

**Г.М. Эфендиев**, член-корр. НАН Азербайджана; **Р.А. Исаев**, д-р философии;  
**И.А. Пиривердиев**, докторант<sup>1</sup>; **И.И. Джанзаков**, д-р техн. наук;  
**С.К. Буктыбаева**, канд. техн. наук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт Нефти и Газа Национальной Академии наук Азербайджана, ул. Ф. Амирова, 9, AZ1000, г. Баку, e-mail: galib\_2000@yahoo.com, raminisayev@gmail.com, igorbaku@yandex.ru

<sup>2</sup>Атырауский Университет Нефти и Газа им. С. Утебаева, 060027, мкр. Привокзальный, ул. Баймуханова, 45А, г. Атырау, Республика Казахстан, e-mail: dzhanzakov-aing@mail.ru, saulek1@mail.ru

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ, ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ТЕХНОЛОГИЙ

*Качество и полнота информации о буримости горных пород оказывает большое влияние на эффективность технологических решений, принимаемых при бурении скважин. Рассмотренные в настоящей статье анализ и обобщение опыта использования получаемой при бурении информации и оценка ее качества играют важнейшую роль при применении различных методов повышения качества информации при принятии решений на различных этапах бурения.*

*При анализе работы долот целесообразно разделять разрез на однородные интервалы и в их пределах рассматривать закономерности изменения показателей бурения. Но решение задач моделирования технологических процессов существенно затрудняется наличием неопределенности, связанной как с использованием случайных, так и нечетких величин. В связи с этим успешно применяется нечеткая логика, где дисперсия зависит от скрытых, внутренне присущих параметров и погрешности измерений.*

*В данной статье рассмотрено применение отмеченных положений на примере прогнозирования литологии, а также буримости пород разреза пробуренных скважин по комплексу признаков, полученных в результате геолого-геофизических и технологических исследований в процессе бурения скважин. В качестве признаков, характеризующих свойства пород, выбраны пористость, карбонатность и плотность, которые также оказывают влияние на их буримость. По отмеченным методам выполнены расчеты, в результате которых получена совокупная нечеткая вероятность. При сравнении литологий, которые возможны в равной степени, имеют похожие вероятности, гармоничное комбинирование выделяет любой индикатор, указывающий на то, что выбор определенной литологии маловероятен. Литологический прогноз с помощью нечеткой логики основан на утверждении о том, что конкретный тип литологии может вызвать любое показание на исходных данных, в частности, каротажной диаграмме, хотя некоторые показания более вероятны, чем другие.*

*Таким образом, применение комплексной информации в сочетании с методами математической статистики и нечеткой логики позволяет повысить качество получаемой информации и требует ее соответствующего анализа, что особенно важно в малоизученных регионах. Благодаря этому становится возможным принятие более эффективных решений при выборе технических средств и технологии.*

**Ключевые слова:** нечеткая логика, буримость, горная порода, принятие решений, информация, геолого-технологические исследования.

### Введение

Эффективность технологических решений, принимаемых при бурении скважин, в значительной степени зависит от полноты и качества информации о буримости горных пород. Однако, как показывает анализ, качество получаемой при бурении информации не всегда соответствует требованиям проектирования, что в свою очередь затрудняет процесс принятия

решений. Низкое качество получаемой информации является одной из причин принятия ошибочных решений, что в свою очередь приводит к возникновению осложнений, аварий, и, в целом, снижению технико-экономических показателей бурения скважин.

Исходя из этого, настоящий доклад посвящен анализу и обобщению опыта использования получаемой при бурении информации, оценке ее качества, путям применения различных методов повышения качества информации при принятии решений на различных этапах бурения.

### **Значение комплексной информации при принятии решений в процессе бурения скважин**

В результате выполненных исследований в различных научных и научно-производственных организациях предложены методы, позволяющие оценивать свойства горных пород как по кернам, шламу, с помощью результатов геофизических исследований скважин, так и по данным геолого-технологических исследований в процессе бурения.

