© Т.В. Арутюнов, А.А. Арутюнов,
О.В. Савенок, З.Х. Моллаев, 2015

УДК 622.276

Т.В. Арутюнов, А.А. Арутюнов, О.В. Савенок, З.Х. Моллаев

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ РЕСУРСОВ СЛАНЦЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Рассмотрены методологические основы оценки ресурсов сланцевых отложений, которые представляют собой системную задачу добычи сланцевых углеводородов. Поставлена задача: разработка принципов классификации нефтегазодобывающих систем по признакам неопределенности, нечеткости и неоднородности. Сформулировано базовое определение сланцевых пород как материальных систем с характерными признаками.

Ключевые слова: сланцевые отложения, нетрадиционные ресурсы, оценка запасов сланцевой нефти, разработка методологических основ, неопределенность и нечеткость промысловой информации.

Современные сланцевые технологии развивались в экстенсивном режиме, что привело к тому, что ряд вопросов научного обоснования технологии не был проработан в достаточной степени.

Ранее нами рассмотрен анализ методов и современных технологий разработки месторождений сланцевой нефти, а также приведены отличительные признаки традиционных и нетрадиционных ресурсов углеводородов (УВ), обуславливающие системные предпосылки технологии добычи сланцевых отложений [1–3].

Оценки запасов и ресурсов нефтегазоносных сланцев по регионам мира в настоящее время могут рассматриваться как приблизительные и в ряде случаев недостоверны, что подтверждается практикой эксплуатации месторождений в США. Причины этого заключаются в слабой изученности ресурсной базы во многих регионах, а также в низком уровне достоверности применяемых методов оценки ресурсов.

В [4] сформулированы основные стратегические этапы развития минерально-сырьевой базы и вовлечения в освоение нетрадиционных видов углеводородного сырья:

• выявление зон распространения отложений, благоприятных для формирования скоплений нетрадиционных источников;

• разработка методических основ их количественной оценки;

• локализация и количественная оценка прогнозных ресурсов;

• формирование лицензионных участков нетрадиционными источниками.

Усилиями М.И. Левинбука, В.П. Якуцени, В.И. Высоцкого, О.М. Прищепы, О.Ю. Аверьяновой, А.А. Ильинского, А.В. Петухова и др. решена базовая системная проблема – закрепление понятийной базы и более однозначное использование терминов, разграничивающих понятия о традиционных и нетрадиционных УВ.

Разработка методологических основ оценки ресурсов сланцевых отложений представляет собой еще одну системную задачу добычи сланцевых УВ.

Оценка запасов сланцевой нефти непрерывного скопления ведется с использованием очень сложных расчетов и весьма неточными методами оценки [5].

Существует проблема неоднозначности методик определения органи-

ческого вещества, содержащегося в сланцах, – керогена.

Наиболее распространенный вид анализа оценки ресурсов нефти – «модифицированный метод Фишера», стандартизированный как ASTM метод, заключается в нагреве измельченного образца нефтеносного сланца до 500 °С с последующим весовым анализом сконденсированных паров определения органического вещества [6].

Метод Rock-Eval состоит в нагревании 100 г породы в атмосфере гелия до температуры 300 °С, затем при повышении температуры на 25 °С в минуту до 600 °С. Свободные углеводороды, содержащиеся в нефти или газе, испаряются при температуре около 300 °С, что дает пик S_1, выраженный в количестве углеводородов на грамм породы. Чем больше пик S_1, тем больше количество свободной нефти [7].

Авторы [8] предложили экспресс-метод определения геологических запасов нефти:

1. Определение геологических запасов нефти в единице объема породы по пику S_1 предпочтительно из всего керна, желательно из каждого фута керна.

2. Определение распределения геологических ресурсов нефти на площади 1 акр.

3. Найденный таким образом объем углеводородов расценивается как минимальное значение углеводородов геологических запасов в породе.

Комплекс методов выделения контуров газосланцевых полей из состава материнских формаций

В [4] отмечено, что невозможно однозначно оценить сланцевый бассейн, изучая его как традиционный объект (в том числе бассейнового моделирования). Для оценки надо выполнить большой комплекс геохимических и механических исследований непосредственно сланцев (глин и мергелей).

