

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИДРОФОБНЫХ ПЕСЧАНЫХ ОБРАЗЦОВ, СОДЕРЖАЩИХ ГИДРАТ МЕТАНА

Гэсэр Александрович Дугаров

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, тел. (383)330-49-57, e-mail: DugarovGA@ipgg.sbras.ru

Михаил Игоревич Фокин

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, младший научный сотрудник, тел. (383)330-90-16, e-mail: FokinMI@ipgg.sbras.ru

В статье рассматриваются эксперименты по изучению акустических свойств образцов из гидрофобного кварцевого песка, содержащих гидрат метана. Показано, что в этом случае скорости P- и S-волн близки к данным, полученным на образцах, содержащих гидрат нецементирующего типа, характерный для природных образцов. Этот метод может служить альтернативной так называемому методу «с избытком воды» для быстрого формирования песчаных образцов, содержащих гидрат метана нецементирующего типа.

Ключевые слова: газогидраты, экспериментальные исследования, акустические свойства, скорости продольных и поперечных волн, песчаные образцы, гидрофобные образцы.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE ACOUSTIC PROPERTIES OF HYDROPHOBIC SAND SAMPLES CONTAINING METHANE HYDRATE

Geser A. Dugarov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Researcher, phone: (383)330-49-57, e-mail: DugarovGA@ipgg.sbras.ru

Mikhail I. Fokin

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Junior Researcher, phone: (383)330-90-16, e-mail: FokinMI@ipgg.sbras.ru

The article discusses experiments to study the acoustic properties of samples from hydrophobic quartz sand containing methane hydrate. It is shown that in this case the P and S-wave velocities are close to the data on the velocities in samples containing a non-cementing type hydrate, which is typical for natural samples. This method is an alternative to the so-called “water excess” method for the rapid formation of sand samples containing non-cementing methane hydrate.

Key words: gas hydrates, experimental study, acoustic properties, velocities of compressional and shear waves, sand samples, hydrophobic samples.

Природные газогидраты, с одной стороны, рассматриваются как новый потенциальный источник природного газа [1, 2], в основном в них содержится ме-

тан. С другой стороны, при наличии газогидратов в области разработки месторождений, вследствие нарушения термобарических условий их стабильности, либо при их формировании в призабойной зоне пласта при оказании высоких депрессий, могут возникать различные сложности и аварии [3]. Это делает актуальной задачу по развитию дистанционных методов поиска и разведки природных скоплений газогидратов, а также мониторинга их разложения, что требует изучения их физико-химических свойств.

Гидраты метана стабильны при достаточно высоком давлении и низкой температуре [4]. Необходимость соблюдения термобарических условий для сохранения газогидратов в естественных гидратосодержащих образцах усложняет процесс их извлечения для последующего изучения, а также существенно увеличивает стоимость их получения. Поэтому изучение физических свойств гидратосодержащих образцов в мире в основном проводится на искусственных образцах, сформированных в специализированных установках [5–7]. В данной работе рассматриваются эксперименты по изучению акустических свойств гидратосодержащих образцов, проведенных на подобной специализированной установке [8, 9].

Ранее на указанной установке были проведены эксперименты на песчаных образцах, содержащих гидрат метана и тетрагидрофурана, а также лед [10]. В работе [11] было показано, что использование различных методик формирования гидрата влияет на характер расположения гидрата в поровом пространстве: гидрат может быть цементирующего и нецементирующего типа. При формировании гидрата метана методом «с избытком газа» образуется гидрат цементирующего типа, при формировании гидрата тетрагидрофурана – образуется гидрат нецементирующего типа. Но ввиду того, что гидрат метана и тетрагидрофурана отличаются по своей структуре, а также того, что при разложении гидрата тетрагидрофурана не образуется газовая фаза, образцы, содержащие гидрат тетрагидрофурана, не могут рассматриваться как достаточно хорошо имитирующие реальные образцы.

Исследования реальных гидратосодержащих образцов, содержащих гидрат метана, из зоны Nankai Trough показывают, что этим образцам присуща модель гидрата нецементирующего типа [12–14]. С целью формирования искусственных образцов, близких по этому параметру к реальным, в работе [15] была рассмотрена методика по формированию гидрата метана «с избытком воды». Недостатком этой методики является существенное усложнение процедур проведения экспериментальных работ, а также значительное увеличение длительности формирования гидрата в образце. Поэтому был рассмотрен новый подход к применению уже отработанной методики «с избытком газа», но с использованием гидрофобного кварцевого песка вместо обычного. Для изготовления гидрофобного песка поверхность кварцевого песка обрабатывается диметилдихлорсиланом.