В целом, анализ выполненных работ показывает, что добиться повышения уровня принимаемых решений в настоящее время можно при использовании комплексной геолого-геофизической и технологической информации, которая составляет основу принимаемых технологических решений. Такого характера информация может быть получена различными путями. Для ее получения и использования наряду с этим необходимо использовать современные методы обработки данных и анализа информации. Ранее нами предложены методы количественной оценки свойств горных пород по качественному их описанию, моделирования показателей буримости по результатам геолого-технологических исследований, с применением статистических методов производилось выделение однородных по буримости интервалов. При этом неоднородность, нечеткость и случайный характер факторов затрудняют проведение отмеченного анализа. В данном случае надежной основой могут послужить методы, учитывающие отмеченные неопределенности [1–7], которые в последнее время получили широкое развитие. Большое значение имеют также и методы изучения геологических разрезов в процессе бурения [4–7].

Применение при этом результатов ГТИ в комплексе ГИС позволяет глубже изучить разрез и тем самым повысить качество принимаемых решений.

### **Результаты моделирования и оценки свойств горных пород, слагающих разрез скважины**

При анализе геолого-технологической информации о бурении скважин, в частности, и данных, связанных с измерениями вообще, приходится иметь дело с погрешностями, неопределенностью и неустойчивыми корреляционными связями между исследуемыми параметрами. Такие затруднения присущи техническим, технологическим, геологическим и геофизическим исследованиям вследствие сложностей, связанных с созданием и применением более точных приборов для измерения показателей бурения, характеристик пластов, в особенности со сложным геологическим строением, режимных параметров и др. При геомеханическом моделировании приходится сталкиваться с трудностями, связанными с прогнозными оценками, интерпретацией результатов, выделением однородных интервалов и принятием решений. Становится очень сложным проведение сравнительного анализа между значениями одного и того же параметра, замеренными различными путями. Например, на простое измерение технологических параметров, скорости проходки, показателей свойств пород разреза может повлиять комплекс возмущающих воздействий, которые учесть невозможно; к ним можно отнести колебания нагрузки на долото, минералогический состав пород, их литология, насыщающие флюиды, проникновение фильтрата бурового раствора и др. В отличие от традиционных методик, целью которых является сведение погрешностей к минимуму, оценка и анализ погрешностей позволяют заметить, что в данной погрешности

скрыта полезная информация [1, 7–9]. Информацию об ошибке можно использовать с целью создания надежного инструмента, который бы дополнял традиционные методики, необходимые технологам, геологам и геофизикам при решении задач прогнозирования.

При анализе работы долот целесообразно разделять разрез на однородные интервалы и в их пределах рассматривать закономерности изменения показателей бурения. Для этих целей предложены различные классификационные методы. Одним из простых методов, который позволяет производить эту операцию, является известный из геологии метод Д.А. Родионова. Согласно данному методу [8], вначале предполагается однородность массива по всей глубине и рассчитывается критерий Д.А. Родионова для каждого интервала по предложенному автором выражению [10].

Данный критерий широко использовался при расчленении разреза скважины на однородные по буримости интервалы [4, 5, 8, 9].

На рис. 1 на примере двух скважин показаны изменения твердости и абразивности с глубиной в сравнении с механической скоростью проходки различными долотами. Там же выделены однородные интервалы, разбуренные одинаковыми типами долот. Приведенные данные обработаны методом «скользящей средней», что позволяет снизить амплитуду разброса данных и четче выделить тенденцию изменения рассматриваемого параметра.

На сегодняшний день успешно применяется при оценке и использовании характеристик пласта нечеткая логика [1, 6, 7, 11, 12]. При этом дисперсия зависит от скрытых, внутренне присущих параметров и погрешности измерений. Дисперсия около среднего значения является одним из главных условий, порождающих причины нечеткости, и в связи с этим в работе [7] авторами сделана попытка обоснования, почему данный параметр характеризует нечеткость и требует применения именно нечеткой логики.

