

УДК 550.8.053:553.98:519.2

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА

Кобрунов А.И., Ломинский Д.О.

*ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта,
e-mail: akobrunov@ugtu.net*

В статье рассматривается исключительно актуальная и научно значимая задача, составляющая основу для подсчета запасов углеводородного сырья – выполнение прогноза фильтрационно-емкостных параметров нефтегазовых коллекторов на основе данных сейсмических атрибутов. В процессе изучения и освоения месторождений нефти и газа, характеризующихся сложной построенностью геологической среды, недоопределенностью взаимосвязей между характеризующими ее параметрами и присутствующей «размытостью» исходных данных неизбежна неопределенность и многовариантность в результате моделирования прогнозных параметров продуктивности. В таком случае неопределенность дополнительно обусловлена неполнотой реально измеренных данных в сочетании со сложным строением геологических сред, а также наличием зон локальной неоднородности фильтрационно-емкостных характеристик продуктивного пласта. Обязательным элементом прогноза служит оценка достоверности и связанной с ней шириной области неопределенности прогнозного параметра. В статье предложено выполнять прогноз на основе технологии нечеткого логического вывода. С этой целью развивается аппарат формирования отношений между нечеткими прогнозными параметрами и параметрами сейсмических атрибутов. Прогноз фильтрационно-емкостных параметров распадается на ряд подэтапов: в первую очередь это выработка тех параметров, которые по материалам на эталонной площади наилучшим образом обеспечивают качество прогноза фильтрационно-емкостных параметров, оцениваемой величиной ошибки прогноза и затем необходимо произвести выработку обучающих правил прогноза и их настройку на эталонной площади. В статье рассматривается применение данного метода на примере прогнозирования коэффициента нефтенасыщенности по интервальному времени прохождения продольной волны. Область неопределенности и уровень достоверности рассчитываются методом α сечений для функции принадлежности прогнозного параметра.

Ключевые слова: нечеткие отношения, нечеткий логический вывод, математическое моделирование, прогнозирование нечеткой величины, функция принадлежности трех переменных, прогнозирование фильтрационно-емкостных параметров, сейсмические атрибуты

PREDICTION OF RESERVOIR PROPERTIES OF OIL-GAS RESERVOIRS WITH THE APPLICATION OF THE THEORY OF FUZZY INFERENCE

Kobrunov A.I., Lominskiy D.O.

Ukhta State Technical University, Ukhta, e-mail: akobrunov@ugtu.net

The article considers an extremely topical and scientifically significant task, which is the basis for calculating the reserves of hydrocarbon raw materials – the fulfillment of the forecast of the filter and reservoir parameters of oil and gas reservoirs based on seismic attributes. In the process of studying and developing oil and gas fields characterized by a complex geological environment, the lack of correlation between the parameters characterizing it and the present «blurring» of the initial data, uncertainty and multivariance are inevitable as a result of modeling the forecast performance parameters. In this case, the uncertainty is additionally caused by the incompleteness of the actually measured data, in combination with the complex structure of the geological media, as well as by the presence of zones of local inhomogeneity in the reservoir-filtration characteristics of the reservoir. An obligatory element of the forecast is the estimation of the reliability and the width of the uncertainty area of the forecast parameter associated with it. The article proposes to perform a forecast based on the technology of fuzzy inference. For this purpose, the apparatus for forming relations between fuzzy forecast parameters and parameters of seismic attributes is developing. The forecast of filtering and capacitive parameters breaks down into a number of sub-stages: first of all, the development of those parameters that, based on materials on the reference area, best ensure the quality of the forecast of the filter and capacitance parameters estimated by the magnitude of the forecast error and then it is necessary to produce the training forecast rules and their adjustment on the reference area. The application of this method is considered in the article by the example of predicting the oil saturation coefficient for the interval time of passage of a longitudinal wave. The area of uncertainty and the level of reliability are calculated by the method of α cross sections for the proxy parameter membership function.

