

ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГИС В ИНТЕРВАЛАХ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Елена Юрьевна Темникова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, инженер, e-mail: TemnikovaEU@ipgg.sbras.ru

Серафим Игоревич Грубась

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, инженер, e-mail: GrubasSI@ipgg.sbras.ru

Арсений Артемович Федосеев

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3, инженер, e-mail: FedoseevAA@ipgg.sbras.ru

С использованием разработанного вычислительного алгоритма литологической интерпретации данных ГИС на основе искусственных нейронных сетей построены объемные модели относительного содержания породообразующих компонентов баженовской свиты и выделены ее основные типы пород. По результатам литологической интерпретации построены корреляционные схемы баженовской свиты, которые позволили проследить пространственное распределение вещественного состава и основных типов пород баженовской свиты в пределах Салымского месторождения.

Ключевые слова: баженовская свита, геофизические исследования скважин, искусственные нейронные сети

LITHOLOGICAL INTERPRETATION ACCORDING TO WELL-LOGGING DATA FOR THE BAZHENOV FORMATION WITH USAGE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Elena U. Temnikova

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

Serafim I. Grubas

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

Arsenii A. Fedoseev

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

Using artificial neural networks for lithological interpretation according to well logging data, models of the relative content of rock-forming components of the Bazhenov Formation were constructed and its main types of rocks were identified in accordance with a modern classification. Results of lithological interpretation were used for building correlation schemes, which made it possible

to trace the spatial distribution of the material composition and main types of rocks of the Bazhenov Formation for the Salym field.

Keywords: Bazhenov Formation, well logging, artificial neural networks

Баженовская свита является одновременно как основной нефтепроизводящей толщей, так и региональным глинистым флюидоупором для углеводородных залежей в отложениях оксфорда верхней юры. Ее отличительной особенностью служит высокая степень неоднородности состава [1, 2, 3 и др.], обусловленная изменением содержания в разрезе свиты глинистых, кремнистых, карбонатных породообразующих компонентов и органического вещества. В связи с тем, что разрезы скважин слабо охарактеризованы керновым материалом, необходимо уделять большое внимание развитию методического обеспечения литологической интерпретации данных геофизических исследований в скважинах (ГИС).

Один из широко применяемых подходов к определению вещественного состава терригенных пород основывается на решении системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) [4, 5], который зарекомендовал свое применение для литологической интерпретации данных ГИС в интервалах баженовской свиты [6, 7, 8, 9]. Основным преимуществом описываемого подхода является возможность оперативно определять объемное содержание породообразующих компонентов. Его методическая особенность заключается в линейности связи между сигналами ГИС и искомыми содержаниями компонентов, что является существенным недостатком, поскольку связь сигналов каротажа с литологическим составом пород намного сложнее, особенно для таких объектов, как баженовская свита.

В настоящей работе предлагается применение нелинейного алгоритма интерпретации данных ГИС на основе искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС являются универсальными аппроксиматорами [10], основное преимущество которых заключается в их гибкости, позволяющей учитывать любого рода априорную информацию или физические законы [11]. Опыт успешного применения ИНС для интерпретации данных ГИС в петрофизических и литологических исследованиях представлен в работах [12, 13].

Для литологической интерпретации ГИС с применением вычислительного алгоритма на основе ИНС рассмотрены пять скважин с расширенным комплексом ГИС в интервалах баженовской свиты, включающего в себя методы радиоактивного, акустического, электрического и электромагнитного каротажей. В дополнение к каротажным данным, для одной из исследуемых скважин проанализированы данные лабораторных литологических и геохимических исследований керна, выполненные в ИНГГ СО РАН [14].

В работе используется нейронная сеть, которая является функцией, зависящей от входных аргументов и внутренних параметров:

$$F(x, \theta) = \{f_1(x, \theta), \dots, f_N(x, \theta)\},$$

где $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ – входные аргументы, представленные данными ГИС; n – количество входных данных; Θ – внутренние параметры нейросети, которые подбираются в процессе обучения; f_1, \dots, f_N – набор функций, аппроксимирующих содержание каждого порообразующего компонента; N – общее количество порообразующих компонентов.

Для определения вещественного состава пород баженовской свиты использовалась полносвязная архитектура нейронной сети с 5 скрытыми слоями и 100 нейронами на каждом слое; алгоритм обучения Adam [15] с шагом обучения 0.001. Количество эпох обучения составило 4000, размер обучающей выборки равен количеству образцов керна – 35.