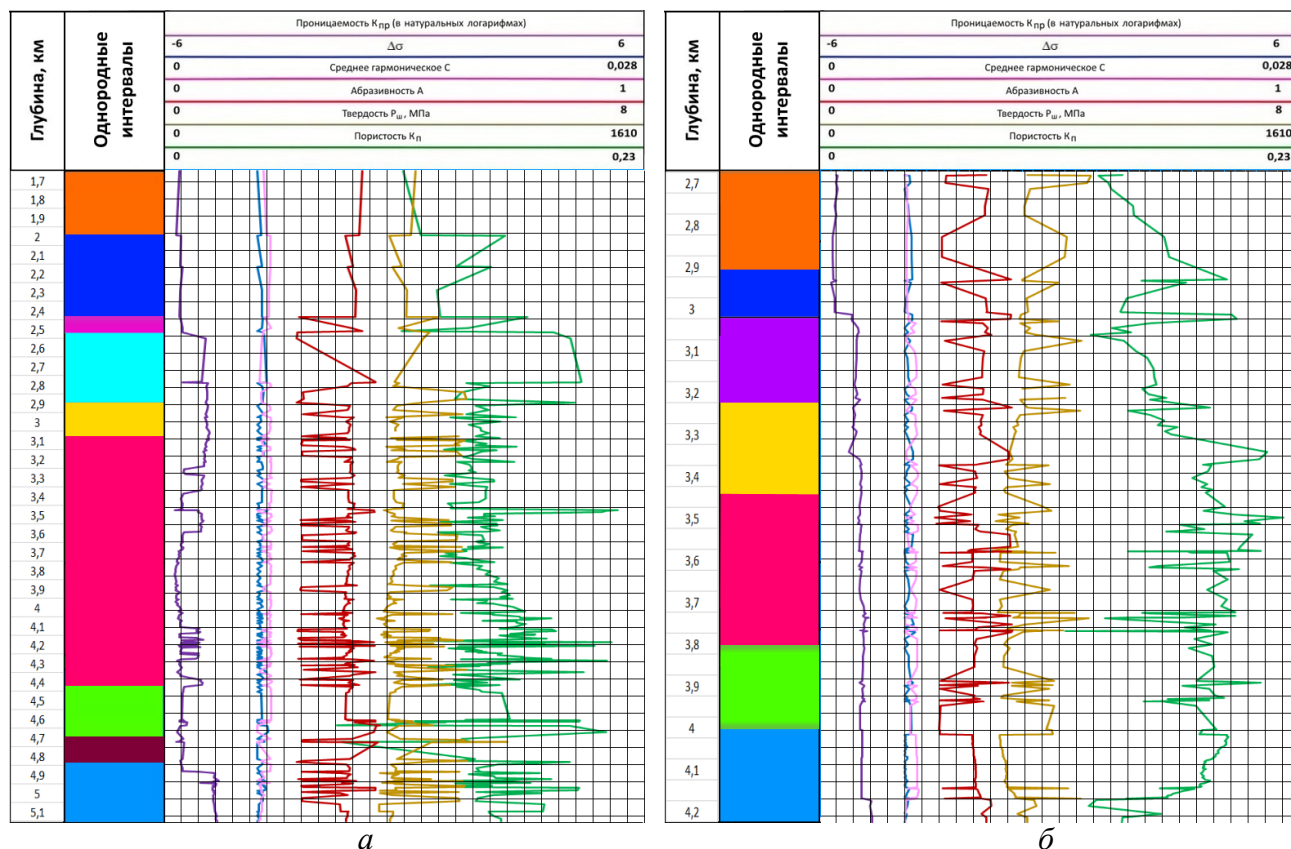


Рис. 1. Результаты анализа информации о бурении двух скважин на месторождении Бахар:  
а – скважина X, б – скважина XX

В целом, как показывает анализ, решение задач моделирования технологических процессов существенно затрудняется наличием неопределенности, связанной как с использованием случайных, так и нечетких величин.

Рассмотрено применение отмеченных положений на примере прогнозирования литологии, а также буримости пород разреза пробуренных скважин по комплексу признаков (твердость, абразивность, показатель литологии, пористость, проницаемость и др.), полученных в результате геолого-геофизических и технологических исследований в процессе бурения скважин. Анализ распределения показал, что для каждого из перечисленных признаков, за исключением проницаемости, оно подчиняется нормальному закону (проницаемость подчиняется логнормальному закону, поэтому в качестве значений взяты их логарифмы) [3–7]. В этих работах приводятся выражения и изложение методов, основанных на применении теории вероятностей и нечеткой логики, а также результаты интерпретации комплексной геолого-геофизической и технологической информации. С применением отмеченных подходов можно производить уточнение свойств горных пород, а также выделение однородных интервалов. В представленном докладе в качестве признаков, характеризующих свойства пород, выбраны пористость, карбонатность и плотность, которые также оказывают влияние на их буримость.

