

УДК 550.8.053

DOI 10.31087/0016-7894-2019-1-86-91

Комплексный сейсмотермобарический и геохимический прогноз нефтегазопродуктивных зон баженовских отложений Западной Сибири

© 2019 г. | Е.А. Копилевич, Г.В. Кузнецов, Н.Д. Сулова, М.Б. Скворцов

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт», Москва, Россия; kopilevich@vnigni.ru; kuznecovgv@vnigni.ru; surova_n@mail.ru; skvortsov@vnigni.ru

Поступила 16.07.2018 г.

Принята к печати 12.11.2018 г.

Ключевые слова: *баженовская свита; комплексный спектрально-скоростной прогноз; атрибуты; перспективные зоны.*

Статья посвящена новому способу комплексного прогнозирования нефтегазоперспективных зон в высокоуглеродистых кремнисто-глинисто-карбонатных отложениях существенно биогенного генезиса с использованием новой методики выявления нефтегазопродуктивных зон баженовских отложений, которая представляет собой адаптацию инновационной технологии комплексного спектрально-скоростного прогноза типов геологического разреза и фильтрационно-емкостных свойств коллекторов. Новое прогнозирование по данным сейсморазведки, термобарических и геохимических исследований позволило авторам статьи разделить типы геологического разреза по сертифицированным сейсмическим спектрально-временным атрибутам, давлению, температуре и содержанию органического вещества с высокой достоверностью. Эффективность предложенного способа демонстрируется на примере баженовских отложений Западной Сибири.

Для цитирования: Копилевич Е.А., Кузнецов Г.В., Сулова Н.Д., Скворцов М.Б. Комплексный сейсмотермобарический и геохимический прогноз нефтегазопродуктивных зон баженовских отложений Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 2019. – № 1. – С. 86–91. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-1-86-91.

Integrated seismic-pressure-temperature and geochemical prediction of the Bazhenov pay zones in Western Siberia

© 2019 | E.A. Kopilevich, G.V. Kuznetsov, N.D. Surova, M.B. Skvortsov

All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia; kopilevich@vnigni.ru; kuznecovgv@vnigni.ru; surova_n@mail.ru; skvortsov@vnigni.ru

Received 16.07.2018

Accepted for publication 12.11.2018

Key words: *Bazhenov Formation; integrated spectral and velocity prediction; attributes; prospects.*

The paper discusses a new way of integrated prediction of oil and gas promising zones within high-carbon siliceous-argillaceous-carbonate formations having an essentially biogenic genesis. A new method of oil and gas promising zones identification in the Bazhenov formations was applied. This method is an adaptation of the innovative technology for integrated spectral and velocity prediction of geological section types and reservoir porosity and permeability. This new way of prediction using seismic, temperature, pressure, and geochemical data allowed the authors classifying geological sections into types with a high confidence level according to certified seismic time-spectral attributes, pressure, temperature, and Organic Matter content. Efficiency of the proposed methodology is demonstrated by the examples of the West Siberian Bazhenov formations.

For citation: Kopilevich E.A., Kuznetsov G.V., Surova N.D., Skvortsov M.B. Integrated seismic-pressure-temperature and geochemical prediction of the Bazhenov pay zones in Western Siberia. *Geologiya nefiti i gaza = Oil and gas geology*. 2019;(1):86–91. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-1-86-91.

Баженовские отложения Западной Сибири представляют собой высокоуглеродистые, кремнисто-глинисто-карбонатные толщи существенно биогенного, автохтонного генезиса. К этим отложениям приурочены нефть и газ, содержащиеся в плотных низкопористых, низкопроницаемых породах.

