



ОЦЕНКА ФЛЮИДОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ МЕТОДОМ НЕЧЕТКОЙ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

В. Ш. Гурбанов^{*1}, А. Б. Гасанов¹, Г. Г. Аббасова²

¹Институт нефти и газа НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан;

²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан

Breakthrough technologies in solving problems of geological exploration for oil and gas

V. Sh. Gurbanov^{*1}, A. B. Hasanov¹, G. G. Abbasova²

¹Institute of Oil and Gas of ANAS, Baku, Azerbaijan;

²Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

The possibility of using the theory of fuzzy sets is considered. research in assessing the reserves of hard-to-recover deep-immersed hydrocarbons. At the same time, taking into account the complexity of the relationships between individual petrophysical characteristics, on the one hand, and the uncertainty of relevant information, on the other hand, fuzzy logic and flexible computing methods have been found to be more effective. In particular, the data clustering method (Sugeno fuzzy models) with the selection of child functions (membership functions) was tested. In this method, the prediction of the properties of reservoir rocks at great depths is based on a fuzzy linear regression reflecting the interdependence of properties and the natural uncertainty of information. The method was tested on real indicators of the quality of reservoirs of a well-known group of deposits in the Baku archipelago in Azerbaijan. The results of predicting the expected quality indicators of reservoirs at great depths indicate that in the section of the studied fields at depths of more than 4900 m, a decrease in the relative clay content and density of the reservoirs can be expected, but an increase in the permeability for liquid fluids is also possible.

KEYWORDS

Deep-seated;
Hard-to-recover hydrocarbon reserves;
Fuzzy set theory;
Reservoir quality prediction.

© 2022 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Введение

Как известно, современное развитие мировой нефтяной промышленности связано с трудноизвлекаемыми запасами углеводородов (ТРИЗ), поскольку длительная история эксплуатации большинства легко извлекаемых запасов привела к заметному истощению известных крупных месторождений [1-4]. Первые сведения о ТРИЗ появились в отечественной нефтяной промышленности в конце 70-х годов прошлого века. В те времена были разведаны удаленные от существующей инфраструктуры месторождения в заполярье (в Карском, Баренцевом морях и на Сахалине). По этой причине представления о ТРИЗ связывались с запасами, которые содержатся в залежах, характеризующихся неблагоприятными для извлечения геологическими условиями. В последующем были предложены классификации ТРИЗ, основанные на граничных значениях основных геологических и технологических параметров, на степени удаленности от существующих центров нефтегазодобычи и т.д. Вместе

с тем, понятие «трудноизвлекаемые запасы» сегодня все чаще связывают с «нетрадиционными» углеводородными месторождениями. Их априори относят к ТРИЗ, но разработка их оказывается в разы сложнее. Дело в том, что подсчет нетрадиционных запасов и прогнозирование их разработки в рамках традиционных понятий нефтепромысловой геологии и гидродинамики невозможны. К нетрадиционным запасам обычно относят сверхтяжелую нефть, битуминозные пески, керогеновую нефть, или сланцевое масло (оно добывается из горючих сланцев при помощи термических методов). Распределение разведанных ТРИЗ по основным нефтедобывающим странам приведено на рисунке 1.

В английском языке сланцевое масло именуют oil shale, но с некоторых пор в понятиях появилась определенная путаница. Как правило, на Западе сланцевыми формациями называют нефтематеринские свиты, которые при определенных условиях могут содержать значительные ресурсы «легкой» нефти. Эту нефть называют shale oil. Такая нефть содержится на больших глубинах, в низкопроницаемых пластах. В частности, на знаменитых месторождениях Баккен и Игл-Форд, где разрабатывают

*E-mail: vaqifqurbanov@mail.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP2022SI100663>

нефтематеринские свиты, добывают обычную «легкую» нефть, т.е. shale oil. Именно с них началась сланцевая революция, а термин «сланцевая нефть» прижился и в России — его используют для всех гигантских запасов российской баженовской свиты, которые состоят из традиционной «легкой» нефти (shale oil) и генерационного потенциала керогена — твердого органического вещества, из которого при высоких давлениях и температурах генерируется нефть (oil shale). В целом, определение перспектив добычи и освоение нетрадиционных углеводородов является сложной наукоёмкой задачей не только потому, что они обычно располагаются на больших глубинах, но еще и потому, что критерии оценки показателей по сути не имеют строго четких описаний.

