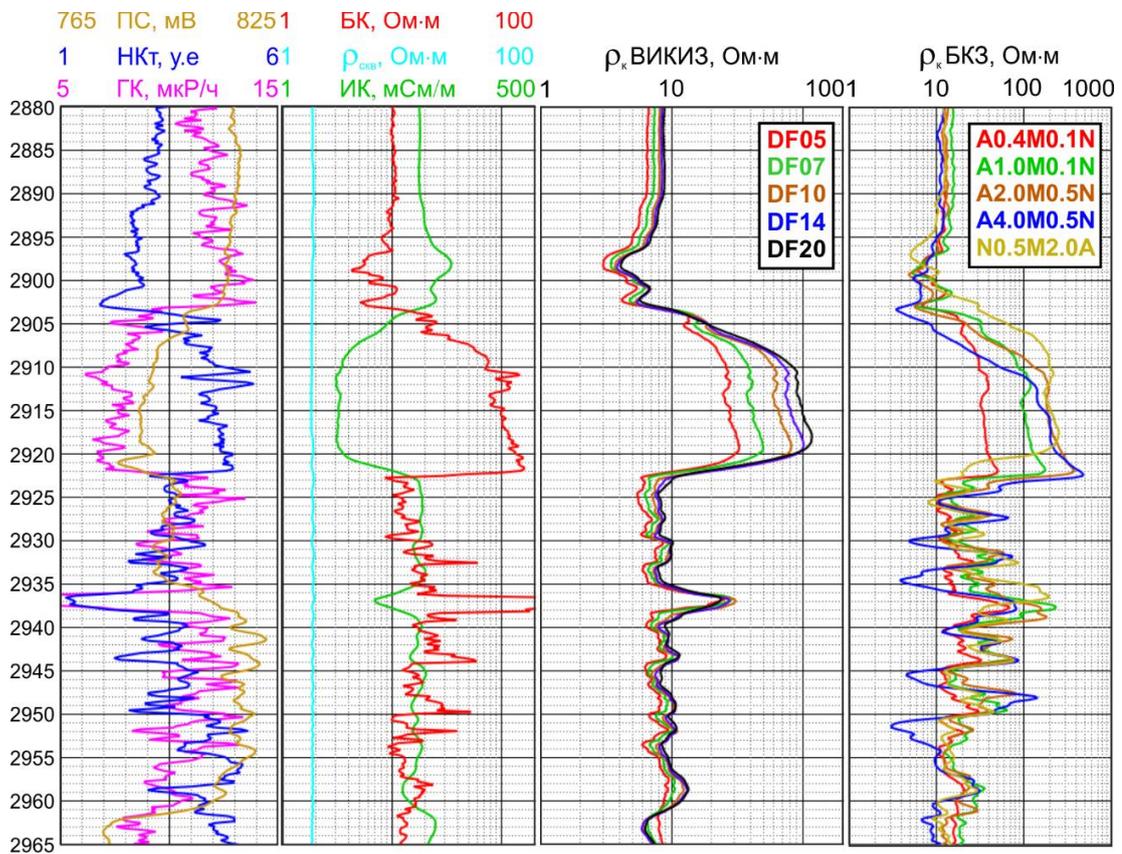


Рис. 1. Данные ГИС на интервале юрских отложений Восточно-Сургутского месторождения. Слева направо: гамма-каротаж (ГК), нейтронный каротаж (НКТ), потенциал самополяризации (ПС); боковой каротаж (БК), индукционный каротаж (ИК) и резистивиметрия (ρ_c); ВИКИЗ; БКЗ

Согласованная геоэлектрическая модель коллектора ЮС₂

Совместная численная инверсия данных электромагнитного и бокового каротажного зондирования выполнена с использованием программного пакета AlondraWL, разработанного в ИНГГ СО РАН [1].

Измеренные на интервале коллектора диаграммы электрокаротажа могут быть объяснены как влиянием сложного радиального профиля УЭС, так и влиянием электрической анизотропии и диэлектрической поляризации отложений, поэтому для получения реалистичной модели необходимо привлечение априорной информации.

По данным гамма-каротажа и каротажа спонтанной поляризации в рассматриваемой скважине не наблюдается существенной глинизации коллектора,

которая могла бы привести к значимым проявлениям диэлектрической поляризации и анизотропии УЭС. При этом в ряде работ, посвящённых исследованию гидродинамических и геомеханических процессов в зоне проникновения ([2–4]), отмечается, что в коллекторах, аналогичных исследуемому, при бурении образуется уплотнённая прискважинная зона. Изменение напряжённого состояния этой области приводит к уменьшению проницаемости и уплотнению, а как следствие – к увеличению УЭС.

Итоговая модель интервала нефтенасыщенного коллектора горизонта Ю2 Восточно-Сургутского месторождения представлена на рисунке 2.

