

## **ИНВЕРСИЯ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА В КЛАССЕ МОДЕЛЕЙ С ПЛАВНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ УЭС**

*Владислав Андреевич Окунев*

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 1, студент, e-mail: v.okunev@g.nsu.ru

*Андрей Юрьевич Соболев*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3, к. т. н., старший научный сотрудник, e-mail: SobolevAY@ipgg.sbras.ru

В статье представлено модельное описание геоэлектрического строения околоскважинного пространства для интерпретации данных электромагнитного каротажа в классе моделей с плавным и кусочно-линейным распределением удельного электрического сопротивления (УЭС). Были использованы готовые модули расчета АТЛАС МФМ, и библиотека для python, разработанная в ИНГГ СО РАН.

**Ключевые слова:** электромагнитный каротаж, АТЛАС МФМ, ВИКИЗ, распределение УЭС

## **INVERSION OF ELECTROMAGNETIC LOGGING DATA IN A CLASS OF MODELS WITH A SMOOTH RESISTIVITY DISTRIBUTION**

*Vladislav A. Okunev*

Novosibirsk State University, 1 Pirogova str., Novosibirsk, 630090, Russia, Student, e-mail: v.okunev@g.nsu.ru

*Andrey Yu. Sobolev*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, PhD, Senior Researcher, e-mail: SobolevAY@ipgg.sbras.ru

The article presents an alternative geoelectric model of the near-borehole space for electromagnetic logging data inversion in the class of models with a smooth and piecewise linear distribution of the electrical resistivity. We used ready-made ATLAS MPhM calculation modules, a library for python developed at the IPGG SB RAS.

**Keywords:** electromagnetic logging, ATLAS MPhM, VIKIZ, electrical resistivity distribution

В промышленной геофизике задача добычи и разведки залежей нефти становится все сложнее и сложнее, что требует развития новых подходов для обработки данных геофизических исследований в скважинах. В современном мире различные методы каротажа используют совместно, что позволяет добиться высокой точности оценок параметров среды. Традиционная обработка данных электрического каротажа основывается на модельном подходе, когда среду описывают небольшим числом параметров, затем по этим параметрам расчи-

тывается синтетический сигнал, который сравнивается с измеренным, и параметры модифицируют таким образом, чтобы минимизировать это расхождение.

Самая распространенная модель для описания околоскважинного пространства — цилиндрически-слоистая. Среду разбивают на небольшое количество кольцевых зон с постоянной проводимостью. Системы, разработанные в ИНГГ СО РАН (например, EMF Pro), используют именно такой подход [1].

Разными исследователями было неоднократно показано, что для плавной модели можно подобрать эквивалентную ступенчатую модель как электрического, так и электромагнитного каротажа [2], однако эти эквивалентные модели разные для разных методов, а полученные оценки значений параметров систематически искажены.

Для повышения достоверности интерпретации данных каротажа в работе создается прототип системы инверсии данных электромагнитного каротажа в классе моделей с плавным распределением удельного электрического сопротивления (УЭС) и опробуется на синтетических данных.

АТЛАС МФМ — разрабатываемая в ИНГГ система, которая позволяет моделировать механические и гидродинамические процессы в околоскважинном пространстве [3]. На рисунке 1 представлен интерфейс АТЛАС МФМ. Слева приводятся параметры среды, развертка времени, а в центре и справа — рассчитанные распределения минерализации, водонасыщенности и УЭС с расстоянием от оси скважины.

В системе АТЛАС МФМ по заданным параметрам пласта и режима бурения моделируются геомеханические и гидродинамические процессы в околоскважинном пространстве [4], асчитываются распределения солености и водонасыщенности, по заданным петрофизическим зависимостям, например закону Арчи-Дахнова [5], производится расчет УЭС и затем рассчитываются синтетические сигналы электрических и электромагнитных каротажных зондов [3].