На рисунке 1 представлен результат применения ИНС для оценки вещественного состава баженовской свиты (первые шесть треков), ее объемная модель (седьмой трек) и литологическая колонка (восьмой трек). Выделение основных типов пород проводилось согласно современной классификации, базирующейся на представлении распределения кремнистого, глинистого, карбонатного и органического вещества в баженовской свите [14]. Ошибка на обучающей выборке составила около 7%, что является допустимым в нашей задаче.

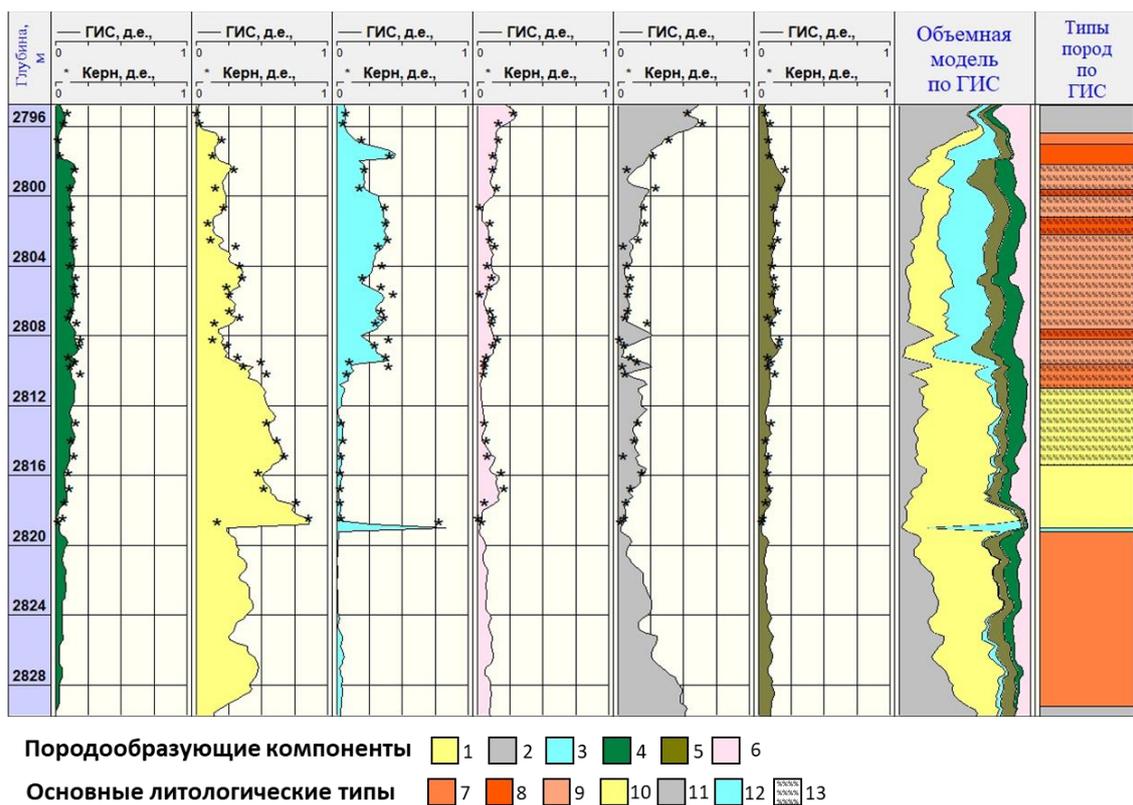


Рис. 1. Литологическая модель баженовской свиты Салымского месторождения, построенная с применением искусственной нейронной сети

Условные обозначения: 1 – кремнистые минералы, 2 – глинистые минералы, 3 – карбонатные минералы, 4 – органическое вещество, 5 – пирит, 6 – альбит, 7 – глинисто-кремнистые микститы, 8 – карбонатно-глинистые микститы, 9 – карбонатно-кремнистые микститы, 10 – силициты, 11 – аргиллиты, 12 – карбонаты, 13 – высокоуглеродистые породы.

На основе результатов применения обученной нейронной сети к исследуемым скважинам построены корреляционные схемы баженовской свиты участка Салымского месторождения и прослежена пространственная изменчивость ее вещественного состава (рис. 2).