Цель и основные задачи исследования

Учитывая вышеизложенное, в наших исследованиях по оценке запасов трудноизвлекаемых глубоко погруженных углеводородов была рассмотрена возможность использования теории нечетких множеств. Такой выбор был обусловлен в результате анализа петрофизических характеристик образцов пород-коллекторов, при котором было установлено, что вариация значений этих показателей носит нечеткий характер. Известная практика прогнозирования свойств пород-коллекторов характеризуется, с одной стороны, сложностью взаимосвязи между отдельными свойствами, а с другой - неопределенностью релевантной информации. В связи с этим, для решения таких задач более эффективными оказались методы нечеткой логики и гибких вычислений. В частности, в [5, 6] рассмотрено многоуровневое прогнозирование пяти различных параметров. Но подход, использованный в [5, 6], неэффективен для решения задач прогнозирования на основе экстраполяции. С точки зрения представления экспериментальных данных рассеяния полигонов и параметров фазового пространства, нечеткие петрофизические модели обсуждались в [5]. В [7] авторы рассматривают возможность определения модели пористости сланца. Предлагаемая модель составлена на основе метода корреляционно-регрессионного анализа. О прогнозировании петрофизических параметров на основе фактических данных ГИС упоминается в [8]. Авторы используют метод искусственного интеллекта. Другие исследования [9] посвящены прогнозированию параметров нефтяных пластов на месторождениях Ближнего Востока. Исследователи использовали комбинацию нечеткой



Рис.1. Доля мировых трудноизвлекаемых запасов нефти по странам

логической системы 2-го типа. Способность системы нечеткой логики 2 типа справляться с неопределенностью, сделала данную модель более надежной. Так, в [10] обсуждалась возможность применения нечеткой логики в петрофизических исследованиях и излагались основные концепции, лежащие в основе метода. В другой работе [11] подчеркивается, что наблюдаемая неопределенность параметров определяется неоднородностью исследуемых геологических объектов и выражается в количественных оценках достоверности. Это позволяет прогнозировать достоверность графических изображений на основе соотношений между параметрами. В частности, согласно описанному в [12-13] методу, подобное прогнозирование выполняется в виде нечеткой модели распределения возможных значений для каждой пространственной точки. Недостатком такого подхода является необходимость хранить и использовать большие объемы информации. Однако этот недостаток уравнивается высокой степенью наглядности и возможностью достижения достоверности каждого параметра прогноза до ожидаемых значений.

Теория и способ решения задачи

Обзор вышеописанных исследований показал, что качественное прогнозирование коллекторов нефти и газа невозможно с использованием моделей искусственных нейронных сетей и нечетких множеств для векторных временных последовательностей. Эту задачу лучше

Показатели качества коллекторов				Таблица
h (глубина)	z_1 (глинистость)	z_2 (проницаемость)	z_3 (плотность)	
4062.5	0.75	9.6	2.39	
4599.5	0.93	23.3	2.65	
4902.5	0.85	0.3	2.51	
4902.5	0.69	53.3	2.56	
4943	0.89	4.3	2.63	
4963.5	0.68	61.5	2.48	
5089.5	0.69	107.3	2.58	
5089.5	0.7	107.28	2.4	
5248.5	0.22	98.6	2.02	
5256	0.84	8.4	2.3	

решить методом кластеризации данных (нечеткие модели Сугено) с подбором дочерних функций (функций принадлежности). При этом модель прогнозирования свойств горных пород для месторождений нефти и газа составляется на основе нечеткой линейной регрессии отражающей взаимозависимости свойств и естественной неопределенности информации [9, 14-19]. Подобная нечеткая регрессионная модель имеет вид:

$$y_k(x_1, x_2, \dots, x_N) = \tilde{a}_{k0} + \sum_{i=1}^N \tilde{a}_{ki} x_i \quad (1)$$

где $x_i, i = \overline{1, N}$ - значения параметров свойств горных пород (исходные данные), $y_j, j = \overline{1, N}$ - прогнозные значения параметров свойств горных пород (выход регрессионной модели), \tilde{a}_{k0} и \tilde{a}_{ki} коэффициенты регрессионной модели, описываемые треугольными нечеткими числами $k = \overline{1, K}, i = \overline{0, N}$.