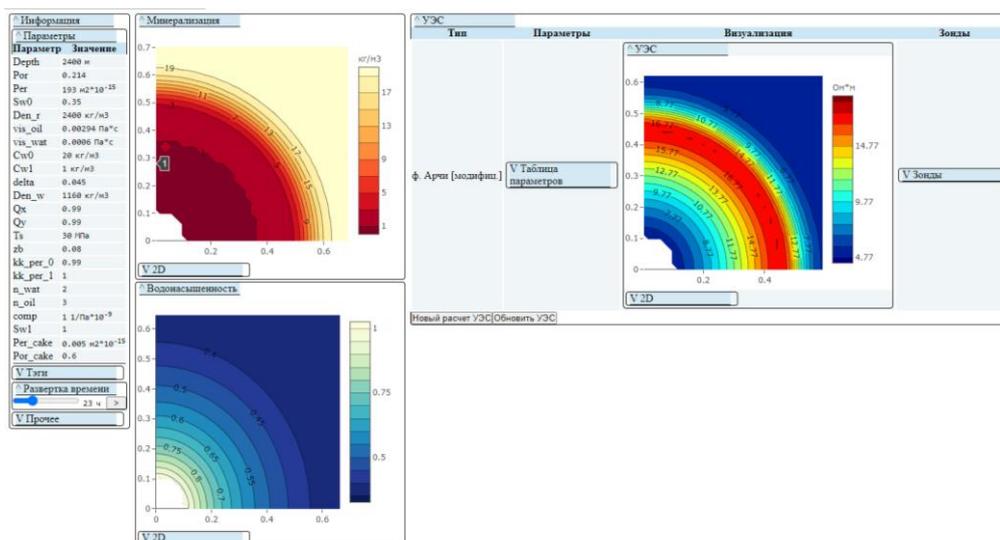


Рис. 1. Интерфейс системы АТЛАС МФМ.

Полученные таким образом псевдоэкспериментальные сигналы зондов интерпретировались как стандартным способом, когда распределение УЭС описывается кусочно-постоянной функцией, так и кусочно-линейными функций (рис. 2). В обоих случаях для заданного распределения УЭС рассчитываются значения фазовых и амплитудных сигналов ВИКИЗ (рис. 3), используя библиотеку расчета АТЛАС МФМ [6], и проводится подбор параметров моделей алгоритмом Нелдера-Мида в реализации библиотеки Scipy.optimize для языка Python [7] так, чтобы теоретические сигналы были близки к псевдоэкспериментальным. Из графика УЭС (рис. 2, слева) видно, что кусочно-линейная модель хорошо описывает сопротивление зоны проникновения. Но на графике удельной электрической проводимости, УЭП (рис. 2, справа) видно, что эта же модель плохо описывает окаймляющую зону. Кусочно-постоянная модель заметно грубее в обоих случаях.

На рис. 3 приведены сигналы зондов ВИКИЗ: разности фаз, пересчитанные в кажущееся сопротивление (слева), и относительные амплитуды (справа). Синие штрихи — это псевдоэкспериментальные значения показания зондов ВИКИЗ и погрешность измерения, желтая линия — теоретическая кривая для подобранной цилиндрически-слоистой модели, зеленая — для кусочно-линейной модели. Оптимальная цилиндрически-слоистая модель хуже описывает данные: отклонение теоретических значений зондов 0.5 и 0.7 м превышают погрешность измерений.

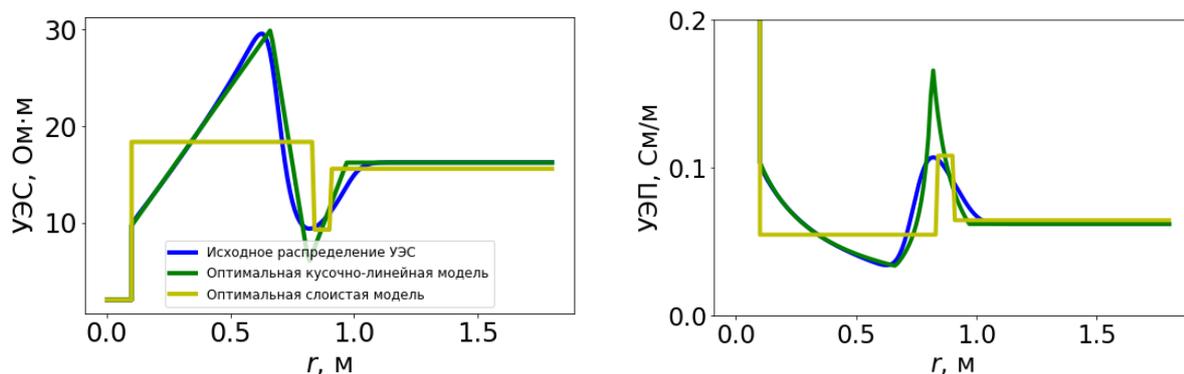


Рис. 2. Подобранные модели и исходное распределение УЭС (слева) и проводимости (справа) кусочно-линейной функцией