До начала наработки гидрата метана, в проводимых экспериментах исследуются акустические свойства образцов, содержащих лед. В работе [16] описаны различные обнаруженные при этом эффекты. Один из них выражается в зависимости скачка скоростей, разницы в значениях скоростей в замороженном

и размороженном состояниях, от скорости заморозки образца. Скорость заморозки регулировалась длительностью цикла заморозки / разморозки, от 1 ч до 24 ч. При этом с увеличением длительности цикла, с уменьшением скорости заморозки, максимальные значения скоростей продольных (P) и поперечных (S) волн в замороженном состоянии становились меньше (рис. 1, слева; рис. 2, слева). Такого эффекта не наблюдается в образце из гидрофобного песка. Вне зависимости от длительности цикла заморозки / разморозки в замороженном состоянии максимальные значения скоростей для гидрофобного образца практически совпадают (рис. 1, справа; рис. 2, справа).

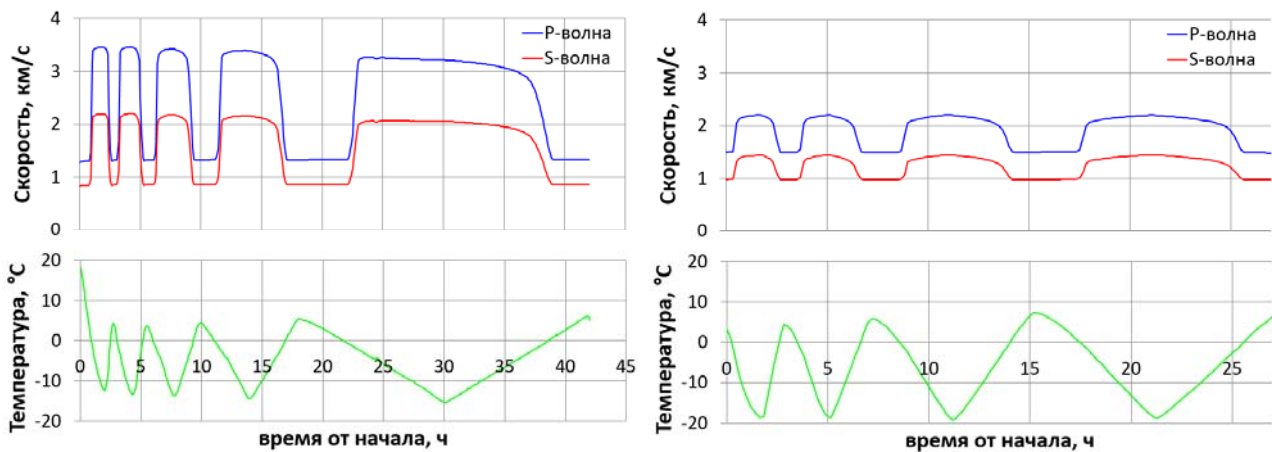


Рис. 1. Изменение скоростей P- и S-волн в песчаных образцах при проведении циклов заморозки / разморозки различной длительности: слева – для обычного кварцевого песка, справа – для гидрофобного песка

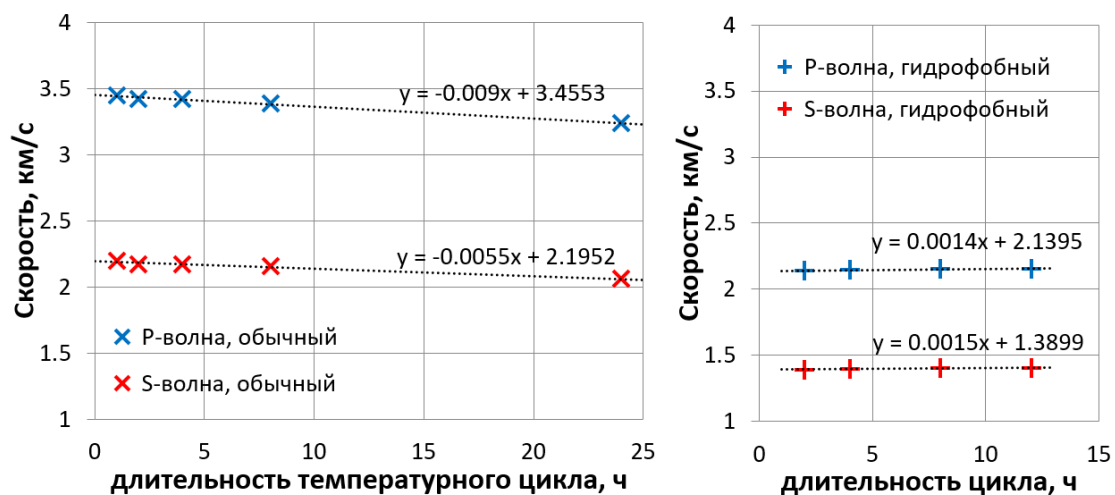


Рис. 2. Скорости P- и S-волн при различной скорости заморозки для песчаных образцов, содержащих лед:

слева – для обычного кварцевого песка, справа – для гидрофобного песка. Скорости взяты при температуре -10°C . Линиями приведена линейная аппроксимация данных

Значения коэффициентов водонасыщения в рассмотренных образцах из обычного и гидрофобного кварцевого песка составляли 0.29 и 0.34 соответственно. Для бóльших значений коэффициента водонасыщения должны наблюдаться бóльшие скорости в замороженном состоянии, но в случае с гидрофобным песком наблюдаемые скорости существенно ниже (рис. 1 и 2). Это показывает насколько существенно влияние на скорости Р- и S-волн типа цементации гранул матрицы образца с содержащимся льдом.