Построение описываемой модели (1) заключается в определении значений нечетких коэффициентов, которые минимизируют ошибку:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{h=1}^n (y_i(h) - y_i^*(h))^2}{n}} \rightarrow \min$$

$\tilde{a}_{k0}, \tilde{a}_{ki} \in A, k \in \overline{1, \dots, K}$.

здесь $y_i^*(h)$ - реальные значения показателей качества пород-коллекторов на глубине h ; A - область поиска.

Встроенная модель (1) позволяет прогнозировать значения y_k показателей качества пород-коллекторов, используя значения предыдущих параметров по мере возрастания глубины.

Проверка описанного метода проводилась на реальных показателях качества коллекторов известной группы месторождений Бакинского архипелага в Азербайджане [20-24] (табл.).

Данные, приведенные в таблице, были предварительно интерполированы по глубине с одинаковым шагом в интервале 4300 - 5200 м, а затем пересчитаны по описанным выше моделям:

$$\tilde{y}_1(x_1, x_2, \dots, x_6) = \tilde{a}_{10} + \sum_{i=1}^6 \tilde{a}_{1i} x_i, \quad \tilde{y}_2(x_1, x_2, \dots, x_6) = \tilde{a}_{20} + \sum_{i=1}^6 \tilde{a}_{2i} x_i,$$

$$\tilde{y}_3(x_1, x_2, \dots, x_6) = \tilde{a}_{30} + \sum_{i=1}^6 \tilde{a}_{3i} x_i.$$

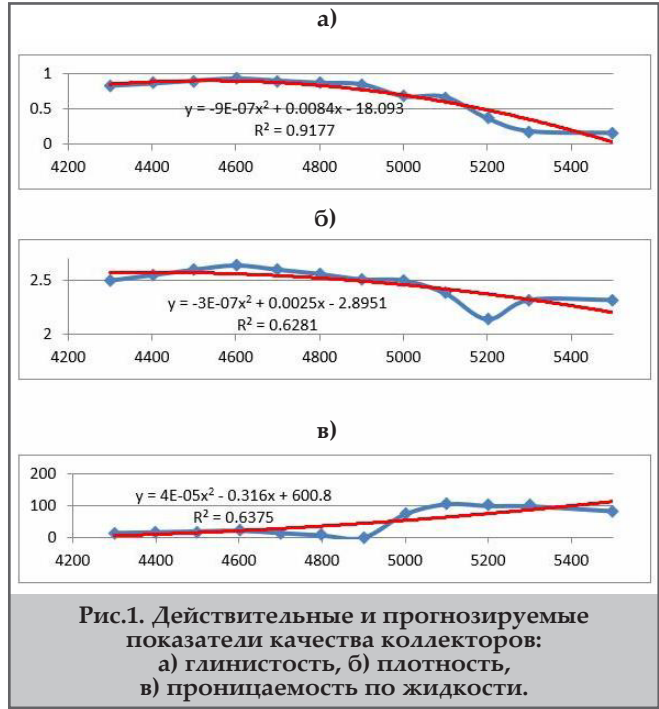


Рис.1. Действительные и прогнозируемые показатели качества коллекторов: а) глинистость, б) плотность, в) проницаемость по жидкости.

здесь

$$\tilde{y}_k(x_1, x_2, \dots, x_6) = z_k(h), x_1 = z_1(h-1), x_2 = z_1(h-2), x_3 = z_2(h-1)$$

$$x_4 = z_2(h-2), x_5 = z_3(h-1), x_6 = z_3(h-2), \tilde{a}_{k0}, \tilde{a}_{ki}$$

нечеткие числовые коэффициенты в виде треугольников: h - глубина, $k = 1, 2, \dots, 3$.