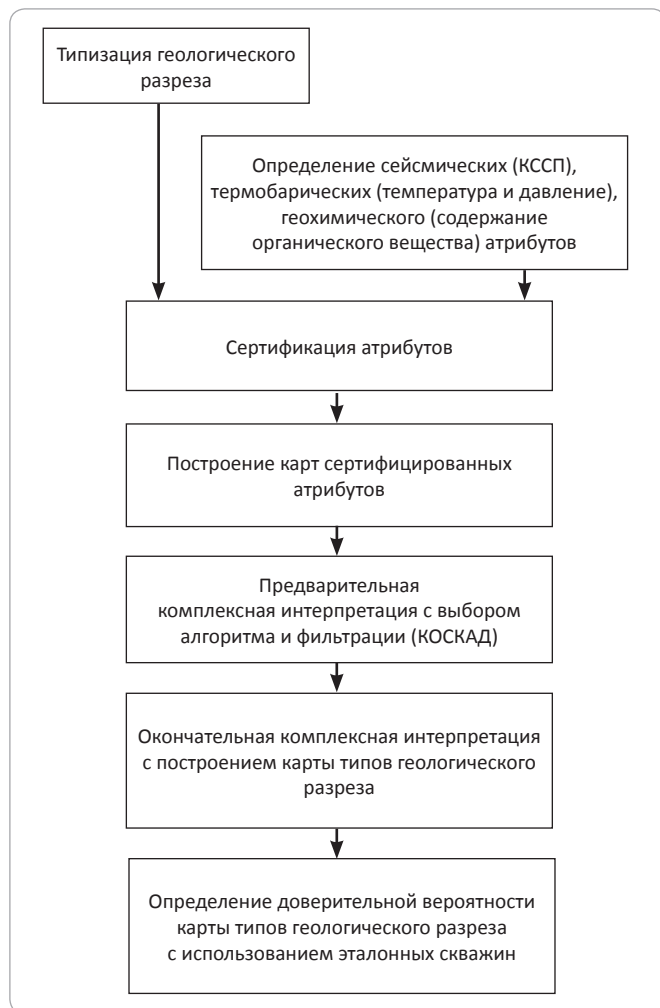
Существующие технологии не во всех случаях позволяют получать устойчивые и относительно достоверные результаты даже при комплексировании сейсморазведки с другими геофизическими методами.

Известны геофизические методы определения типов геологического разреза в межскважинном пространстве на основе спектрально-временного и псевдоакустического преобразования сейсмической

записи с получением сертифицированных спектрально-временных и псевдоакустического атрибутов, а также паспортов типов геологического разреза (Копилевич Е.А. и др. Патенты на изобретение № 2183335, 2002, № 2205434, 2003, № 2255358, 2005; Мушин И.А., Белоусов Г.А. Патент на изобретение № 2603828, 2016). Спектрально-временные сейсмические атрибуты (СВА) представляют собой произведения удельной спектральной плотности на максимальную или средневзвешенную частоту и время, а также отношение энергии высоких частот и больших времен к энергии малых частот и времен энергетических спектров результата спектрально-временного анализа сейсмической записи СВАН-колонки. Получение спектрально-временных образов сейсмической

Рис. 1. Блок-схема комплексного прогноза нефтегазопродуктивных типов геологического разреза баженовских отложений

Fig. 1. Schematic diagram of integrated prediction of oil and gas bearing types in geological section of Bazhenov series



ческих трасс, определение СВА, их сертификация и последующая формализованная количественная интерпретация выполняются с использованием технологии комплексного спектрально-скоростного прогнозирования (КССП) [1]. Применительно к сложным сейсмогеологическим условиям баженовских отложений выполнена адаптация инновационной технологии КССП и разработана эффективная методика прогноза нефтегазопродуктивных зон на территории Западной Сибири [2, 3].

Сейсмический паспорт представляет собой последовательность всех сейсмических трасс, упорядоченную по нарастанию или убыванию мощности баженовских отложений. Границы типов геологического разреза устанавливаются по зонам однородности корреляционной матрицы сейсмического паспорта, а затем переносятся в исходные координаты исследуемой территории, тем самым строится карта типов геологического разреза (Мушин И.А., Белоусов Г.А., 2016).

Однако одной сейсмической информации не всегда оказывается достаточно для получения устойчивых, надежных и геологически обоснованных результатов.

Известно, что комплексирование физически разнородных исходных атрибутов в значительной степени повышает точность геолого-геофизического прогноза (Никитин А.А., Хмелевской В.К., 2012). В разработанной ФГБУ «ВНИГНИ» «Методике изучения резко изменяющихся свойств баженовских отложений и выявления нефтегазопродуктивных типов геологического разреза» в качестве исходных используются, помимо сейсмических спектрально-временных атрибутов, охарактеризованных выше, термобарические параметры, определяющие степень катагенеза высокоуглеродистых отложений битуминозного типа, — внутрипластовое давление и температура, которые в значительной степени определяют также упругие свойства среды. Большое значение для нефтегазопродуктивности высокоуглеродистых отложений битуминозного типа имеет геохимический параметр — содержание органического вещества. Блок-схема разработанной методики представлена на рис. 1.