Keywords: fuzzy relations, fuzzy inference, mathematical modeling, fuzzy value prediction, three-variable membership function

Задача выполнения прогноза фильтрационно-емкостных параметров нефтегазовых коллекторов и параметров флюидонасыщения (нефтегазоносности) по сейсмическим данным (атрибутам) на сегодняшний день является исключительно

актуальной и научно значимой, поскольку ее решение составляет основу для подсчета запасов углеводородного сырья [1]. Объективно, при разведке месторождений нефти и газа, характеризующихся сложной построенностью изучаемой среды, недо-

определенностью взаимосвязей между ее характеризующими параметрами и присутствующей «размытостью» исходных данных неизбежна неопределенность и многовариантность в результате моделирования прогнозных параметров продуктивности. Такая неопределенность дополнительно обусловлена неполнотой реально измеренных данных, наличием зон локальной неоднородности фильтрационно-емкостных характеристик продуктивного пласта.

Прогноз фильтрационно-емкостных параметров нефтегазовых коллекторов распадается на ряд подэтапов. Во-первых, это выработка тех параметров, которые по материалам на эталонной площади наилучшим образом обеспечивают качество прогноза фильтрационно-емкостных параметров, оцениваемое величиной ошибки прогноза. Эта процедура выполняется, например, с использованием факторного анализа [2]. Правильный подбор комбинаций сейсмических атрибутов в значительной степени определяет эффективность метода, и этому вопросу в настоящее время уделяется большое внимание [3–5]. Эти методы применяются и для близких задач, связанных с картированием зон трещиноватости [6]. Следующим подэтапом служит выработка обучающих правил прогноза и их настройка на эталонной площади [7, 8]. Собственно, этот этап предопределяет используемый метод прогнозирования.

После выбора атрибутов, и настройки прогнозирующей системы на особенности обучающей выборки сохраняется неопределенность исходных данных в значениях прогнозных параметров, которая выражается, например, в разбросе реальных значений параметра относительно получаемых в результате прогноза (на обучающей выборке). Это наиболее рельефно проявляется в случае использования регрессионных моделей. Разброс точек относительно линии регрессии служит неустраняемой компонентой и наследуется в результатах прогноза даже в том случае, когда не проявляется явно. Нет сомнения в том, что после выполнения прогноза в результатах будет наследоваться неопределенность, которую необходимо принимать во внимание. Дополнительной проблемой служит то, что в обучающей выборке параметры распределены неравномерно. Для одних областей значений параметров имеется густая сеть данных, а в других разброс и плотность данных меньше. Это сказывается на достоверности прогноза. Принятие для разных

интервалов одного правила – регрессионной модели, приводит к появлению неконтролируемых ошибок, чреватых далеко идущими последствиями. Сами по себе эти погрешности – объективное проявление особенностей данных. Необходимо не прятать эту неопределенность в результатах за точечными цифрами, а давать реальную картину распределения достоверности прогноза в различных подобластях и для различных значений прогнозного параметра.

Возможность прогноза параметров с оценкой распределения достоверности, объективно отражающей особенности данных и связей между параметрами основана на том, что данные для обучения рассматриваются как отношения нечетких величин с последующим использованием в качестве прогнозного правила нечеткого логического вывода Мамдани [9, 10] по исходным данным, рассматриваемым как нечеткие переменные. Это позволяет получать результаты прогноза, согласованные с реальной неопределенностью и наследующие в себе различную степень достоверности данных различных интервалов обучающей модели. Основателем теории нечетких множеств является Лотфи Заде [11], а алгоритм нечеткого логического вывода был предложен Э. Мамдани [9]). Развернутое современное изложение теории нечеткого моделирования можно найти в работе [12].

Нечеткая величина σ полностью характеризуется своей функцией принадлежности $0 \leq \mu(\sigma) \leq 1$, имеющей смысл меры достоверности – возможности того, что измерение этой величины приведет к значению σ . Условием нормировки функции принадлежности служит: $\max \mu(\sigma) \leq 1$, что в корне отличает функцию принадлежности от вероятностной меры. Этим обеспечивается и возможность организации эффективных вычислительных процедур на основе нечеткого логического вывода, и композиции нечетких отношений для моделирования итоговых функций принадлежности физико-геологических моделей.