Вмещающие коллектор глинистые отложения характеризуются явно выраженной анизотропией УЭС: коэффициент анизотропии относительно однородных перекрывающих пород составляет в среднем 2.0–2.5, а подстилающих отложений, представленных переслаиванием аргиллитов с углистыми и карбонатными слоями, – варьирует в диапазоне 1.0–3.0.

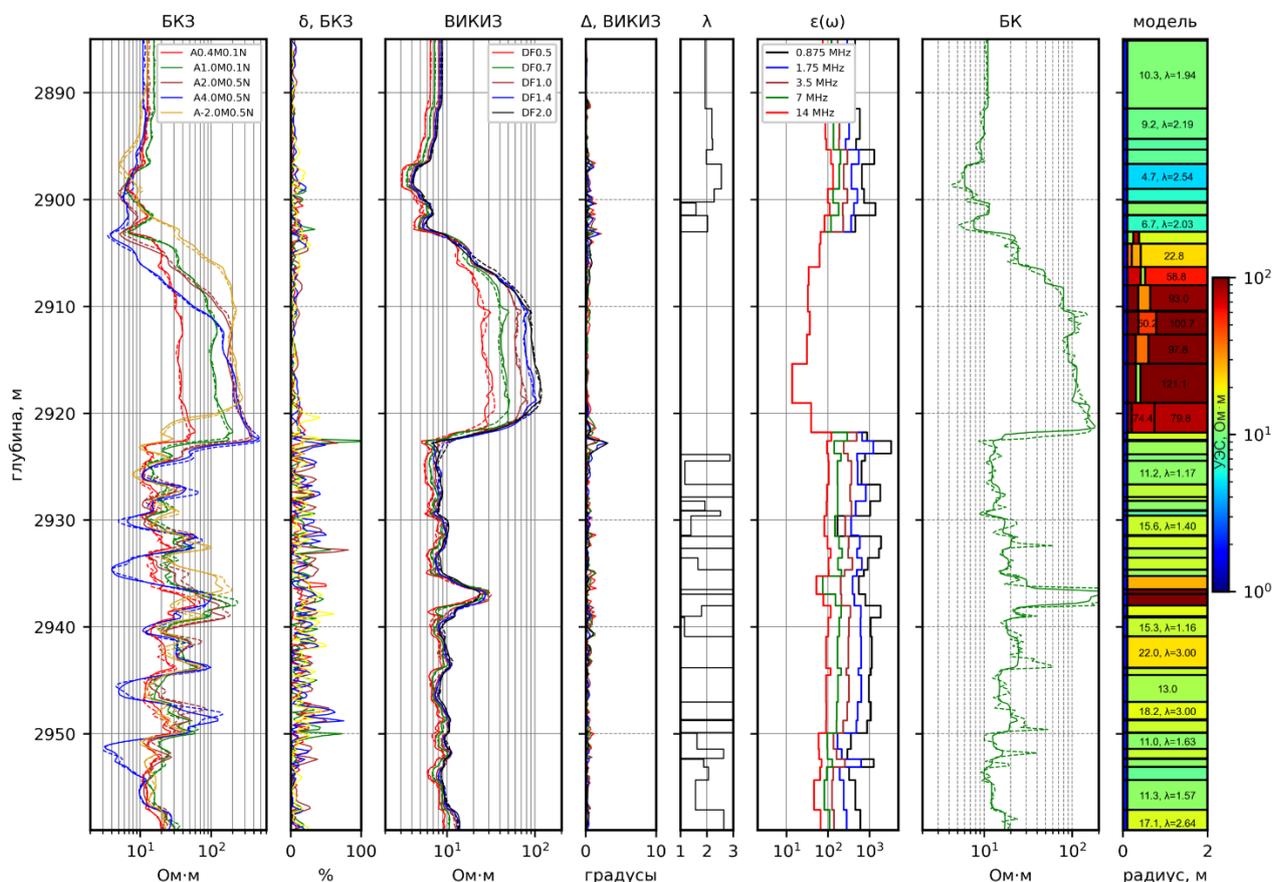


Рис. 2. Геоэлектрическая модель коллектора ЮС2 и вмещающих его отложений. Сплошными линиями – сигналы, рассчитанные в модели, пунктирными – наблюдаемые; справа от данных БКЗ и ВИКИЗ – поля с невязками подбора сигналов, далее коэффициент анизотропии (λ), относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ), данные БК (измерение и расчет в подобранной модели); горизонтальное УЭС

В силу существенной частотной дисперсии диэлектрической проницаемости вмещающих отложений согласование данных ВИКИЗ с данными каротажа на постоянном токе при использовании резистивной модели невозможно. Для учета поляризации была проведена инверсия сигналов каждого из зондов ВИКИЗ в отдельности, с подбором диэлектрической проницаемости. Таким образом получена зависимость $\varepsilon(\omega)$ для частот ВИКИЗ (0.875 МГц, 1.75 МГц, 3.5 МГц, 7 МГц, 14 МГц).