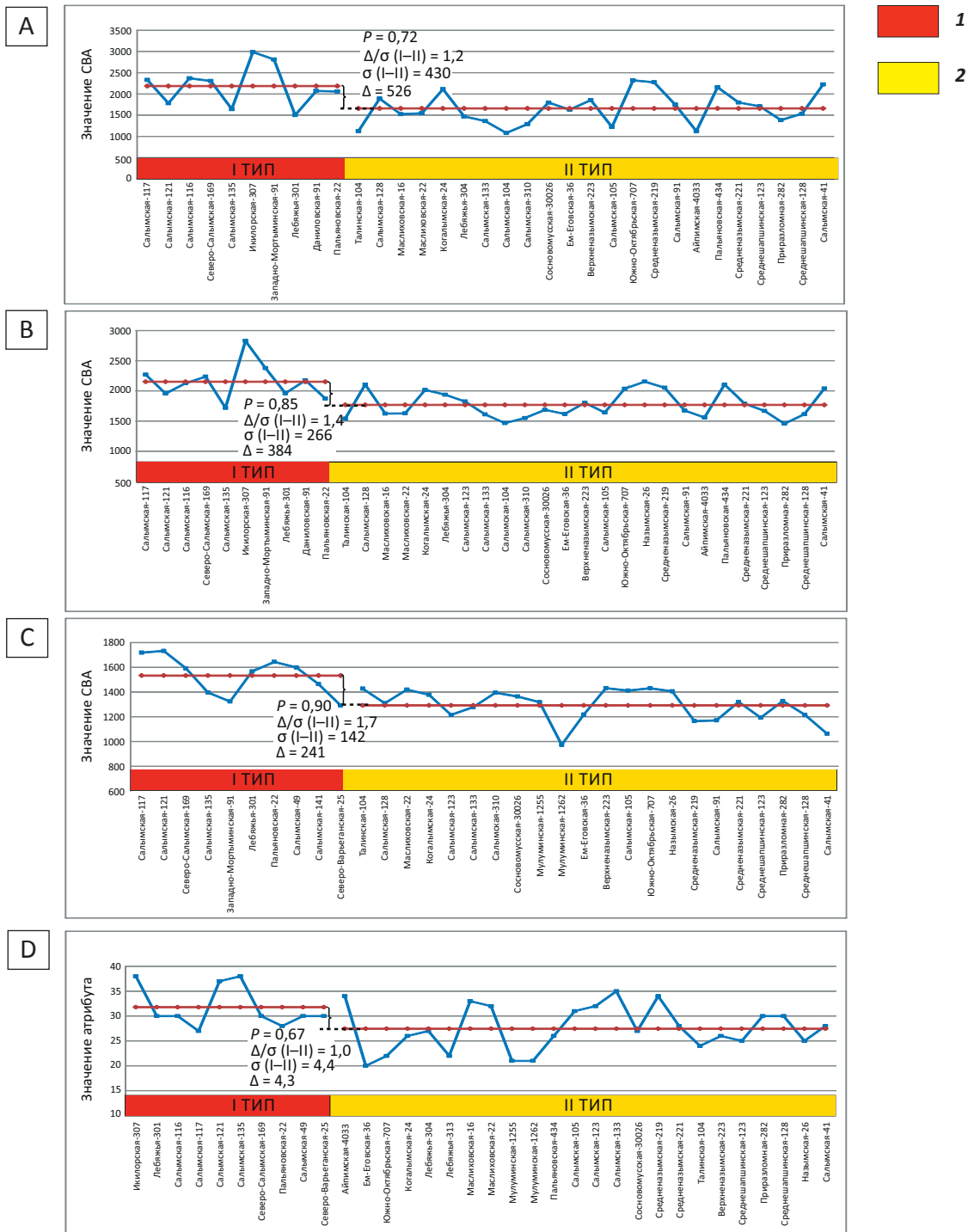
По совокупности данных бурения, ГИС, изучения керна, пластовых температур, давления, испытания скважин проводится типизация разреза таким образом, чтобы разница (Δ) сертифицированных сейсмических, термобарических и геохимического атрибутов между различными типами геологического разреза относительно среднеквадратической оценки разброса атрибута (σ) вокруг его среднего значения (Δ/σ) составляла $\geq 0,8$ и начальная доверительная вероятность (P) разделения атрибутов по выделенным типам геологического разреза удовлетворяла неравенству $P \geq 0,6$.