Принципы использования аппарата нечеткой алгебры для прогнозирования в геолого-геофизических задачах можно найти в [13], а технология представления геолого-геофизических данных и экспериментально выявленных зависимостей в форме функций принадлежности и отношениями между нечеткими параметрами и правила логического вывода для прогноза параметров нечетких геотехнологических параметров разработаны в [14].

Рассмотрим применение данного метода на примере прогнозирования коэффициента нефтенасыщенности по интервальному времени прохождения продольной волны.

На временном разрезе, приведенном на (рис. 1), выделяем рассматриваемый пласт. В нем выделяем интервал для формирования прогнозного правила и интервалы пла-

ста, для которых будет произведен прогноз коэффициента нефтенасыщенности по значениям интервального времени прохождения продольной волны.

Исходные данные для прогноза в форме полигонов измерений «пористость – интервальное время», «нефтенасыщенность – пористость» приведены на рис. 2.

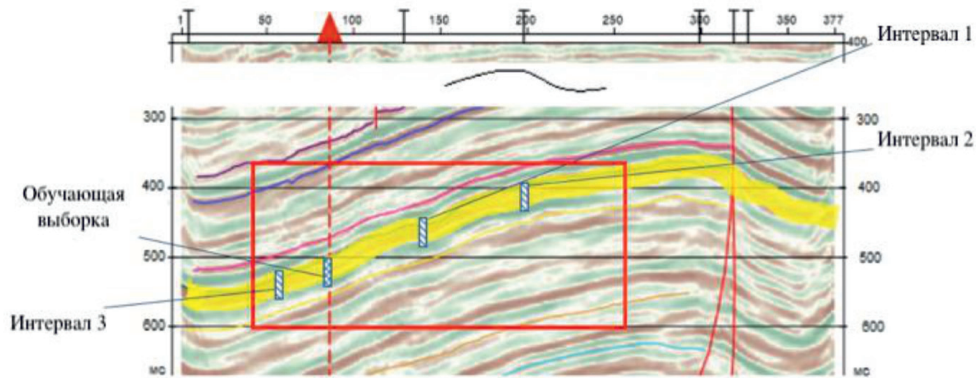


Рис. 1. Временной разрез

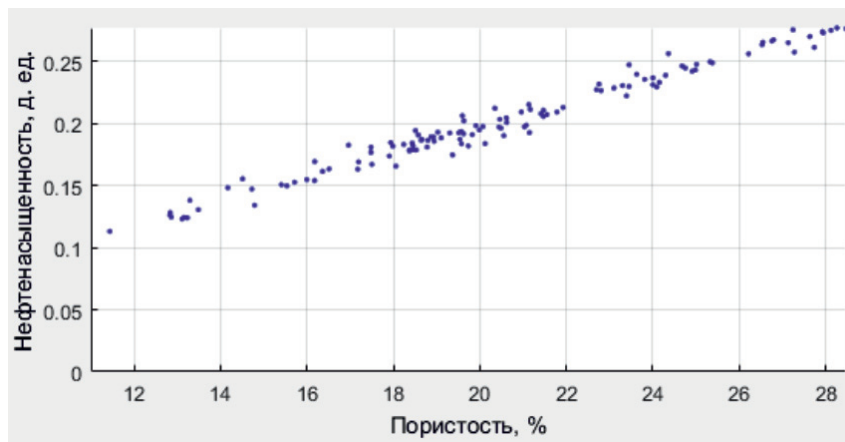
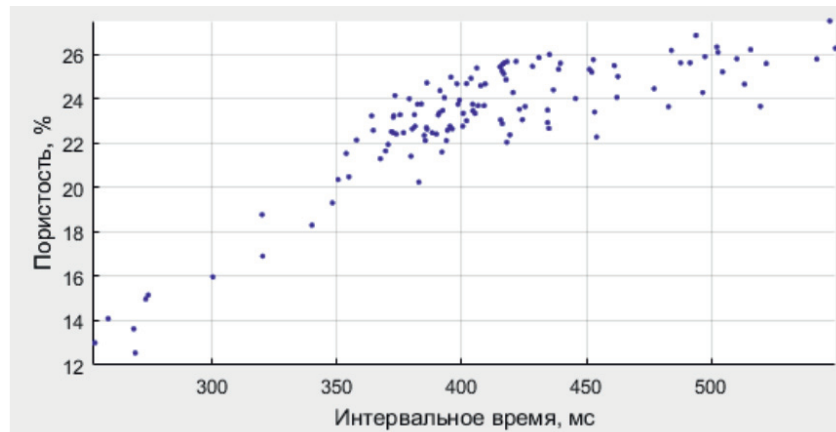