По отмеченным методам выполнены расчеты, в результате которых получена совокупная нечеткая вероятность:

$$C_f = \frac{3}{\frac{1}{F(K_{\pi})} + \frac{1}{F(\text{Карб.})} + \frac{1}{F(\rho)}}$$

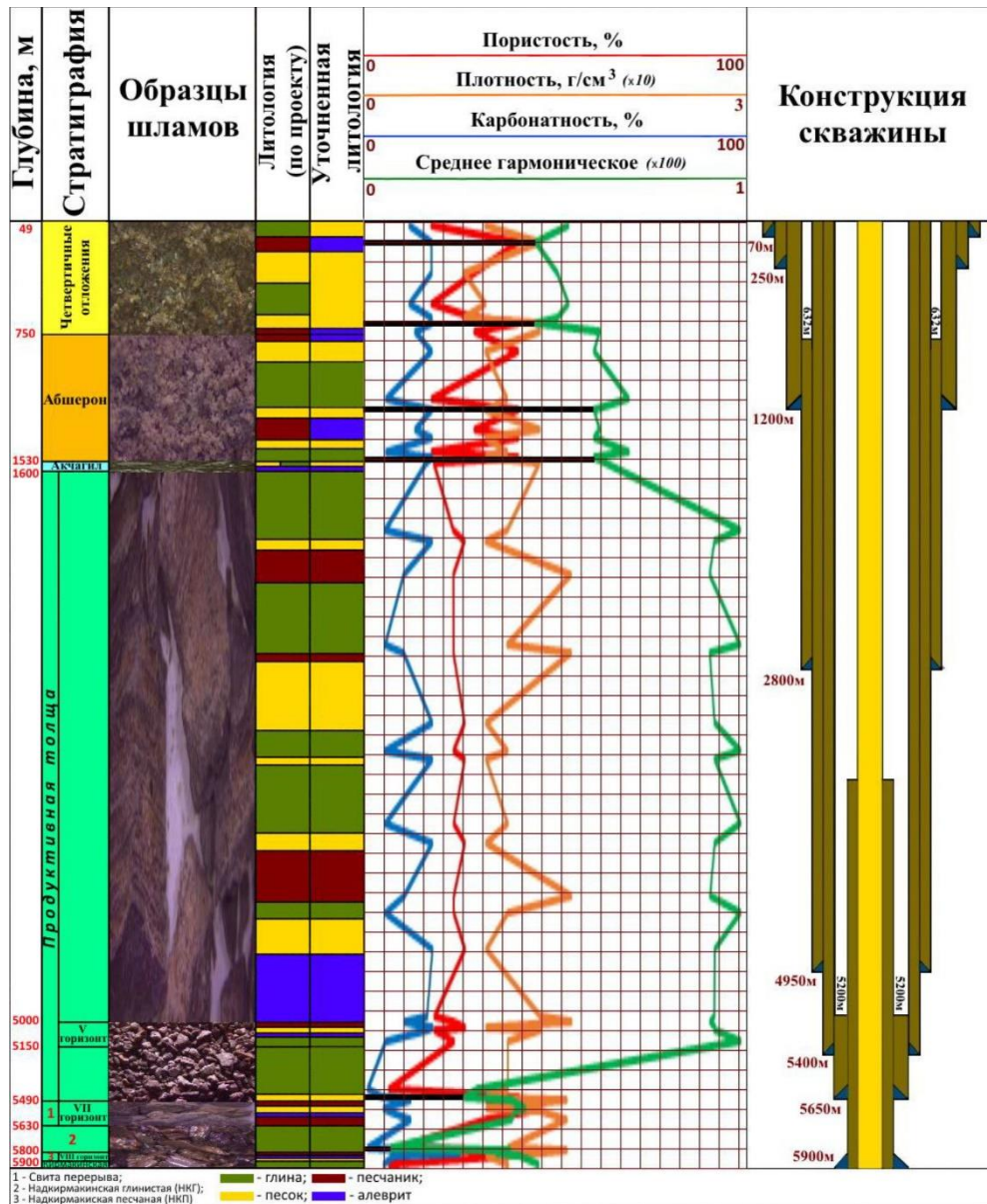
Данный процесс повторяется для каждого литотипа  $f$ . Литотип, связанный с наибольшей совокупной нечеткой возможностью, принимается как наиболее вероятный для данного набора признаков. Соответствующая нечеткая вероятность  $C_f(\max)$  повышает степень достоверности литологического прогноза. На примере разреза рассмотренной в качестве примера скважины проведены расчеты по отмеченной схеме; результаты приведены на рис. 2.