В рамках обсуждения принципов построения методики количественной оценки нетрадиционных ресурсов в [4] предложен комплекс методов выделения контуров газосланцевых полей из состава материнских формаций (рисунок).

Анализируя данные по методам оценки сланцевых ресурсов, а также достоверность прогнозных данных, корректируемых по результатам эксплуатации скважин, можно заключить, что:

• главная причина нерешенности методологиче-

ских задач оценки сланцевых ресурсов состоит в отсутствии адекватных моделей нефтегазоносных сланцев;

• упомянутые выше модели могут быть созданы на основе сочетания экспериментальных, теоретических и расчетных исследований, а также методов междисциплинарной методологии, опирающейся на такие дисциплины как геология, химия, физическая химия, гидродинамика и др.

Значительный интерес представляет исследование природы сланцевых пород как мало изученной материальной системы, для описания которой могут быть использованы методы междисциплинарной методологии.

Нетрадиционные нефтегазовые скопления весьма сложны для описания состояния структурными, стратиграфическими, литологическими и прочими традиционными методами. Таким образом, возникают новые факторы неопределенности и нечеткости промысловой информации.

Сланцевая добыча может быть описана в терминах и принципах сложных систем [9] как совокупность элементов – состояния пород-коллекторов, методов определения ресурсов, технологии добычи и др.

Ранее указывалось, что имеют место признаки неопределенности по таким элементам как:

• геологическим, физико-химическим и иных характеристикам сланцевых пород;

• степени зрелости органического вещества;

• методам определения и прогнозирования ресурсов;

• изменению промысловых характеристик в период эксплуатации;

• экономическим и экологическим факторам и рискам.

Наряду с признаками неопределенности нефтегазодобывающие системы характеризуются такими признаками как нечеткость и неявность. В [10] показано, что основной характерной чертой геологии и разработки нефтяных месторождений является неопределенность, нечеткость и неполнота знаний об объекте разработки – месторождении.

Одна из задач настоящей работы – разработка принципов классификации нефтегазодобывающих систем по признакам неопределенности, нечеткости и неоднородности.

По этой классификации нефтегазодобывающие системы по признакам неопределенности, нечеткости и неоднородности разделяются на группы:

• традиционные неистощенные без признаков осложнений;

• традиционные неистощенные с признаками осложнений;

• традиционные в стадии завершения;

• нетрадиционные (сланцевые).

Традиционные неистощенные без признаков осложнений – наиболее прогнозируемые, нетрадиционные (сланцевые) – наименее прогнозируемые с выраженными признаками неопределенности, нечеткости и неоднородности. Вследствие этого методология разработки нетрадиционных (сланцевых) месторождений должна строиться на учете неопределенности, нечеткости и неоднородности (ННН).

Указанные положения обладают качествами научной новизны, а само направление методологии ННН перспективно для формирования новых подходов при исследовании нефтегазодобывающих систем.

С использованием методологии ННН можно будет описывать нефтегазодобывающие системы по степени разупорядоченности, при этом факторы осложнений добычи будут рассматриваться как хаотизирующие систему элементы.

Признаки неопределенности и неоднородности могут быть прослежены на сланцевых породах, от состоя-

ния которых в значительной степени зависит выбор технологии выработки.

Сланцевые породы помимо качеств высокой неоднородности характеризуются признаками неопределенности.

Для исследования природы и моделирования сланцевых пород имеет смысл дать базовое определение: сланцевые породы – материальные системы, которые характеризуются следующими признаками:

• состоят из двух основных компонентов – неорганической и органической фаз;

• неорганическая фаза представлена горными породами-песчаниками, доломитами, глинистыми соединениями и др.;

• органическая фаза представлена предшественниками нефти разной степени зрелости;

• морфологически неорганическая фаза оформлена в виде пространственного каркаса, в поровом объеме которого располагается органическая фаза;

• между неорганической и органической фазой может существовать химическая связь.