Для баженовских отложений Западной Сибири по данным 276 скважин выделено 4 типа геологического разреза, которые различаются продуктивностью скважин: I тип — $Q > 100 \text{ м}^3/\text{сут}$, II тип — $Q = 15\text{--}100 \text{ м}^3/\text{сут}$, III тип — $Q = 1\text{--}15 \text{ м}^3/\text{сут}$ и IV тип — $Q = 0$.

Сертификация сейсмических, термобарических и геохимического атрибутов позволила получить следующие результаты: для разделения I и II типов геологического разреза наилучшим образом подходят три сейсмических атрибута (СВА2, СВА3, СВА4), т. е. соответственно произведение удельной спектральной плотности частотного энергетического спектра СВАН-колонки на средневзвешенную частоту, то же на максимальную частоту и отношение энергии больших времен к энергии малых времен энергетического спектра по оси времен; пластовое давление, приведенное к кровле баженовских отложений; при этом $\Delta/\sigma = 0,1\text{--}1,7$, а $P = 0,67\text{--}0,9$, т. е. вполне подходящие значения для последующей комплексной количественной интерпретации (рис. 2).

HC HARD-TO-RECOVER RESERVES AND UNCONVENTIONAL SOURCES

Рис. 2. Графики сертифицированных атрибутов для разделения I и II типов разреза с оценкой доверительной вероятности результата
 Fig. 2. Diagrams of certified attributes used to distinguish I-st and II-nd type of section with estimation of the result's confidence level



Разница I и II типов разреза по (A–D): A — СВА2 (30;0,1); B — СВА3 (30;0,3); C — СВА4 (50;0,3); D — пластовому давлению, приведенному к кровле баженновской свиты.

Типы разрезов (1, 2): 1 — преимущественно I типа с дебитом $Q > 100 \text{ м}^3/\text{сут}$, $P = 0,9$; 2 — преимущественно II типа с дебитом $Q > 15\text{--}100 \text{ м}^3/\text{сут}$, $P = 0,6$

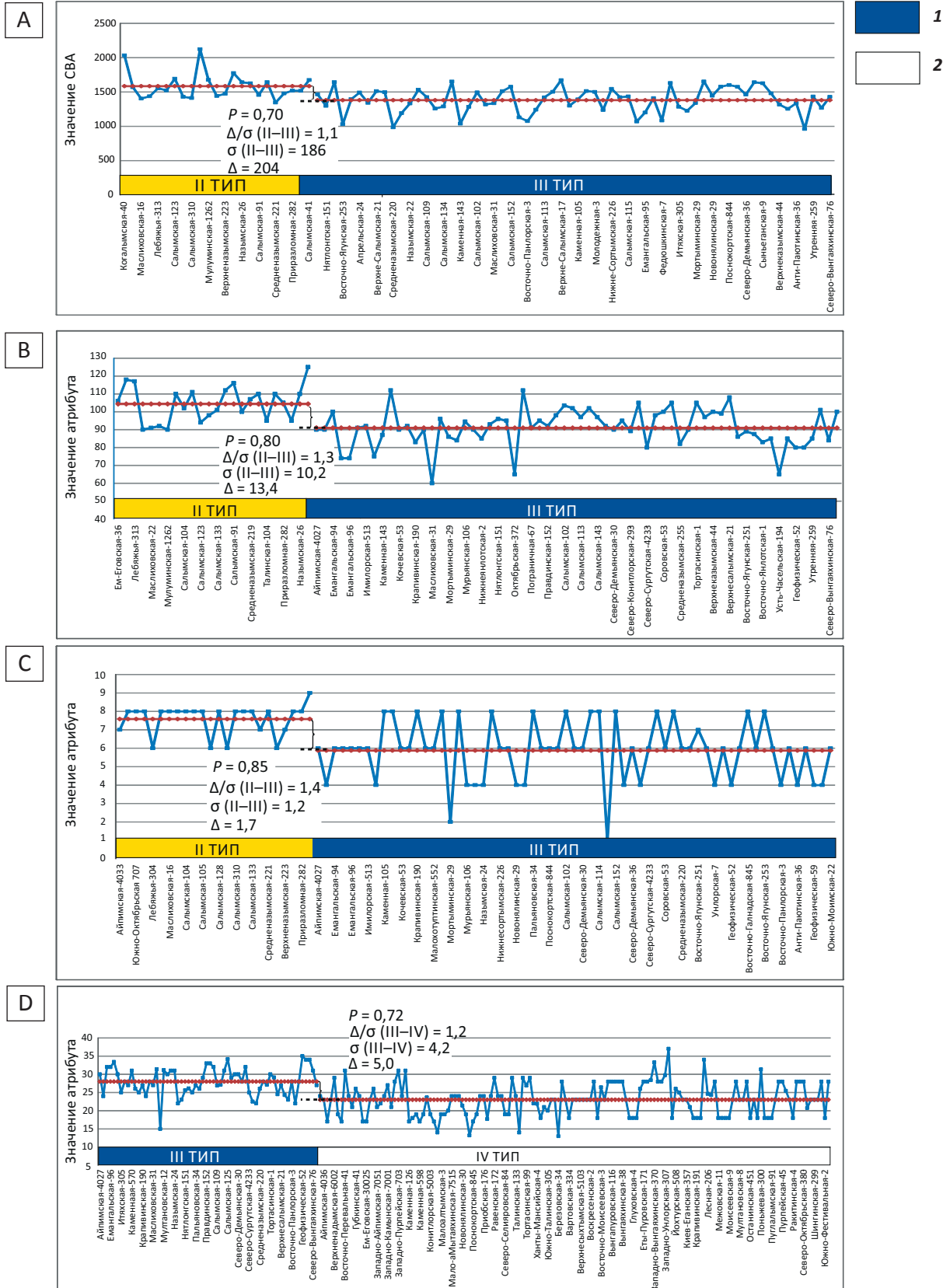
Difference between I-st and II-nd types of a section according to (A–D): A — time-spectral attribute 2 (TSA2) (30;0,1); B — TSA3 (30;0,3); C — TSA4 (50;0,3); D — formation pressure reduced to the Bazhenov Top.