На рис. 2 показаны две литологические колонки – приведенная в проекте скважины и уточненная по отмеченной расчетной схеме. Показано сопоставление выделенных литологических типов пород со значениями нечетких вероятностей. Рассматриваемая в настоящем докладе методика была реализована путем анализа большого объема данных по нескольким скважинам и отличается от традиционных тем, что нечеткая логика комбинирует нечеткие возможности гармонически, исходя из сравнения результатов оценки нескольких признаков. При сравнении литологий, которые возможны в равной степени, имеют похожие вероятности, гармоническое комбинирование при этом выделяет любой индикатор, указывающий на то, что выбор определенной литологии маловероятен.

Литологический прогноз с помощью нечеткой логики основан на утверждении о том, что конкретный тип литологии может вызвать любое показание на исходных данных, в частности, каротажной диаграмме, хотя некоторые показания более вероятны, чем другие.

Таким образом, развитие современных технических средств и технологий для информационного обеспечения процесса бурения скважин и их широкое внедрение позволяют повысить качество получаемой информации и требуют ее соответствующего анализа. Оперативная информация, получаемая в процессе бурения, имеет большое значение при бурении скважин, особенно в малоизученных регионах со сложными горно-геологическими и экологическими условиями. При этом, как видно из рис. 1, имеется возможность провести сравнительный анализ изменений свойств горных пород и скорости проходки, выделить

однородные интервалы по свойствам горных пород и буримости в целом, проследить за интервалами возможных осложнений и т. д.



При аналізі роботи доліт доцільно розділяти розріз на однорідні інтервали і в їх межах розглядати закономірності зміни показників буріння. Але рішення задач моделювання технологічних процесів істотно ускладнюється наявністю невизначеності, пов'язаної як з використанням випадкових, так і нечітких величин. У зв'язку з цим успішно застосовується нечітка логіка, де дисперсія залежить від прихованих, внутрішньо властивих параметрів і похибки вимірювань.

У цій статті розглянуто застосування зазначених положень на прикладі прогнозування літології, а також буримости порід розрізу пробурених свердловин за комплексом ознак, отриманих в результаті геолого-геофізичних і технологічних досліджень в процесі буріння свердловин. В якості ознак, що характеризують властивості порід, обрані пористість, карбонатність і щільність, які також впливають на їх буримість. За зазначеним методом виконані розрахунки, в результаті яких отримана сукупна нечітка ймовірність. При порівнянні літологій, які можливі в рівній мірі, мають схожі ймовірності, гармонійне комбінування виділяє будь-який індикатор, який вказує на те, що вибір певної літології малоімовірний. Літологічний прогноз за допомогою нечіткої логіки заснований на твердженні про те, що конкретний тип літології може викликати будь-яке показання на вихідних даних, зокрема, картожній діаграмі, хоча деякі свідчення більш вірогідні, ніж інші.

Таким чином, застосування комплексної інформації в поєднанні з методами математичної статистики і нечіткої логіки дозволяє підвищити якість одержуваної інформації і вимагає її відповідного аналізу, що особливо важливо в маловивчених регіонах. Завдяки цьому стає можливим прийняття більш ефективних рішень при виборі технічних засобів і технологій.

**Ключові слова:** нечітка логіка, буримість, гірська порода, прийняття рішень, інформація, геолого-технологічні дослідження.