В заключении можно сделать следующие основные выводы:

1. Разработка методологических основ оценки ресурсов сланцевых отложений представляет собой еще одну системную задачу добычи сланцевых УВ, для решения которой необходимо выполнение комплекса экспериментальных, теоретических и расчетных исследований.

2. Поставлена задача: разработка принципов классификации нефтегазодобывающих систем по признакам неопределенности, нечеткости и неоднородности.

3. Сформулировано базовое определение сланцевых пород как материальных систем с характерными признаками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арутюнов Т.В.* Современные технологии разработки месторождений сланцевой нефти / Инновационное развитие современной науки. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 31 января 2014 г., ч. 7 / Отв. ред. А.А. Сукиасян. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2014. – С. 164–166.

2. *Арутюнов Т.В.* Технологии эффективной выработки запасов углеводородов из нефтенасыщенных сланцев / Тезисы докладов XIV научно-практической конференции «Геология и разработка месторождений с трудноизвлекаемыми запасами». 23–25 сентября 2014 г. Анапа. – М.: Нефтяное хозяйство, 2014. – С. 7.

3. *Арутюнов Т.В., Антониади Д.Г., Савенок О.В.* Анализ методов и технологий промышленной разработки месторождений углеводородов сланцевых отложений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник), 2014. – № 3. – С. 43–47. URL: http://id-yug.com/images/id-yug/SET/2014/3/Arutunov-Antoniadi-Savenok-43–47.pdf

4. *Пришепа О.М., Ильинский А.А., Жарков А.М., Аверьянова О.Ю.* Оценка ресурсного потенциала и направления изучения объектов нетрадиционных источников углеводородного сырья Российской Федерации. Всероссийское совещание «Методические проблемы геологоразведочных и научно-исследовательских работ в нефтегазовой отрасли», посвященного 60-летию образования ФГУП «ВНИГНИ». 16–18 октября 2013 г. – М.: ВНИГНИ, 2013.

5. *Морариу Д., Аверьянова О.Ю.* Некоторые аспекты нефтеносности сланцев: понятийная база, возможности оценки и поиск технологий извлечения нефти // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. – Т. 8. – № 1. URL: http://www.ngtp.ru/rub/9/3_2013.pdf

6. *Ronald C. Johnson, Tracey J. Mercier, Michael E. Brownfield, Jesse G. Self.* Assessment of In-Place Oil Shale Resources of the Green River Formation, Uinta Basin, Utah and Colorado. U.S. Geological Survey. Fact Sheet 2010–3010. May 2010. URL: http://pubs.usgs.gov/fs/2010/3010/pdf/FS10–3010.pdf

7. *Bordenave, M.L.* Applied petroleum geochemistry, editions Technip, 1993, Paris, 524 p.

8. *Downey M.W., Garvin J., Lagomarsino R.C., Nicklin D.F.* Quick look determination of oil-in-place in oil shale resource plays, adapted for oral presentation at AAPG Annual Convention and Exhibition, Houston, Texas, USA, April 10–13, 2011.

9. *Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С.* Основы теории сложных систем. – М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и стохастическая динамика», 2007. – 612 с.

10. *Еремин Н.А.* Моделирование месторождений углеводородов методами нечеткой логики. – М.: Наука, 1994. – 462 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Арутюнов Татос Владимирович – аспирант, *e*-mail: arutyunov-tatos@mail.ru,
Арутюнов Александр Аракелович – кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник,
Савенок Ольга Вадимовна – доктор технических наук, доцент, *e*-mail: olgasavenok@mail.ru,
Институт нефти, газа и энергетики, Кубанский государственный технологический университет;
Моллаев Зелимхан Хусейнович – кандидат технических наук, заместитель главного геолога,
e-mail: z.mollaev@rkng.ru, ООО «РН – Краснодарнефтегаз».

UDC 622.276

METHODOLOGY OF THE ESTIMATION RESOURCE SHALE DEPOSITS

Arutyunov T.V.[1], Graduate Student, *e*-mail: arutyunov-tatos@mail.ru
Arutyunov A.A.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Senior Researcher,
Savenok O.V.[1], Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, *e*-mail: olgasavenok@mail.ru,
Mollaev Z.H., Candidate of Technical Science, Deputy Main Geologist, *e*-mail: z.mollaev@rkng.ru,
LLC «RN – Krasnodarneftegaz», Krasnodar, Russia,
[1] Institute of Oil, Gas and Power Engineering, Kuban State Technology University,
350072, Krasnodar, Russia.