Рис. 2. Исходные данные зависимостей «пористость – интервальное время», «нефтенасыщенность – пористость»

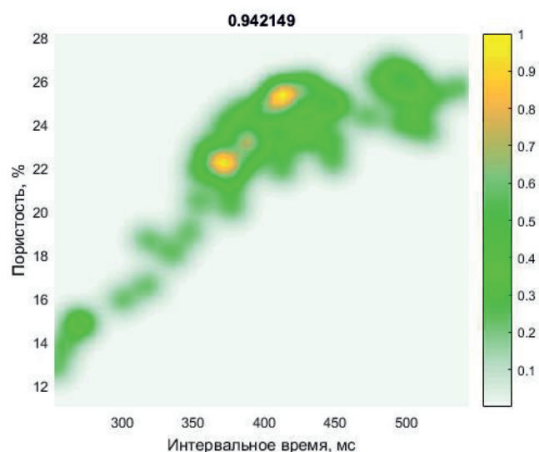


Рис. 3. Отношение нечетких величин «интервальное время – пористость»

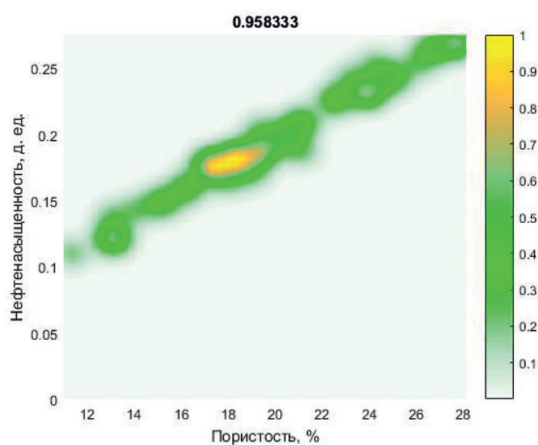


Рис. 4. Отношение между нечеткими величинами «пористость – нефтенасыщенность»

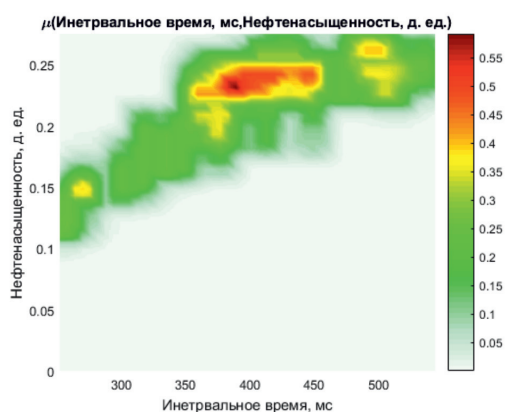


Рис. 5. Поле рассеяния композиции «интервальное время – нефтенасыщенность»

Выполним формирование нечетких отношений на основе данных «пористость – интервальное время», «нефтенасыщенность – пористость». Алгоритм такого формирования

на основе расчета источников для функций принадлежности описан в работе [10].

Результат для исходных отношений приведен на рис. 3–4.

Выполняя композицию полученных отношений, получаем функцию принадлежности для отношения между нечеткими величинами «интервальное время» – «нефтенасыщенность», приведённую на рис. 5.

Приведённое отношение (рис. 5) служит искомым прогнозным правилом для формирования значения нечеткой переменной «нефтенасыщенность» по данным представленным в форме значения нечеткой переменной «интервальное время – нефтенасыщенность».