Оцененные скорости после полной наработки гидрата метана в гидрофобном песчаном образце можно сравнить с ранее полученными данными на образцах из обычного песка, содержащих гидрат метана и тетрагидрофурана [10, 11] (рис. 3). При формировании гидрата метана в основном использовался метод «с избытком газа», но был проведен один эксперимент по формированию гидрата метана методом «с избытком воды». При этом считаем, что для образцов с гидратом метана, сформированного методом «с избытком газа», характерна модель расположения гидрата в поровом пространстве цементирующего типа, для гидрата тетрагидрофурана – нецементирующего типа [11]. Полученные данные показывают, что при использовании в качестве материала образца гидрофобного кварцевого песка и формировании в нем гидрата метана методом «с избытком газа», можно получить образец, для которого будет характерна модель гидрата нецементирующего типа.

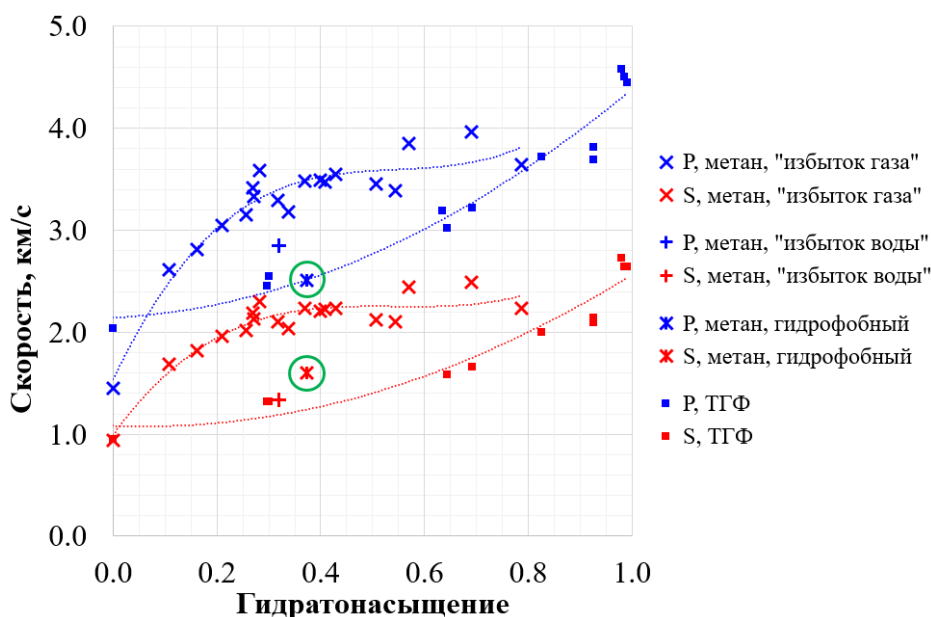


Рис. 3. Сравнение скоростей Р- и S-волн в образце из гидрофобного кварцевого песка, содержащего гидрат метана, с данными по скоростям в образцах из обычного кварцевого песка, содержащего гидрат метана и тетрагидрофурана

По данным литературных источников нецементирующий тип расположения гидрата характерен для реальных гидратосодержащих образцов. Поэтому в данной работе рассматривается новый способ формирования искусственных