Высокое УЭС неизменной части коллектора соответствует нефтяному насыщению. Установленные значения ε соответствуют значениям, определяемым в аналогичных отложениях по данным ГИС в других скважинах и на других площадях. Минимальное значение ε определяется в наиболее карбонатизированной части коллектора (нижняя треть) с наибольшим УЭС. Вмещающие коллектор породы, представленные мощными глинистыми отложениями, местами карбонатизированными, характеризуются большой анизотропией УЭС и частотной дисперсией диэлектрической проницаемости, что также соответствует ранее установленным зависимостям [5].

Стоит отметить большие невязки при переходе к контрастным по УЭС глинистым отложениям непосредственно под коллектором, что предположительно связано с недостаточно хорошей увязкой сигналов по глубине. Дополнительной проверкой качества подбора параметров является совпадение измеренных и рассчитанных в подобранной модели сигналов бокового каротажа.

Заключение

На примере обработки данных, измеренных на интервале коллектора ЮС₂ и вмещающих его отложений в скважине Восточно-Сургутского месторождения, показано, что совместная инверсия сигналов БКЗ и ВЭМКЗ – эффективный инструмент для исследования юрских отложений, характерных для Широкого Приобья Западной Сибири. Совместная численная инверсия данных БКЗ и ВИКИЗ на базе двумерной осесимметричной модели позволяет устранить кажущуюся несогласованность измеренных сигналов и получить достоверные, согласованные по данным двух методов оценки электрофизических свойств отложений.

Исследования выполнены в рамках проекта 0331-2019-0014 ФНИ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петров А.М., Нечаев О.В., Сухорукова К.В. Быстрая совместная двумерная инверсия данных электромагнитных и гальванических каротажных зондирований с определением вертикального сопротивления // ГЕО-Сибирь-2018. Т. 4. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология: сб. материалов XIV Международного научного конгресса, Новосибирск, 23-27 апреля 2018 г. – 2018. – С. 90-98.
2. Ельцов И.Н., Назаров Л.А., Нестерова Г.В., Эпов М.И., Интерпретация геофизических измерений в скважинах с учетом гидродинамических и геомеханических процессов в зоне прониновения // Доклады академии наук. – 2012 – Т. 445. – № 6. – С. 667–680.

3. Назарова Л.А., Назаров Л.А., Эпов М.И., Ельцов И.Н., Эволюция геомеханических и электрогидродинамических полей в массиве горных пород при бурении глубоких скважин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 5. – С. 37–49.

4. 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.

5. Эпов М.И., Глинских В.Н., Петров А.М., Сухорукова К.В., Федосеев А.А., Нечаев О.В., Никитенко М.Н., Частотная дисперсия электрофизических характеристик и электрическая анизотропия пород баженовской свиты по данным электрокаротажа Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 9. – С. 62–64.

REFERENCES

1. Petrov A.M., Nechaev O.V., Sukhorukova K.V. Bystraya sovместnaya dvumernaya inversiya dannyh elektromagnitnyh i gal'vanicheskikh karotaznyh zondirovaniy s opredeleniem vertikal'nogo soprotivleniya // GEO-Sibir'-2018. T. 4. Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. Ekonomika. Geoeologiya: sb. materialov XIV Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa, Novosibirsk, 23-27 aprelya 2018 g. – 2018. – S. 90-98.

2. El'cov I.N., Nazarov L.A., Nesterova G.V., Epov M.I., Interpretaciya geofizicheskikh izmenenij v skvazhinah s uchetom gidrodinamicheskikh i geomekhanicheskikh processov v zone proniknoveniya // Doklady akademii nauk. – 2012 – Т. 445. – № 6. – S. 667–680

3. Nazarova L.A., Nazarov L.A., Epov M.I., El'cov I.N., Evolyuciya geomekhanicheskikh i elektrogidrodinamicheskikh polej v massive gornyh porod pri burenii glubokih skvazhin // Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh. – 2013. – № 5. – S. 37–49.

4. El'cov I.N., Nazarova L.A., Nazarov L.A., Nesterova G.V., Sobolev A.YU., Epov M.I., Skvazhinnaya geoelektrika neftegazovyh plastov, razburivaemyh na repressii davleniya v neravnokomponentnom pole napryazhenij // Geologiya i geofizika. – 2014. – Т. 55. – № 5–6. – S. 978–990.

5. Epov M.I., Glinskih V.N., Petrov A.M., Suhorukova K.V., Fedoseev A.A., Nechaev O.V., Nikitenko M.N., CHastotnaya dispersiya elektrofizicheskikh harakteristik i elektricheskaya anizotropiya porod bazhenovskoj svity po dannyh elektrokartotazha Neftyanoje hozyajstvo. – 2014. – № 9. – S. 62–64.

© А. Р. Леоненко, К. В. Сухорукова, А. М. Петров, 2021