Далее выполняется прогноз значения нечеткой переменной нефтенасыщенность $\eta(k_n)$ по правилу нечеткого логического вывода в выбранных интервалах пласта Δl_i , основываясь на полученных результатах и данных сейсмического атрибута – нечеткой переменной «интервальное времени прохождения продольной волны» $\omega(\Delta t, \Delta l_i)$.

$$\eta(k_n, \Delta l_i) = \omega(\Delta t, \Delta l_i) \max_{k_n} \min [\omega(\Delta t, \Delta l_i) \mu(\Delta t, \Delta l_i, k_n)].$$

Здесь $\eta(k_n, \Delta l_i)$ – функция принадлежности для прогнозной нечеткой переменной «нефтенасыщенность», отнесенной к интервалу данных Δl_i .

Данные для расчета функции принадлежности интервального времени, отнесенного к заданным интервалам Δl_i глубин $\omega(\Delta t, \Delta l_i)$, приведены ниже.

Оценка достоверности выполняется на основе аппарата α – сечений. Область F^α тех значений z , для которых $\mu(x) \geq \alpha$ ассоциируется с областью значений параметров, уровень доверия к которым не ниже величины α : $F^\alpha = \{z : \mu(z) \geq \alpha\}$. Традиционный уровень доверия и ширина области гарантированных значений, укладывающихся в эту оценку оцениваются по правилу $\{1 - \alpha - \alpha \text{ сечение}\}$.

Можно заметить, что по мере изменения параметра α от нуля к единице эта область стягивается, вырождаясь в линию либо точку.

Выводы

Прогнозирование физико-геологических параметров по сейсмическим атрибутам может быть реализовано на основе технологии нечеткого моделирования, включающей в себя представление данных в форме нечетких отношений, конструирование итоговых отношений между нечеткими параметрами и выполнение прогноза по правилу нечеткого логического вывода.

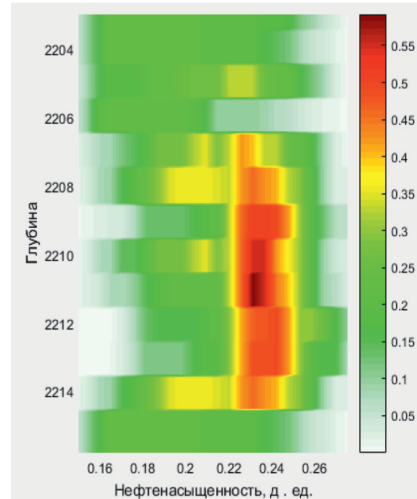
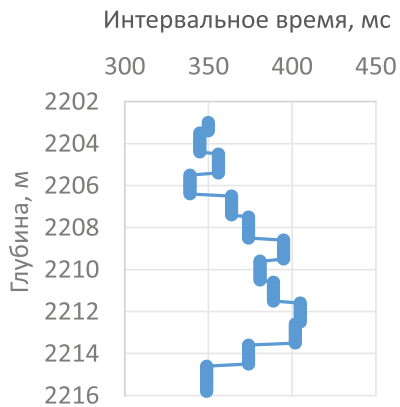


Рис. 6. Достоверность кривой нефтенасыщенности вдоль интервала № 1

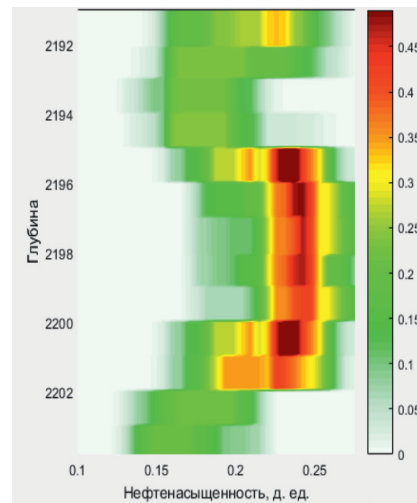
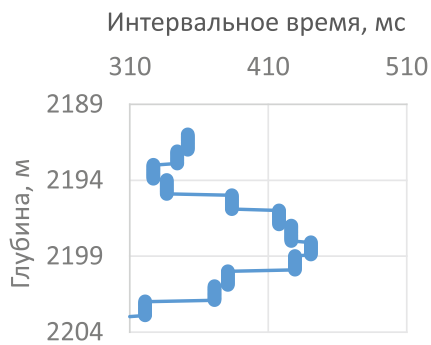