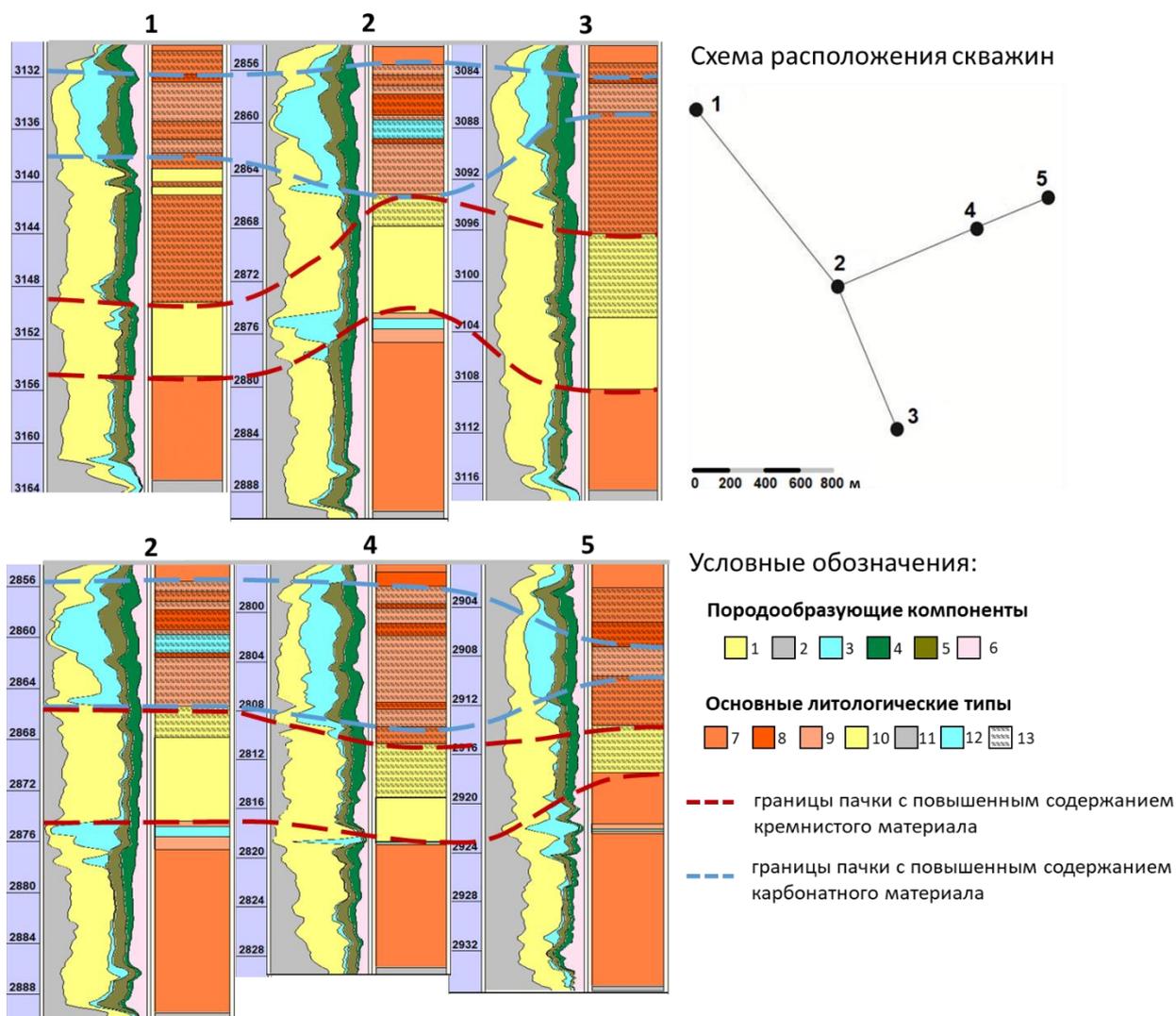


Рис. 2. Субмеридиональная и субширотная корреляционные схемы баженовской свиты участка Салымского месторождения

Условные обозначения: см. рис. 1

Анализируя результаты литологической интерпретации, можно отметить, что карбонатно-кремнистые и высокоуглеродистые породы находятся в верхней части баженовской свиты. Ниже по разрезу наблюдаются относительно мощные силициты, которые подстилаются глинисто-кремнистыми микститами.