Section types (1, 2): 1 — mostly I-st type with flowrate $Q > 100 \text{ м}^3/\text{day}$, $P = 0,9$; 2 — mostly II-nd type with flowrate $Q > 15\text{--}100 \text{ м}^3/\text{day}$, $P = 0,6$

ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫЕ ЗАПАСЫ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ УВ

Рис. 3. Графики сертифицированных атрибутов для разделения II–III и III–IV типов разреза с оценкой доверительной вероятности результата

Fig. 3. Diagrams of certified attributes used to distinguish II–III and III–IV types of section with estimation of the result's confidence level





HC HARD-TO-RECOVER RESERVES AND UNCONVENTIONAL SOURCES

Усл. обозначения к рис. 3

Legend for Fig. 3

Разница II и III типов разреза по (A–C): A — СВАЗ (50;0,1); B — пластовой температуре, верхней части баженовской свиты; C — средним концентрациям C_{org} в баженовской свите и ее аналогах.

Типы разрезов (1, 2): 1 — преимущественно III типа с дебитом $Q > 1\text{--}15 \text{ м}^3/\text{сут}$, $P = 0,8$; 2 — преимущественно IV типа с дебитом $Q = 0$, зона неопределенности.

Остальные усл. обозначения см. на рис. 2

Difference between II-nd and III-rd types of a section according to (A–C): A — TSA3 (50;0,1); B — formation temperature in the upper part of the Bazhenov Fm; C — C_{org} concentration in the Bazhenov Fm and its analogues.

Section types (1, 2): 1 — mostly III-rd type with flowrate $Q > 1\text{--}15 \text{ m}^3/\text{day}$, $P = 0.8$; 2 — mostly IV-th type with flowrate $Q = 0$, zone of uncertainty.

For other Legend items see Fig. 2

Для разделения II и III типов геологического разреза наилучшим образом подходят сейсмический атрибут СВАЗ, пластовая температура верхней части баженовских отложений, а также средняя концентрация органического вещества, при этом Δ/σ составило 1,2–1,4, а $P = 0,7\text{--}0,85$, что позволяет обоснованно проводить последующую количественную комплексную интерпретацию (рис. 3). Для разделения III и IV типов геологического разреза оптимальным атрибутом является пластовое давление, в этом случае $\Delta/\sigma = 1,2$ и $P = 0,72$ (см. рис. 3).

После сертификации выполняется построение карт этих атрибутов, причем карты являются исходными данными для их формализованной комплексной интерпретации на основе использования искусственных нейронных сетей по алгоритму Кохонена или вероятностно-статистических способов в системе COSCAD 3Dt [4, 5].

Комплексная интерпретация проводится в два этапа (см. рис. 1).