Для расчета нечетких числовых коэффициентов использовались алгоритмы оптимизации дифференциальных множеств с параметрами: коэффициенты мутаций; вероятности подключения и числа массивов. Оптимизация примерно равна 0.0006.

Используя установленные коэффициенты и исходя из исходных данных, можно прогнозировать показатели качества коллекторов, предполагаемые на больших глубинах (от 5300 до 5500 м).

Соответствие прогнозных показателей качества коллекторов исходным показано на рисунке 1, из рассмотренного которого следует, что в разрезе исследуемых отложений на глубинах более 4900 м можно ожидать снижение относительной глинистости и плотности коллекторов, но возможно также - увеличение проницаемости для жидких флюидов.

Выводы

В представленной статье описано использование нечеткой регрессионной модели для прогнозирования показателей качества коллекторов по глубине разреза реальных нефтяных месторождений на территории Бакинского архипелага в Азербайджане.

Составленная модель испытывалась как при экстраполяции исходных данных, так и при расчете ожидаемых значений показателей качества коллекторов на больших глубинах.

Литература

1. Кочарли, Ш. С. (2015). Проблемные вопросы нефтегазовой геологии Азербайджана. *Баку: Ганун*.
2. Гулиев, И. С., Шихалиев, Ю. А., Фейзуллаев, А. А., Кочарли, Ш. С. (2014). К концепции геологоразведочных работ по подготовке ресурсов углеводородов в Азербайджане. *Азербайджанское нефтяное хозяйство*, 9, 8-15.
3. Юсифов, Х. М., Асланов, Б. С. (2018). Нефтегазоносные бассейны Азербайджана. Баку: Марс-Принт.
4. Гасанов, А. Б., Мамедова, Д. Н., Аббасов, Э. Ю. (2017). Гелого-геофизическая изученность разреза ПТ Южно-Каспийской впадины (некоторые вопросы прогнозной оценки осадочного комплекса). *Москва: Lambert Academic Publishing*.
5. Aliyarov, R. Y., Hasanov, A. B., Ibrahimli, M. S., et al. (2018). Forecasting oil and gas reservoirs properties using of fuzzy-logic based methods. In: *13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS 2018*.
6. Aliyarov, R. Y., Ramazanov, R. A. (2016). Prediction of multivariable properties of reservoir rocks by using fuzzy clustering. In: *12th International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS 2016*.
7. Buryakovski, L. A., Chilingar, G. V., Aminzadeh, F. (2001). *Petroleum geology in the South Caspian Basin*. Boston: Gulf Professional Publishing.
8. Anifowose, F., Abdurraheem, A. (2010). Prediction of porosity and permeability of oil and gas reservoirs using hybrid computational intelligence models. In: *Proceeding of North Africa Technical Conference and Exhibition, Cairo, Egypt*.
9. Olatunji, S. O., Selamat, A., Azeez, A. R. A. (2015, April). Harnessing the power of type-2 fuzzy logic system in the prediction of reservoir properties. SPE-178005-MS. In: *SPE Saudi Arabia Section Annual Technical Symposium and Exhibition. Society of Petroleum Engineers*.
10. Cuddy, S. (1997, June). The application of the mathematics of fuzzy logic to petrophysics. SPWLA-1997-S. In: *SPWLA 38th Annual Logging Symposium. Society of Petroleum Engineers*.