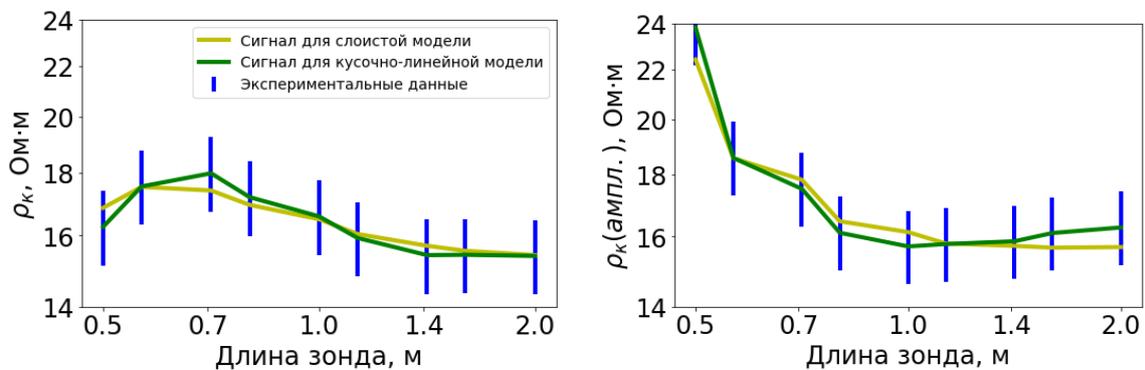


Рис. 3 Сигналы зондов ВИКИЗ для кусочно-линейной функции распределения

Исходя из вида кривых радиального распределения УЭС, получаемых в системе АТЛАС МФМ для широкого диапазона возможных параметров, был предложен вид сглаженной функции, описываемой тем же числом параметров, подобрано окно сглаживания. На рис. 4 приведены оптимальная слоистая и плавная модели, и исходное распределение УЭС. Также приведены рассчитанные сигналы зондов ВИКИЗ (рис. 5).

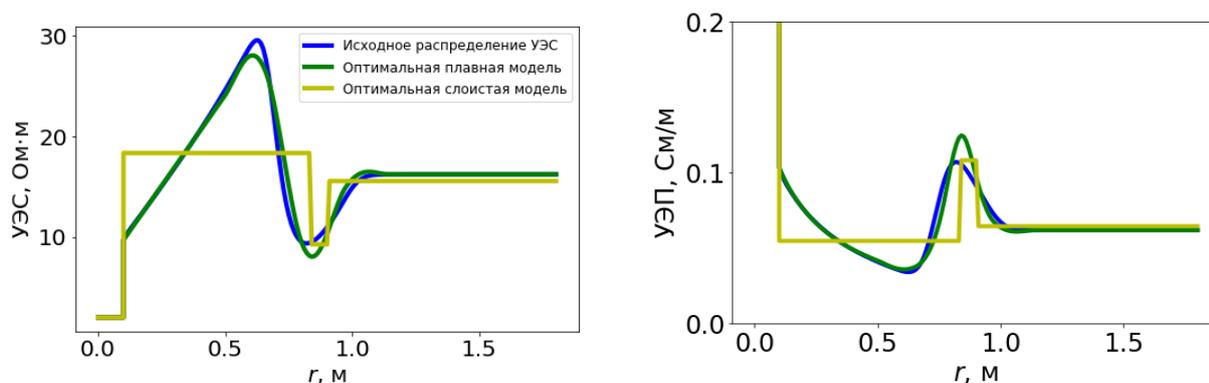


Рис. 4. Подобранные модели и исходное распределение УЭС (слева) и проводимости (справа) плавной функцией