На первом этапе выбирается алгоритм формализованного комплексирования искусственных нейронных сетей — K -средних по А.В. Петрову, учитывающий взаимную корреляцию исходных атрибутов, общие расстояния и параметры работы программ. Перед построением результативной карты проводится комплексная формализованная интерпретация атрибутов отдельно по типам разреза, т. е. по группам I–II типов разреза, II–III типов и III–IV. Такое объединение в отдельные группы позволило получить максимально возможные достоверные вероятности. Достоверные вероятности картирования

каждого типа определялись по данным бурения, т. е. по попаданию скважин каждого из четырех типов в соответствующие однородные зоны.

На втором этапе проводится окончательная формализованная интерпретация полученных групповых атрибутов с использованием выбранного на первом этапе алгоритма K -средних по А.В. Петрову с метрикой по Махалонобису и последующим применением энтропийной, адаптивной и двухмерной фильтрации.

Доверительная вероятность результативной карты типов геологического разреза баженовских отложений Западной Сибири, определенная по данным бурения 276 скважин, составляет $P = 0,8$, в том числе по отдельным типам: I типу — $P = 0,9$ (всего скважин 14, в зонах однородности I типа — 12 скважин); II типу — $P = 0,6$ (всего скважин 29, в зонах однородности 18); III типу — $P = 0,8$ (всего скважин 72, в соответствующих однородных зонах 56); IV типу разреза — $P = 0,8$ (всего скважин 161, в однородных зонах 124). Такая же карта только по данным сейсморазведки характеризуется достоверной вероятностью $P = 0,63$ [2, 3].

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

1) новый способ комплексного формализованного прогноза нефтегазопродуктивных зон в баженовских отложениях существенно повышает точность и надежность результатов;

2) новая методика на основе КССП рекомендуется к широкому внедрению для повышения геологической и экономической эффективности геологоразведочных работ на нефть и газ.

Литература

1. Копилевич Е.А., Мушин И.А., Давыдова Е.А., Афанасьев М.Л. Комплексное спектрально-скоростное прогнозирование типов геологического разреза и фильтрационно-емкостных свойств коллекторов // ОАО «НК «Роснефть». Сер. Библиотека нефтяного инжиниринга. — Ижевск : АНО «Ижевский институт компьютерных исследований», 2010. — 248 с.
2. Копилевич Е.А., Сурова Н.Д., Скворцов М.Б., Кузнецов Г.В. Возможности прогноза продуктивных зон баженовской свиты по анализу спектрально-временных атрибутов // Геофизика. — 2016. — № 1. — С. 81–90.
3. Копилевич Е.А., Скворцов М.Б., Сурова Н.Д., Кузнецов Г.В. Новая методика регионального прогноза высокопродуктивных баженовских коллекторов Западной Сибири // Геология нефти и газа. — 2016. — № 4. — С. 56–61.
4. Dorrington K.P., Link C.A. Genetic-algorithm/neural-network approach to seismic attribute selection for well-log prediction // Geophysics. — 2004. — Т. 69. — № 1. — С. 212–221.

5. Dowd P.A., Pardo-Iguzquiza E. Estimating the boundary surface between geological formations from 3D seismic data using neural networks and geostatistics // *Geophysics*. – 2005. – Т. 70. – № 1. – С. 1–12.

References

1. Kopilevich E.A., Mushin I.A., Davydova E.A., Afanasyev M.L. Complex spectral-speed prediction of types of geological section and filtration-capacitive properties of collectors. OAO «NK «Rosneft». Ser. Biblioteka neftyanogo inzhiniringa. Izhevsk: ANO "Izhevsk Institute of Computer Research"; 2010. 248 p.
2. Kopilevich E.A., Surova N.D., Skvortsov M.B., Kuznetsov G.V. The possibility of prediction the productive zones of the bazhenov reservoir by spectral-temporal quantitative seismic attributes analysis. *Geofizika*. 2016;(1):81–90.
3. Kopilevich E.A., Skvortsov M.B., Surova N.D., Kuznetsov G.V. New methods for regional forecast of highly productive Bazhenov reservoirs in Western Siberia. *Geologiya nefti i gaza = Oil and gas geology*. 2016;(4):56–61.
4. Dorrington K.P., Link C.A. Genetic-algorithm/neural-network approach to seismic attribute selection for well-log prediction. *Geophysics*. 2004;69(1):212–221.
5. Dowd P.A., Pardo-Iguzquiza E. Estimating the boundary surface between geological formations from 3D seismic data using neural networks and geostatistics. *Geophysics*. 2005;70(1):1–12.