образцов, содержащих гидрат метана данного типа. Подход с использованием гидрофобного песка не требует существенного усложнения методики проведения экспериментов, в отличие от использования метода формирования гидрата метана «с избытком воды», а также не приводит к значительному увеличению временных затрат на проведение экспериментов. При этом скорости Р-волн в формируемых образцах больше соответствуют скоростям, характерным для образцов, содержащих гидрат нецементирующего типа. По S-волнам данному типу цементации лучше соответствуют скорости в образце, сформированном методом «с избытком воды». Данные выводы являются предварительными, ввиду малого числа проведенных экспериментов. Работа требует дальнейшего проведения экспериментальных исследований с целью выявления зависимости акустических свойств гидрофобных песчаных образцов от их гидратонасыщения.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-2647.2019.5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Review of natural gas hydrates as an energy resource: prospects and challenges / Z.R. Chong, S.H.B. Yang, P. Babu, P. Linga, X.-S. Li // *Applied Energy*. – 2016. – Vol. 162. – P. 1633–1652.
2. Makogon Y.F., Omelchenko R.Y. Commercial gas production from Messoyakha deposit in hydrate conditions // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. – 2013. – Vol. 11. – P. 1–6.
3. Гидратообразование в призабойной зоне пласта при освоении туронских залежей Западной Сибири / В.А. Истомин, П.А. Моисейкин, В.Н. Абрашов, Д.М. Федулов, В.В. Черных, С.Г. Медведев, Т.В. Сопнев // *Вести газовой науки*. – 2013. – №5. – С. 99-104.
4. Манаков А.Ю., Дучков А.Д. Лабораторное моделирование гидратообразования в горных породах (обзор) // *Геология и геофизика*. – 2017. – Т. 58. – № 2. – С. 290-307.
5. GHASTLI – determining physical properties of sediment containing natural and laboratory-formed gas hydrate / W.J. Winters, W.P. Dillon, I.A. Pecher, D.H. Mason // *Natural gas hydrate in oceanic and permafrost environments* – Springer, 2000. – Chapter 24. – P. 311–322.
6. Kulenkampff J., Spangenberg E. Physical properties of cores from the Mallik 5L-38 gas hydrate production research well under simulated in situ conditions using the field laboratory experimental core analysis system (FLECAS) // *Scientific results from the Mallik 2002 gas hydrate production research well program, Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada* / eds. Dallimore S.R., Collett T.S. – Geological Survey of Canada, 2005. – Bulletin 585. – 16 p.
7. A cylindrical electrical resistivity tomography array for three dimensional monitoring of hydrate formation and dissociation / M. Priegnitz, J. Thaler, E. Spangenberg, C. Rücker, J.M. Schicks // *Review of scientific instruments*. – 2013. – Vol. 84. – 104502.
8. Аппаратура для изучения акустических свойств гидратосодержащих пород в лабораторных условиях / А.Д. Дучков, Н.А. Голиков, А.А. Дучков, А.Ю. Манаков, М.Е. Пермяков, А.Н. Дробчик // *Сейсмические приборы*. – 2015. – Т. 51, № 2. – С. 44–55.
9. Лабораторные измерения акустических свойств гидратосодержащих песчаных образцов (аппаратура, методика и результаты) / Дучков А.Д., Дучков А.А., Пермяков М.Е., Манаков А.Ю., Голиков Н.А., Дробчик А.Н. // *Геология и геофизика*. – 2017. – Т. 58. – № 6. – С. 900-914.
10. Лабораторные исследования скорости и поглощения ультразвуковых волн в песчаных образцах, содержащих воду/лед, гидраты метана и тетрагидрофурана / А.Д. Дучков,

Г.А. Дугаров, А.А. Дучков, А.Н. Дробчик // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60. – № 2. – С. 230-242.

11. Laboratory validation of effective acoustic velocity models for samples bearing hydrates of different type / G.A. Dugarov, A.A. Duchkov, A.D. Duchkov, A.N. Drobchik // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2019. – Vol. 63. – P. 38-46.

12. Effect of methane hydrate morphology on compressional wave velocity of sandy sediments: Analysis of pressure cores obtained in the Eastern Nankai Trough / Y. Konno, Y. Jin, J. Yoneda, M. Kida M, K. Egawa, T. Ito, K. Suzuki, J. Nagao // Marine and petroleum geology. – 2015. – Vol. 66. – P. 425–433.

13. Hydro-bio-geomechanical properties of hydrate-bearing sediments from Nankai Trough / J.C. Santamarina, S. Dai, M. Terzariol, J. Jang J, W.F. Waite, W.J. Winters, J. Nagao, J. Yoneda, Y. Konno, T. Fujii, K. Suzuki // Marine and petroleum geology. – 2015. – Vol. 66. – P. 434–450.

14. In situ methane hydrate morphology investigation: Natural gas hydrate-bearing sediment recovered from the Eastern Nankai Trough area /Y. Jin, Y. Konno, J. Yoneda, M. Kida, J. Nagao // Energy and fuels. – 2016. – Vol. 30. – No. 7. – P. 5547–5554.

15. Лабораторное исследование песчаных образцов, содержащих гидрат метана нецементирующего типа / Г.А. Дугаров, А.А. Дучков, А.Д. Дучков, А.Ю. Манаков, К.Э. Купер, М.И. Фокин, А.Н. Дробчик // Геофизические технологии. – 2018. – № 2. – С. 41-50.

16. Dugarov G.A., Duchkov A.A., Fokin M.I. Laboratory study of the acoustic properties of sand samples containing ice // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 193. – 012020.

© Г. А. Дугаров, М. И. Фокин, 2019