Рис. 7. Достоверность кривой нефтенасыщенности вдоль интервала № 2

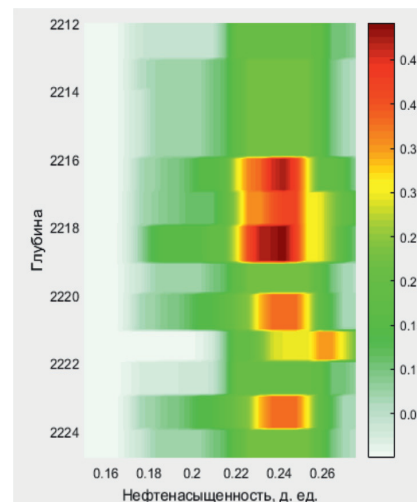
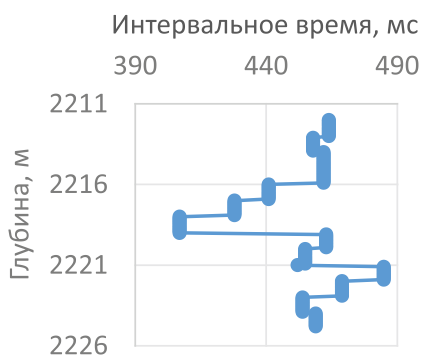


Рис. 8. Достоверность кривой нефтенасыщенности вдоль интервала № 3

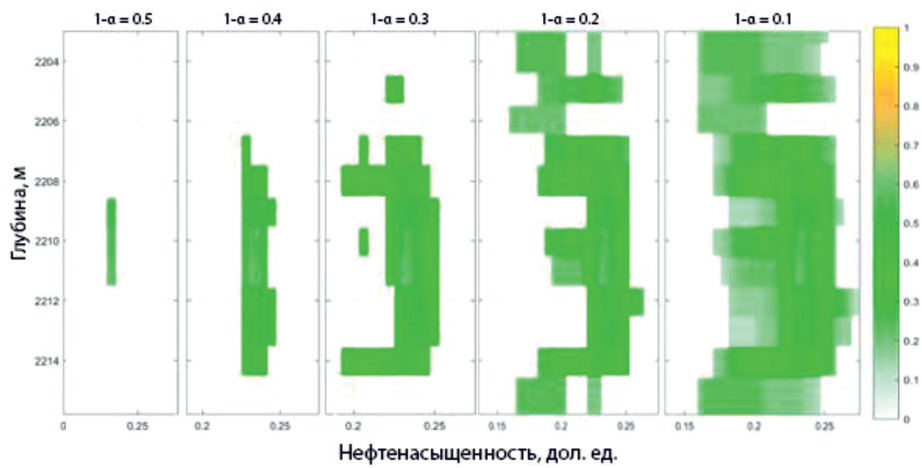


Рис. 9. Оценка достоверности полученных результатов на основе аппарата α – сечений для интервала № 1

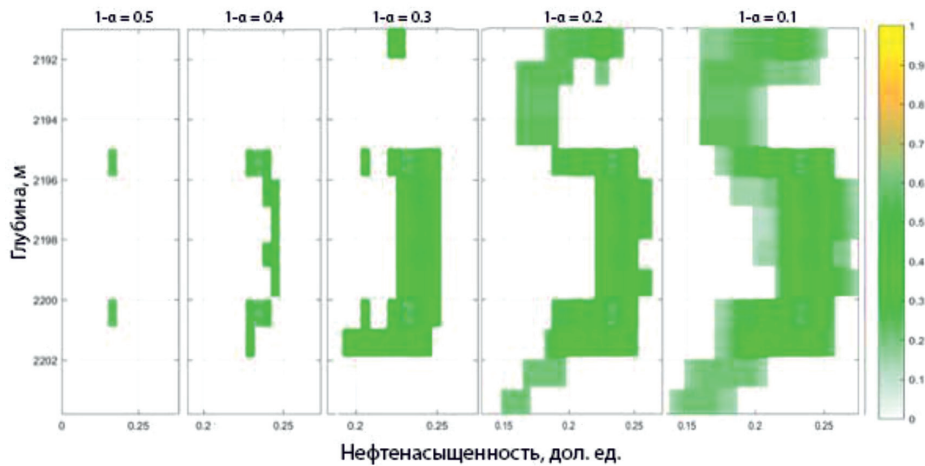


Рис. 10. Оценка достоверности полученных результатов на основе аппарата α – сечений для интервала № 2