In article are considered methodological bases of the estimation resource shale postponing, which present itself system problem of the mining shale hydrocarbon. The put problem: development principle to categorizations oil and gas production systems on sign of the uncertainties, vagueness and discontinuity. Base determination of the shale sorts is worded as material systems with typical sign.

Key words: shale deposits, non-traditional resources, estimation spare to shale oil, development methodological bases, uncertainty and vagueness commercial information.

REFERENCES

1. Arutyunov T.V. *Innovatsionnoe razvitie sovremennoi nauki. Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, ch. 7. Otv. red. A.A. Sukiasyan (Innovation development of modern science. Proceedings of International Conference, part 7, Sukiasyan A.A. (Ed.)), Ufa, RITs BashGU, 2014, pp. 164–166.

2. Arutyunov T.V. *Tezisy dokladov XIV nauchno-prakticheskoi konferentsii «Geologiya i razrabotka mestorozhdenii s trudnoizvlekaemymi zapasami»* (Abstract of papers of XIV Conference on Geology and Development of Hard-to-Recover Mineral Reserves), Moscow, Neftyanoe khozyaistvo, 2014, pp. 7.

3. Arutyunov T.V., Antoniadi D.G., Savenok O.V. *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (politekhnicheskii vestnik)*, 2014, no 3, pp. 43–47, available at: http://id-yug.com/images/id-yug/SET/2014/3/Arutunov-Antoniadi-Savenok-43–47.pdf

4. Prishchepa O.M., Il'inskii A.A., Zharkov A.M., Aver'yanova O.Yu. *Otsenka resursnogo potentsiala i napravleniya izucheniya ob"ektov netraditsionnykh istochnikov uglevodorodnogo syr'ya Rossiiskoi Federatsii. Vserossiiskoe soveshchanie «Metodicheskie problemy geologorazvedochnykh i nauchno-issledovatel'skikh rabot v neftegazovoi otrasli», posvyashchennogo 60-letiyu obrazovaniya FGUP «VNIGNI»* (OAppraisal of potential resources and trends of studying nonconventional sources of hydrocarbon raw materials in Russian Federation. All-Russian Conference on Procedural Problems in Exploration Survey and Research in Oil-and-Gas Industry, dedicated to the VNIGNI 60th Anniversary), Moscow, VNIGNI, 2013.

5. Morariu D., Aver'yanova O.Yu. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2013, vol. 8, no 1, available at: http://www.ngtp.ru/rub/9/3_2013.pdf

6. Ronald C. Johnson, Tracey J. Mercier, Michael E. Brownfield, Jesse G. Self. *Assessment of In-Place Oil Shale Resources of the Green River Formation, Uinta Basin, Utah and Colorado*. U.S. Geological Survey. Fact Sheet 2010–3010. May 2010. URL: http://pubs.usgs.gov/fs/2010/3010/pdf/FS10–3010.pdf

7. Bordenave, M.L. *Applied petroleum geochemistry, editions Technip*, 1993, Paris, 524 p.

8. Downey M.W., Garvin J., Lagomarsino R.C., Nicklin D.F. *Quick look determination of oil-in-place in oil shale resource plays, adapted for oral presentation at AAPG Annual Convention and Exhibition*, Houston, Texas, USA, April 10–13, 2011.

9. Loskutov A.Yu., Mikhailov A.S. *Osnovy teorii slozhnykh sistem* (Fundamentals of theory of complex systems), Moscow–Izhevsk, NITs «Regulyarnaya i stokhasticheskaya dinamika», 2007, 612 p.

10. Eremin N.A. *Modelirovanie mestorozhdenii uglevodorodov metodami nechetkoi logiki* (Modeling hydrocarbon deposits with fuzzy logic methods), Moscow, Nauka, 1994, 462 p.