11. Aliyarov, R. Y., Hasanov, A. B. (2018). Forecasting of qualitative characteristics of oil reservoirs. In: *Republican Scientific-Practical Conference devoted to the 95th Anniversary of H. Aliyev: Unity of science, education and production at the present stage of development*.
12. Латышова, М. Г., Мартынов, В. Г., Соколова, Т. Ф. (1991). Практическое руководство по интерпретации результатов геофизических исследований скважин. *Москва: Недра*.
13. Вендельштейн, Б. Ю., Резванов, Р. А. (1978). Геофизические методы определения параметров коллекторов нефти и газа: при подсчете запасов и проектировании разработки месторождений. *Москва: Недра*.
14. Kerimov, V. Yu., Rachinsky, M. Z., Mustaev, R. N., Osipov, A. V. (2018). Groundwater dynamics forecasting criteria of oil and gas occurrences in Alpine Mobile Belt basins. *Doklady Earth Sciences*, 476(2), 209-212.
15. Kerimov, V. Yu., Mustaev, R. N., Bondarev, A. V. (2016). Evaluation of the organic carbon content in the low-permeability shale formations (as in the case of the Khadum Suite in the Ciscaucasia region). *Oriental Journal of Chemistry*, 32(6), 3235-3241.
16. Kerimov, V. Yu., Gorbunov, A. A., Lavrenova, E. A., Osipov, A. V. (2015). Models of hydrocarbon systems in the Russian Platform-Ural junction zone. *Lithology and Mineral Resources*, 50, 394-406.
17. Lapidus, A. L., Kerimov, V. Y., Mustaev, R. N., et al. (2018). Caucasus Maykopian kerogenous shale sequences: generative potential. *Oil Shale*, 35(2), 113-127.
18. Kerimov, V., Rachinsky, M., Mustaev, R., Serikova, U. (2018). Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the South Caspian basin. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 10(1), 78-89.
19. Kerimov, V. Y., Mustaev, R. N., Osipov, A. V. (2018). Peculiarities of hydrocarbon generation at great depths in the crust. *Doklady Earth Sciences*, 483(1), 1413-1417.
20. Kerimov V. Yu., Lapidus, A. L., Yandarbiev, N. Sh., et al. (2017). Physicochemical properties of shale strata in the Maikop series of Ciscaucasia. *Solid Fuel Chemistry*, 51(2), 122-130.
21. Guliyev, I. S., Kerimov, V. Yu., Mustaev, R. N., Bondarev, A. V. (2018). The Estimation of the generation potential of the low permeable shale strata of the Maikop Caucasian series. *SOCAR Proceedings*, 1, 4-20.
22. Kerimov, V. Yu., Mustaev, R. N., Yandarbiev, N. Sh., Movsumzade, E. M. (2017). Environment for the formation of shale oil and gas accumulations in low-permeability sequences of the Maikop series, Fore-Caucasus. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(2), 879-892.
23. Kuznetsov, N. B., Kerimov, V. Yu., Osipov, A. V., Monakova, A. S. (2018). Geodynamics of the Ural Foredeep and geomechanical modeling of the origin of hydrocarbon accumulations. *Geotectonics*, 52(3), 297-311.
24. Rachinsky, M. Z., Kerimov, V. Y. (2015). Fluid dynamics of oil and gas reservoirs / Ed. by Gorfunkel, M. V. NY, USA: *Scrivener Publ. - Wiley*.