На субмеридиональной корреляционной схеме мощность карбонатно-кремнистых пород в кровле баженовской свиты практически не изменяется. Толщины карбонатно-кремнистых и глинисто-кремнистых микститов баженовской свиты максимальны для центральной части участка Салымского месторождения

и уменьшаются в северо-западном и юго-восточном направлениях. Мощность силицитов остается неизменной по разрезу, в то время как толщина высокоуглеродистых силицитов увеличивается с северо-запада на юго-восток.

На субширотной корреляционной схеме в кровле баженовской свиты с юго-запада на северо-восток увеличивается мощность глинисто-кремнистых микститов. Ниже залегают карбонатно-кремнистые породы, мощность которых минимальна на востоке территории. Они подстилаются силицитами, с увеличением мощностей с северо-востока на юго-запад. В подошве свиты залегают глинисто-кремнистые породы, с максимальной мощностью на востоке территории. В нижней части баженовской свиты наблюдается пик с повышенным содержанием карбонатного материала, обладающий максимальной мощностью карбонатных пород в центральной части рассматриваемой территории.

Из оценки средних концентраций породообразующих компонентов баженовской свиты Салымского месторождения следует, что наибольшего содержания достигают кремнистые минералы, 34%. Глинистые и карбонатные минералы составляют 20% и 15% соответственно. При этом наблюдаются относительно пониженные средние содержания органического вещества – 9%. Близкие по значениям концентрации приходятся на альбит (11%) и пирит (9%).

Таким образом, в работе показан опыт реализации разработанного алгоритма на основе ИНС для литологической интерпретации данных ГИС применительно к изучению вещественного состава баженовской свиты. С применением разработанного вычислительного алгоритма на основе ИНС рассчитаны относительные содержания породообразующих компонентов баженовской свиты и выделены ее основные литологические типы пород. Используя полученные литологические модели, были построены корреляционные схемы баженовской свиты, прослежена изменчивость ее вещественного состава и мощностей литологических типов пород в пределах Салымского месторождения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-77-20130. «Фундаментальные основы импульсного электромагнитного зондирования с управляемым спектром: теоретическое обоснование инновационного геофизического метода геологоразведки с использованием высокопроизводительных вычислений на базе Сибирского суперкомпьютерного центра СО РАН».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зарипов В.А., Ушатинский И.Н. Особенности формирования, строения и состава битуминозных отложений баженовской свиты в связи с их нефтеносностью // Труды ЗапСибНИГРИ, вып.113. – Тюмень, 1976. – С.53-71.
2. Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна // Литосфера. – 2005. – № 4. – С. 118-135.
3. Немова В.Д. Многоуровневая литологическая типизация пород баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 8. – С. 13-17.
4. Moss B., Harrison R. Statistically Valid Log Analysis Method Improves Reservoir Description // SPE 13981. – 1985.

5. Петерсилье В.И., Пороскун В.И., Яценко Г.Г. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом // Москва-Тверь, ВНИГНИ, НПЦ “Тверьгеофизика”. – 2003. – 130 с.
6. Куляпин П.С., Соколова Т.Ф. Прогноз коллекторов в разрезе баженовской свиты по материалам керна и геофизических исследований скважин // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т.326. – №1. – С. 118–133.
7. Калмыков Г.А. Стрoение баженовского нефтегазоносного комплекса как основа прогноза дифференцированной нефтепродуктивности // Диссертация д.г.-м.н. М: МГУ. – 2016. – 391 с.
8. Федосеев А. А., Глинских В. Н., Казаненков В. А. Относительное содержание породообразующих компонентов и основные литологические типы пород баженовской свиты и её стратиграфических аналогов по данным геофизических исследований скважин и керна // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2018. – Т. 13. – №. 2. – С. 5-5.
9. Temnikova E. Y., Fedoseev A. A., Glinskikh V. N. The material composition and dispersion properties of unconventional reservoir according to electromagnetic sounding // SEG Technical Program Expanded Abstracts 2020. – Society of Exploration Geophysicists, 2020. – С. 1170-1174.
10. Cybenko G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function // Mathematics of control, signals and systems. – 1989. – Т. 2. – №. 4. – С. 303-314.
11. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G. E. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations // Journal of Computational Physics. – 2019. – Т. 378. – С. 686-707.
12. Lee S. H., Datta-Gupta A. Electrofacies characterization and permeability predictions in carbonate reservoirs: role of multivariate analysis and nonparametric regression // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Society of Petroleum Engineers, 1999.
13. Al-Mudhafar W. J. Integrating well log interpretations for lithofacies classification and permeability modeling through advanced machine learning algorithms // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2017. – Т. 7. – №. 4. – С. 1023-1033.
14. Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Эдер В.Г. Классификация пород Баженовской свиты // Геология и геофизика. – 2016. – Т.57. – №11. – С. 2034–2043.
15. Kingma D. P., Ba J. Adam: A method for stochastic optimization. arXiv preprint arXiv:1412.6980.