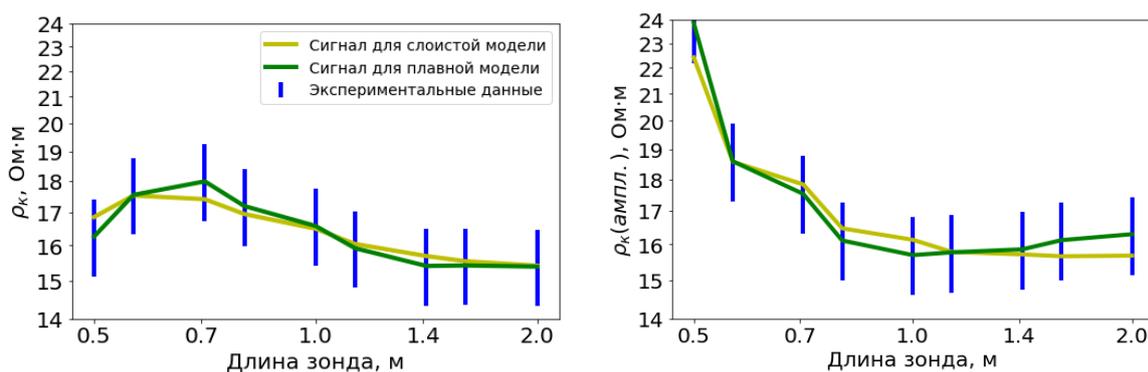


Рис. 5. Сигналы зондов ВИКИЗ для плавной функции распределения

**Заключение.** Создан в виде набора функций прототип системы инверсии данных электромагнитного каротажа в классе моделей с непрерывным распределением удельного электрического сопротивления (УЭС). Рассчитаны синтетические сигналы ВИКИЗ в пласте заданных параметров, проведена интерпретация в классах кусочно-линейных и непрерывных (кусочно-линейной и плавной) функций распределения УЭС; показана возможность такого подхода.

*Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ No 0331–2019–0015 «Реалистичные теоретические модели и программно–методическое обеспечение геоэлектрики гетерогенных геологических сред».*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ельцов И.Н., Власов А.А., Соболев А.Ю., Фаге А.Н., Байкова М.А. Обработка, визуализация и интерпретация геофизических исследований в скважинах в системе EMF Pro: учеб. пособие / Новосибирск, 2016. – 94 с.
2. Антонов Ю. Н., Жмаев С. С. Высокочастотное индукционное каротажное изопараметрическое зондирование (ВИКИЗ). Метод. рекомендации. – 1979. – 104 с.
3. Нестерова Г.В., Ельцов И.Н., Соболев А.Ю., Суродина И.В. Многофизические модели коллекторов: построение базы данных АТЛАС МФМ [Электронный ресурс] // Геомодель-2019: 21-я конференция по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа (г. Геленджик, 9-13 сентября 2019 г.): Тезисы докладов. – 2019. – С. 1-5.
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 – 55(5-6) – 978-990.
5. Нестерова Г.В. Математические модели электропроводности двухкомпонентных сред и формула Арчи (по материалам публикаций). НТВ Каротажник. – 2008. – № 10. – С. 81-101.
6. Черняк Н.М., Соболев А.Ю., Нестерова Г.В., Ельцов И.Н. Построение цифровой модели коллектора с использованием реляционной базы многофизических моделей прискважинной зоны. – 2020. – С. 710-717.
7. Gao F., Han L. Implementing the Nelder-Mead simplex algorithm with adaptive parameters // Computational Optimization and Applications – 2012. – 51:1. – P. 259-277.

## REFERENCES

1. El'cov I.N., Vlasov A.A., Sobolev A.YU., Fage A.N., Bajkova M.A. Obrabotka, vizualizaciya i interpretaciya geofizicheskikh issledovanij v skvazhinah v sisteme EMF Pro: ucheb. posobie / Novosibirsk, 2016. – 94 s.
2. Antonov YU. N., ZHmaev S. S. Vysokochastotnoe indukcionnoe karotazhnoe izoparametricheskoe zondirovanie (VIKIZ). Metod. rekomendacii. – 1979. – 104 s.
3. Nesterova G.V., El'cov I.N., Sobolev A.YU., Surodina I.V. Mnogofizichnye modeli kollektorov: postroenie bazy dannyh ATLAS MFM [Elektronnyj resurs] // Geomodel'-2019: 21-ya konferenciya po voprosam geologorazvedki i razrabotki mestorozhdenij nefti i gaza (g. Gelendzhik, 9-13 sentyabrya 2019 g.): Tezisy dokladov. – 2019. – S. 1-5.
4. Yeltsov, I. N., Nazarova, L. A., Nazarov, L. A., Nesterova, G. V., Sobolev, A., & Epov, M. I. (2014). Geomechanics and fluid flow effects on electric well logs: Multiphysics modeling. Russian Geology and Geophysics – 55(5-6) – 775-783.
5. Nesterova G.V. Matematicheskie modeli elektroprovodnosti dvuhkomponentnyh sred i formula Archi (po materialam publikacij). NTV Karotazhnik. – 2008. – № 10. – S. 81-101.
6. CHernyak N.M., Sobolev A.YU., Nesterova G.V., El'cov I.N. Postroenie cifrovoj modeli kollektora s ispol'zovaniem relyacionnoj bazy mnogofizichnyh modelej priskvazhinnoj zony. – 2020. – S. 710-717.
7. Gao F., Han L. Implementing the Nelder-Mead simplex algorithm with adaptive parameters // Computational Optimization and Applications – 2012. – 51:1. – P. 259-277.

© В. А. Окунев, А. Ю. Соболев, 2021