References

1. Kocharli, Sh. S. (2015). Problems issues of oil and gas geology of Azerbaijan. *Baku: Ganun*.
2. Guliyev, I. S., Shikhaliyev, Y. A., Feyzullayev, A. A., Kocharli, Sh. S. (2014). On conception of geological exploration works on treatment of hydrocarbon resources in Azerbaijan. *Azerbaijan Oil Industry*, 9, 8-15.
3. Yusifov, Kh. M., Aslanov, B. S. (2018). Oil and gas bearing basins of Azerbaijan. *Baku: Mars-Print*.
4. Gasanov, A. B., Mamedova, D. N., Abbasov, E. Yu. (2017). Gelogo-geofizicheskaya izuchennost' razreza PT Yuzhno-Kaspiyskoy vpadiny (nekotoryye voprosy prognoznoy otsenki osadochnogo kompleksa). *Moskva: Lambert Academic Publishing*.

5. Aliyarov, R. Y., Hasanov, A. B., Ibrahimli, M. S., et al. (2018). Forecasting oil and gas reservoirs properties using of fuzzy-logic based methods. In: *13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS 2018*.
6. Aliyarov, R. Y., Ramazanov, R. A. (2016). Prediction of multivariable properties of reservoir rocks by using fuzzy clustering. In: *12th International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing, ICAFS 2016*.
7. Buryakovski, L. A., Chilingar, G. V., Aminzadeh, F. (2001). *Petroleum geology in the South Caspian Basin*. Boston: Gulf Professional Publishing.
8. Anifowose, F., Abdulraheem, A. (2010). Prediction of porosity and permeability of oil and gas reservoirs using hybrid computational intelligence models. In: *Proceeding of North Africa Technical Conference and Exhibition, Cairo, Egypt*.
9. Olatunji, S. O., Selamat, A., Azeez, A. R. A. (2015, April). Harnessing the power of type-2 fuzzy logic system in the prediction of reservoir properties. SPE-178005-MS. In: *SPE Saudi Arabia Section Annual Technical Symposium and Exhibition. Society of Petroleum Engineers*.
10. Cuddy, S. (1997, June). The application of the mathematics of fuzzy logic to petrophysics. SPWLA-1997-S. In: *SPWLA 38th Annual Logging Symposium. Society of Petroleum Engineers*.
11. Aliyarov, R. Y., Hasanov, A. B. (2018). Forecasting of qualitative characteristics of oil reservoirs. In: *Republican Scientific-Practical Conference devoted to the 95th Anniversary of H. Aliyev: Unity of science, education and production at the present stage of development*.
12. Latyshova, M. G., Martynov, V. G., Sokolova, T. F. (1991). *Log data interpretation: practical guide*. Moscow: Nedra.
13. Vendel'shteyn, B. Yu., Rezvanov, R. A. (1978). Geofizicheskiye metody opredeleniya parametrov kollektorov nefi i gaza: pri podschete zapasov i proyektirovani razrabotki mestorozhdeniy. *Moskva: Nedra*.
14. Kerimov, V. Yu., Rachinsky, M. Z., Mustaev, R. N., Osipov, A. V. (2018). Groundwater dynamics forecasting criteria of oil and gas occurrences in Alpine Mobile Belt basins. *Doklady Earth Sciences*, 476(2), 209-212.
15. Kerimov, V. Yu., Mustaev, R. N., Bondarev, A. V. (2016). Evaluation of the organic carbon content in the low-permeability shale formations (as in the case of the Khadum Suite in the Ciscaucasia region). *Oriental Journal of Chemistry*, 32(6), 3235-3241.
16. Kerimov, V. Yu., Gorbunov, A. A., Lavrenova, E. A., Osipov, A. V. (2015). Models of hydrocarbon systems in the Russian Platform-Ural junction zone. *Lithology and Mineral Resources*, 50, 394-406.
17. Lapidus, A. L., Kerimov, V. Y., Mustaev, R. N., et al. (2018). Caucasus Maykopian kerogenous shale sequences: generative potential. *Oil Shale*, 35(2), 113-127.
18. Kerimov, V., Rachinsky, M., Mustaev, R., Serikova, U. (2018). Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the South Caspian basin. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 10(1), 78-89.
19. Kerimov, V. Y., Mustaev, R. N., Osipov, A. V. (2018). Peculiarities of hydrocarbon generation at great depths in the crust. *Doklady Earth Sciences*, 483(1), 1413-1417.
20. Kerimov V. Yu., Lapidus, A. L., Yandarbiev, N. Sh., et al. (2017). Physicochemical properties of shale strata in the Maikop series of Ciscaucasia. *Solid Fuel Chemistry*, 51(2), 122-130.
21. Guliyev, I. S., Kerimov, V. Yu., Mustaev, R. N., Bondarev, A. V. (2018). The Estimation of the generation potential of the low permeable shale strata of the Maikop Caucasian series. *SOCAR Proceedings*, 1, 4-20.
22. Kerimov, V. Yu., Mustaev, R. N., Yandarbiev, N. Sh., Movsumzade, E. M. (2017). Environment for the formation of shale oil and gas accumulations in low-permeability sequences of the Maikop series, Fore-Caucasus. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(2), 879-892.
23. Kuznetsov, N. B., Kerimov, V. Yu., Osipov, A. V., Monakova, A. S. (2018). Geodynamics of the Ural Foredeep and geomechanical modeling of the origin of hydrocarbon accumulations. *Geotectonics*, 52(3), 297-311.
24. Rachinsky, M. Z., Kerimov, V. Y. (2015). *Fluid dynamics of oil and gas reservoirs* / Ed. by Gorfunkel, M. V. NY, USA: Scrivener Publ. - Wiley.