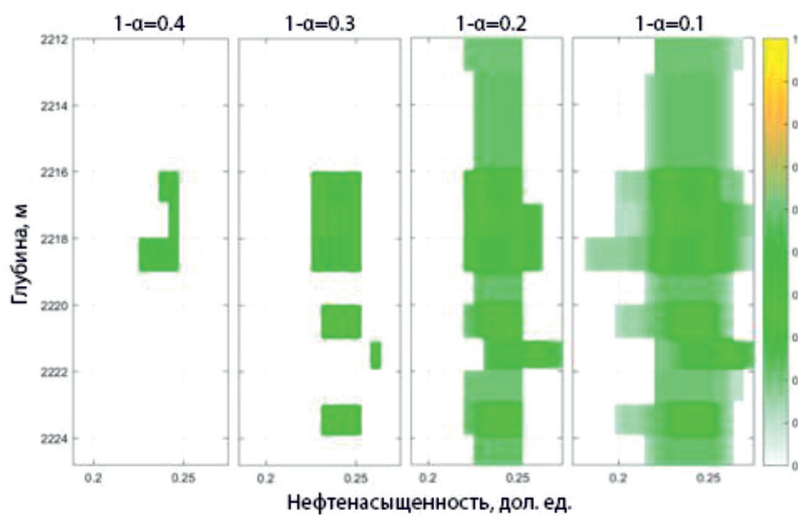


Рис. 11. Оценка достоверности полученных результатов на основе аппарата α – сечений для интервала № 3

Задача прогноза физико-геологических параметров на основе сейсмических атрибутов рассмотрена на примере прогнозирования нефтенасыщенности по интервальному времени прохождения сейсмических волн. Метод композиции нечетких отношений позволяет из цепочки отношений сконструировать требуемое, исключая промежуточные параметры. Оценка достоверности и связанная с ней ширина области неопределенности прогнозного параметра выполняется методом α сечений для функции принадлежности прогнозного параметра.

Список литературы

1. Ампилов Ю.П. От сейсмической интерпретации к моделированию и оценке месторождений нефти и газа. – М.: ООО «Издательство «Спектр», 2008. – 384 с.
2. Ампилов Ю.П. Сейсмическая интерпретация: опыт и проблемы. – М.: Геоинформмарк, 2004. – 277 с.
3. Ампилов Ю.П. и др. Сопоставление альтернативных методов прогноза фильтрационно-емкостных свойств по данным сейсморазведки // Geomodel 2008-10th EAGE science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development. – Геленджик, 2008. – С. 60–69.
4. Лаврик С.А., Логинов Д.В. Оценка значимости сейсмических атрибутов на основе многослойных нейронных сетей // Геонауки – от новых идей к новым открытиям: труды 3-й международной конференции и выставки. – СПб., 2008. – 106 с.
5. Лаврик С.А., Логинов Д.В. Применение статистических методов для определения информативного набора сейсмических атрибутов // Geomodel 2008-10th EAGE science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development. – Геленджик, 2008. – С. 36–44.
6. Mendrii I., Dovbnich M. Seismic Attribute Analysis for Mapping of Fracture Zones in Coal-bearing Formations // 76th EAGE Conference and Exhibition 2014. – Amsterdam, 2014. – P. 452–457.
7. Лаврик С.А. Результаты анализа эффективности и применимости статистических методов для определения информативного набора сейсмических атрибутов // Seismic Technology. – 2009. – Т. 6, № 1. – С. 36–44.
8. Kobrunov A., Priezzhev I. Hybrid combination genetic algorithm and controlled gradient method to train a neural network // Geophysics. – 2016. – Т. 81, № 4. – С. IM35–IM43.
9. Mamdani E. H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant // Electrical Engineers, Proceedings of the Institution of. – 1974. – Т. 121. – Vol. 12. – P. 1585–1588.
10. Кобрунов А.И., Дорогобед А.Н., Кожевникова П.В. Метод нечеткого логического вывода и информационная обеспеченность результатов моделирования в нефтегазовой геологии // Геоинформатика. – 2016. – № 2. – С. 35–40.
11. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and control. – 1965. – Т. 8. – Vol. 3. – P. 338–353.
12. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