REFERENCES

1. Zaripov V.A., Ushatinskij I.N. Osobennosti formirovaniya, stroeniya i sostava bituminoznyh otlozhenij bazhenovskoj svity v svyazi s ih neftenosnost'yu // Trudy ZapSibNIGRI, vyp.113. – Tyumen', 1976. – S. 53-71.
2. Zanin YU.N., Zamirajlova A.G., Eder V.G. Nekotorye aspekty formirovaniya bazhenovskoj svity v central'nyh rajonah Zapadno-Sibirskogo osadochnogo bassejna // Litosfera. – 2005. – № 4. – S. 118-135.
3. Nemova V.D. Mnogourovnevaya litologicheskaya tipizaciya porod bazhenovskoj svity // Neftyanoe hozyajstvo. – 2019. – № 8. – S. 13-17.
4. Moss B., Harrison R. Statistically Valid Log Analysis Method Improves Reservoir Description // SPE 13981. – 1985.
5. Petersil'e V.I., Poroskun V.I., YAcenko G.G. Metodicheskie rekomendacii po podschetu geologicheskikh zapasov nefti i gaza ob"emnym metodom // Moskva-Tver', VNIГNI, NPC “Tver'geofizika”. – 2003. – 130 s.
6. Kulyapin P.S., Sokolova T.F. Prognoz kollektorov v razreze bazhenovskoj svity po materialam kerna i geofizicheskikh issledovanij skvazhin // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. – 2015. – Т. 326. – №1. – S.118–133.

7. Kalmykov G.A. Stroenie bazhenovskogo neftegazonosnogo kompleksa kak osnova prognoza differencirovannoj nefteproduktivnosti // Dissertaciya d.g.-m.n. M: MGU. – 2016. – 391 s.
8. Fedoseev A. A., Glinskih V. N., Kazanenkov V. A. Otnositel'noe sodержanie porodoobrazuyushchih komponentov i osnovnye litologicheskie tipy porod bazhenovskoj svity i eyo stratigraficheskikh analogov po dannym geofizicheskikh issledovanij skvazhin i kerna // Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika. – 2018. – T. 13. – №. 2. – S. 5-5.
9. Temnikova E. Y., Fedoseev A. A., Glinskih V. N. The material composition and dispersion properties of unconventional reservoir according to electromagnetic sounding // SEG Technical Program Expanded Abstracts 2020. – Society of Exploration Geophysicists, 2020. – S. 1170-1174.
10. Cybenko G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function // Mathematics of control, signals and systems. – 1989. – T. 2. – №. 4. – S. 303-314.
11. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G. E. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations // Journal of Computational Physics. – 2019. – T. 378. – S. 686-707.
12. Lee S. H., Datta-Gupta A. Electrofacies characterization and permeability predictions in carbonate reservoirs: role of multivariate analysis and nonparametric regression //SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Society of Petroleum Engineers, 1999.
13. Al-Mudhafar W. J. Integrating well log interpretations for lithofacies classification and permeability modeling through advanced machine learning algorithms // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2017. – T. 7. – №. 4. – S. 1023-1033.
14. Kontorovich A.E., YAn P.A., Zamirajlova A.G., Kostyreva E.A., Eder V.G. Klassifikaciya porod Bazhenovskoj svity // Geologiya i geofizika. – 2016. – T.57. – №11. – S. 2034–2043.
15. Kingma D. P., Ba J. Adam: A method for stochastic optimization. arXiv preprint arXiv:1412.6980.

© Е. Ю. Темникова, С. И. Грубась, А. А. Федосеев, 2021