Оценка флюидопроницаемости пород-коллекторов на больших глубинах методом нечеткой линейной регрессии

В.Ш. Гурбанов¹, А.Б. Гасанов¹, Г.Г. Аббасова²

¹Институт Нефти и Газа НАНА, Баку, Азербайджан; ²Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, Баку, Азербайджан

Реферат

Рассмотрена возможность использования теории нечетких множеств при оценке запасов трудноизвлекаемых глубоко погруженных углеводородов. При этом, учитывая сложность взаимосвязей между отдельными петрофизическими характеристиками, с одной стороны и неопределенностью релевантной информации с другой, выявлена большая эффективность методов нечеткой логики и гибких вычислений. В частности, был опробован метод кластеризации данных (нечеткие модели Сугено) с подбором дочерних функций (функций принадлежности). В этом методе прогнозирование свойств пород-коллекторов на больших глубинах осуществляется на основе нечеткой линейной регрессии отражающей взаимозависимости свойств и естественной неопределенности информации. Проверка метода проводилась на реальных показателях качества коллекторов известной группы месторождений Бакинского архипелага в Азербайджане. Результаты прогнозирования ожидаемых показателей качества коллекторов на больших глубинах свидетельствуют о том, что в разрезе исследуемых месторождений на глубинах более 4900 м можно ожидать снижение относительной глинистости и плотности коллекторов, но возможно также - увеличение проницаемости для жидких флюидов.

Ключевые слова: глубоко погруженные; трудноизвлекаемые запасы углеводородов; теория нечетких множеств; прогнозирование качества коллекторов.

Qeyri-səlis xətti reqressiya üsulu ilə süxurların kollektorlarının böyük dərinliklərdə flüid keçiriciliyinin qiymətləndirilməsi

V.Ş. Qurbanov¹, A.B. Həsənov¹, Q.Q. Abbasova²

¹AMEA-nın Neft və Qaz İnstitutu, Bakı, Azərbaycan; ²Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Dərinə basdırılmış karbohidrogenlərin ehtiyatlarının qiymətləndirilməsi zamanı qeyri-səlis çoxluqlar nəzəriyyəsi istifadə imkanları nəzərdən keçirilmişdir. Bu zaman bir tərəfdən ayrı-ayrı petrofiziki xarakteristikalar, digər tərəfdən relevant informasiyanın qeyri-müəyyənliyi arasındakı qarşılıqlı əlaqələrin mürəkkəbliyini nəzərə alaraq, qeyri-səlis məntiq və çevik hesablama metodlarının böyük səmərəliliyi aşkar edilmişdir. Xüsusilə, törəmə funksiyalarının (mənsubiyyət funksiyaları) seçilməsi ilə məlumatların klasterizasiyası metodu (Sugeno qeyri-səlis modelləri) sınaqdan keçirilmişdir. Bu metodda süxur kollektorlarının xassələrinin böyük dərinliklərdə proqnozlaşdırılması, xüsusiyyətlərin qarşılıqlı asılılığını əks etdirən və informasiyanın təbii qeyri-müəyyənliyini əks etdirən, qeyri-səlis xətti reqressiya əsasında həyata keçirilir. Metodun yoxlanılması Azərbaycanda Bakı arxipelaqının məşhur yataqlar qrupunun kollektorlarının keyfiyyətinin real göstəriciləri əsasında aparılmışdır. Böyük dərinliklərdə kollektorların gözlənilən keyfiyyət göstəricilərinin proqnozlaşdırılmasının nəticələri göstərir ki, tədqiq olunan yataqların kəsiyində 4900 m - dən çox olan dərinlikdə kollektorların nisbi gilliyinin və sıxlığının aşağı düşməsinə, həm də maye flüidləri üçün keçiriciliyin artırılmasını gözləmək olar.

Açar sözlər: dərin dalma; karbohidrogenlərin çətin çıxarıla bilən ehtiyatları; qeyri-səlis çoxluq nəzəriyyəsi; kollektorların xüsusiyyətlərinin proqnozlaşdırılması.