13. Кобрунов А.И., Кожевникова П.В., Ломинский Д.О. Метод нечеткого логического вывода для прогноза емкостных параметров // Успехи современной науки. – 2016. – № 12. – С. 18–25.

14. Кобрунов А.И., Кожевникова П.В. Теоретические основы при прогнозировании параметров геологических сред в условиях неопределенности // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5–3. – С. 506–510.

References

1. Ampilov Ju.P. Ot sejsmicheskoy interpretacii k modelirovaniyu i ocenke mestorozhdenij nefiti i gaza. M.: ООО «Izdatelstvo «Spektr», 2008. 384 p.
2. Ampilov Ju.P. Sejsmicheskaja interpretacija: opyt i problema. M.: Geoinformmark, 2004. 277 p.
3. Ampilov Ju.P. i dr. Sopostavlenie alternativnyh metodov prognoza filtracionno-embkostnyh svojstv po dannym sejsmorazvedki // Geomodel 2008-10th EAGE science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development. Gelendzhik, 2008. pp. 60–69.
4. Lavrik S.A., Loginov D.V. Ocenka znachimosti sejsmicheskikh atributov na osnove mnogoslojnyh nejronnyh setej // Geonauki ot novyh idej k novym otkrytijam: trudy 3-j mezhdunarodnoj konferencii i vystavki. SPb., 2008. 106 p.
5. Lavrik S.A., Loginov D.V. Primenenie statisticheskikh metodov dlja opredelenija informativnogo nabora sejsmicheskikh atributov // Geomodel 2008-10th EAGE science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development. Gelendzhik, 2008. pp. 36–44.
6. Mendrii I., Dovbnich M. Seismic Attribute Analysis for Mapping of Fracture Zones in Coal-bearing Formations // 76th EAGE Conference and Exhibition 2014. Amsterdam, 2014. pp. 452–457.
7. Lavrik S.A. Rezultaty analiza jeffektivnosti i primeni-mosti statisticheskikh metodov dlja opredelenija informativnogo nabora sejsmicheskikh atributov // Seismic Technology. 2009. T. 6, no. 1. pp. 36–44.
8. Kobrunov A., Priezzhev I. Hybrid combination genetic algorithm and controlled gradient method to train a neural network // Geophysics. 2016. T. 81, no. 4. pp. IM35–IM43.
9. Mamdani E.H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant // Electrical Engineers, Proceedings of the Institution of. 1974. T. 121. Vol. 12. pp. 1585–1588.
10. Kobrunov A.I., Dorogobed A.N., Kozhevnikova P.V. Metod nechetkogo logicheskogo vyvoda i informacionnaja obespechennost rezultatov modelirovaniya v neftegazovoj geologii // Geoinformatika. 2016. no. 2. pp. 35–40.
11. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and control. 1965. T. 8. Vol. 3. pp. 338–353.
12. Kofman A. Vvedenie v teoriju nechetkih mnozhestv. M.: Radio i svjaz, 1982. 432 p.
13. Kobrunov A.I., Kozhevnikova P.V., Lominskij D.O. Metod nechetkogo logicheskogo vyvoda dlja prognoza embkostnyh parametrov // Uspehi sovremennoj nauki. 2016. no. 12. pp. 18–25.
14. Kobrunov A.I., Kozhevnikova P.V. Teoreticheskie osnovy pri prognozirovanii parametrov geologicheskikh sred v uslovijah neopredelennosti // Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 5–3. pp. 506–510.