**G.M. Efendiyev, R.A. Isayev, I.A. Piriverdiyev<sup>1</sup>, I.I. Dzhanzakov, S.K. Buktybayeva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Oil and Gas of Azerbaijan National Academy of Sciences*

<sup>2</sup>*Atyrau University of Oil and Gas, Kazakhstan*

### **INFORMATION SUPPORT OF THE PROCESS OF DRILLING WELLS BASED ON THE APPLICATION OF MODERN METHODS, TECHNICAL MEANS AND TECHNOLOGIES**

*The quality and completeness of information on the drillability of rocks has a great influence on the efficiency of technological decisions taken when drilling wells. The analysis and generalization of the experience of using the information obtained during drilling and the assessment of its quality considered in this report play an important role in the application of various methods of improving the quality of information when making decisions at various stages of drilling.*

*When analyzing the work of bits, it is advisable to divide the section into homogeneous intervals and, within their limits, to consider the patterns of changes in drilling indicators. However, the solution of problems of modeling technological processes is significantly hampered by the presence of uncertainty associated with both the use of random and fuzzy quantities. In this regard, fuzzy logic is successfully applied, where the variance depends on hidden, inherent parameters and measurement error.*

*This paper discusses the application of the noted provisions using the example of predicting the lithology, as well as the drillability of rocks of the section of drilled wells according to a set of signs obtained as a result of geological-geophysical and technological research in the process of drilling wells. Porosity, carbonate content and density were selected as features characterizing the properties of rocks, which also affect their drillability. According to the above methods, calculations were performed, as a result of which the cumulative fuzzy probability was obtained. When comparing lithologies that are equally possible, have similar probabilities, harmonic combining highlights any indicator that shows that a particular lithology is unlikely to be selected. Fuzzy logic lithology prediction is based on the assertion that a particular type of lithology can cause any indication on the initial data, in particular the well log, although some indications are more likely than others.*

*Thus, the use of complex information in combination with the methods of mathematical statistics and fuzzy logic can improve the quality of the information received and requires its appropriate analysis, which is*

*especially important in poorly studied regions. Thanks to this, it becomes possible to make more effective decisions when choosing technical means and technology.*

**Key words:** *fuzzy logic, drillability, rock formation, decision making, information, geological and technological research.*

### Литература

1. Zadeh L.A. Fuzzy Sets // Information and Control.– 1965. – V. 8. – P. 338–353.
2. Aliev, R. A, Guirimov B. G. Type-2 Fuzzy Neural Networks and Their Applications. – Switzerland: Springer International Publishing, 2014. – 203 p.
3. Эфендиев Г. М., Кулиев Г. Г., Пиривердиев И. А., Джанзаков И.И., Буктыбаева С.К. Методы и средства повышения качества информации при принятии решений в управлении процессом бурения скважин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – Вып. 22. – 2019. – С. 52–62.
4. Efendiyev, G. M., Mammadov, P. Z., Piriverdiyev, I. A. Modeling and Evaluation of Rock Properties Based on Integrated Logging While Drilling with the Use of Statistical Methods and Fuzzy Logic // 10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions – ICSCCW-2019, Prague, Czech Republic, August 27–28, 2019. – Springer Nature Switzerland AG, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020. – P. 503–511.
5. Efendiyev G., Isayev R., Piriverdiyev I. Decision-Making while Drilling Wells based on the Results of Modeling the Characteristics of Rocks using Probabilistic-Statistical Methods and Fuzzy Logic. ISAIC 2020 // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. V. 1828. – P. 012016.
6. Brown D. F., Cuddy S. J., Garmendia-Doval A. B., McCall J. A. W. The Prediction of Permeability in Oil-Bearing Strata using Genetic Algorithms // Materials of the Third IASTED International Conference Artificial Intelligence and Soft Computing, Banff, Alberta, Canada, July 24-26, 2000.
7. Cuddy S. J., Glover, P. W. J. The Application of Fuzzy Logic and Genetic Algorithms to Reservoir Characterization and Modeling // Soft Computing for Reservoir Characterization and Modeling / Wong P., Aminzadeh F., Nikravesh M. (Eds.). – Physica-Verlag Heidelberg, 2002. – P. 219–241.
8. Родионов Д.А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. – М.: Недра, 1968. – 158 с.
9. Efendiyev G. M., Djafarova N. M., Djevanshir R. D. The optimum decision in cutting-type drilling bits selection with regard to their operating conditions and the vagueness of the task posed // Energy sources. – 1991. –V 13, N 2. – P. 243–250.
10. Хисметов Т. В., Эфендиев Г. М., Кирисенко О. Г., Маммадов Т.Н., Алиев М.С., Бакиров Ш.Х. Оценка показателей бурения и принятие решений на основе комплексной геолого-технологической информации // Нефтяное Хозяйство. – 2006. – № 10. – С. 42–44.
11. Родионов Д. А. Статистические решения в геологии. – М.: Недра, 1981. – 231 с.
12. Freund J.E., Walpole R.E. Mathematical Statistics. – Prentice-Hall International, 1980. – 206 p.
13. Fang J. H., Chen H. C. Fuzzy modeling and the prediction of porosity and permeability from the compositional and textural attributes of sandstone // Journal of Petroleum Geology – 1997. – V. 20, N 2. – P. 185–204.

*Поступила 11.08.21*

## References

1. Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338–353.
2. Aliev, R. A., & Guirimov, B. G. (2014). *Type-2 Fuzzy Neural Networks and Their Applications*. Switzerland: Springer International Publishing.
3. Efendiev G. M., Guliev H. H., Piriverdiev I. A., et al. (2019). Metody i sredstva povysheniia kachestva informacii pri priniatii reshenii v upravlenii processom bureniia skvazhin [Methods and means of improving the quality of information when making decisions in managing the process of drilling wells]. *Porodorazrushaiushchii i metallobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 22, 52–62 [in Russian].
4. Efendiyev, G. M., Mammadov, P. Z., & Piriverdiyev, I. A. (2020). Modeling and Evaluation of Rock Properties Based on Integrated Logging While Drilling with the Use of Statistical Methods and Fuzzy Logic. Proceedings from *10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions '19*. (pp. 503–511). Springer Nature Switzerland AG, Advances in Intelligent Systems and Computing.
5. Efendiyev, G., Isayev, R., Piriverdiyev, I. (2021). Decision-Making while Drilling Wells based on the Results of Modeling the Characteristics of Rocks using Probabilistic-Statistical Methods and Fuzzy Logic. ISAIC 2020. *Journal of Physics: Conference Series*, 1828, 012016.
6. Brown, D. F., Cuddy, S. J., Garmendia-Doval, A. B., & McCall, J. A. W. (2000). The Prediction of Permeability in Oil-Bearing Strata using Genetic Algorithms. Proceedings from *the Third IASTED International Conference Artificial Intelligence and Soft Computing, Banff, Alberta, Canada, July 24-26*.
7. Cuddy, S. J., & Glover, P. W. J. (2002). The Application of Fuzzy Logic and Genetic Algorithms to Reservoir Characterization and Modeling. *Soft Computing for Reservoir Characterization and Modeling*, 1, 219-241.
8. Rodionov, D.A. (1968). *Statisticheskie metody razgranicheniia heolohicheskikh obektov po kompleksupriznakov [Statistical methods for differentiating geological objects by a complex of features]*. Moscow: Nedra [in Russian].
9. Efendiyev, G. M., Djafarova, N. M., & Djevanshir, R. D. (1991). The optimum decision in cutting-type drilling bits selection with regard to their operating conditions and the vagueness of the task posed. *Energy sources*, 13, 2, 243–250.
10. Khismetov, T. V., Efendiyev, G. M., Kirisenko, O. G., et al. (2006). Otsenka pokazatelei bureniia i priniatie reshenii na osnove kompleksnoi geologo-tehnologicheskoi informatsii [Assessment of drilling performance and decision-making based on integrated geological and technological information]. *Neftianoe Hoziastvo. – Oil Industry*, 10, 42–44 [in Russian].
11. Rodionov, R. A. (1981). *Statisticheskie reshenija v geologii [Statistical solutions in geology]*. Moscow: Nedra [in Russian].
12. Freund, J. E., & Walpole., R. E. (1980). *Mathematical Statistics*. Hoboken, NJ: Prentice-Hall International.
13. Fang, J. H., & Chen, H. C. (1997). Fuzzy modeling and the prediction of porosity and permeability from the compositional and textural attributes of sandstone. *Journal of Petroleum Geology*, 20, 2, 185–204.