



DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-1-127-136

УДК 550.8.056

ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ НАНКАЙСКОГО ГАЗОГИДРАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.П. Малюков, И.С. Токарев

Российский университет дружбы народов
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Проведен анализ разработки первого в мире шельфового месторождения метановых гидратов Нанкай на восточном побережье Японии. Для разработки морского газогидратного месторождения Нанкай — высококонцентрированного месторождения гидратов, обнаруженного в турбидидных осадках в районе Восточного Нанкайского прогиба, выполнена сейсморазведка и разведочное бурение. После интенсивных исследований образцов кернa и геофизических данных каротажа, полученных в предыдущих исследованиях, а также дополнительных инженерно-геологических работ, выбран объект разработки на северном склоне Daini Atsumi Knoll. При проведении первой в мире морской опытно-промышленной добычи метана из гидратов месторождения ниже морского дна, решались задачи: 1) определить дебит за короткий срок (от одной до нескольких недель), 2) достичь целостности скважин, пробуренных в рыхлых отложениях, 3) провести внедрение технологии мониторинга в целях сбора информации о состоянии гидрата метана при разработке. При проведении опытных работ по разработке газогидратного месторождения использовалось судно глубоководного бурения Shiku. Система управления водными ресурсами на корабле обрабатывает воду из продуктивного пласта, дегазатор удаляет растворенный метан, который сжигался в горелке, установленной на корме судна. Фильтры с гравийной набивкой уменьшают концентрацию взвешенных частиц, связанную с пескопроявлениями при воздействии на продуктивный пласт. Результаты 6-дневной стабильной разработки доказали, что диссоциация гидрата метана возможна в морских отложениях. Месторождения газовых гидратов в различных регионах мира самые большие по запасам. Актуальность проблемы связана с разработкой технологий и предотвращением осложнений.

Ключевые слова: месторождения газовых гидратов, депрессионный метод, геофизические исследования, таксоны археев и бактерий, размер решетки метановых гидратов, скважины

В марте 2013 г. был применен метод понижения давления (депрессионный метод) для разработки Нанкайского газогидратного месторождения на участке АТ1, расположенном на северном-западном склоне поднятия Daini-Atsumi в восточной части Нанкайской синклинали (рис. 1, 2) [3].

Эти исследования определили насыщенную газогидратную зону, мощностью 60 м на участке АТ1. Продуктивный горизонт сложен песками, но он делится на верхнюю и нижнюю часть илистым прослоем турбидитных отложений толщиной от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров.

Продуктивный пласт слоистый, в верхней части преобладают тонкие прослои, в то время как в нижней части преобладают более толстые прослои. Пропластки

верхней части практически непрерывны, нижние пропластки — прерывистые. Обе продуктивные части имеют гидратонасыщенность равную 50—80%. Также следует учесть, что существуют два участка скважин $\beta 1$ и АТ1 [3].



Рис. 1. Расположение Нанкайского газогидратного месторождения
 [Fig. 1. Location of the Nankai gas hydrate field]

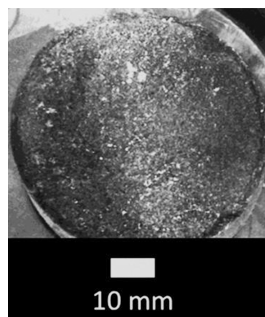


Рис.2. Образец керна газогидрата, со скважины АТ1-13Р [4]
 [Fig. 2. Core sample of gas hydrate, from AT1-13P well [4]]

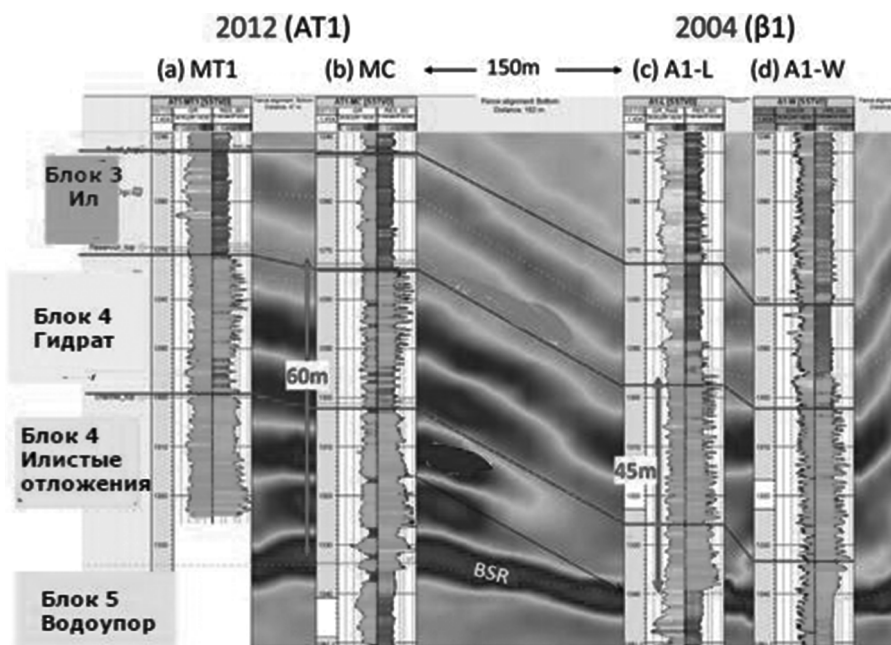


Рис. 3. Сравнение результатов геофизических исследований (каротажей) между участками АТ1 и $\beta 1$ по скважинам АТ1МТ1, АТ1МС и $\beta 1$ А1-Л, $\beta 1$ А1-В [6]
 [Fig. 3. Comparison of the results of geophysical studies (logging) between the sites AT1 and $\beta 1$ for wells AT1MT1, AT1MC and $\beta 1$ A1-L, $\beta 1$ A1-W [6]]

В результате проведенных геофизических работ было выяснено, что продуктивный пласт ограничен экранами (рис. 3) [6]. Экранирующий верхний пласт толщиной 20 м сложен турбидитными отложениями и имеет общую границу с кровлей продуктивного горизонта. Нижний экран (водоупор) отделяет газогидратный пласт от водонасыщенного песчаного пласта, поэтому скважины бурятся на 20 м выше подошвы продуктивного горизонта [6].

Углеводородная и кристаллографическая характеристики газогидратов, извлеченных из восточной части АТ1 Нанкайской синклинали

Основной компонент гидрата — метан, но также присутствуют и более тяжелые углеводороды (0,03%). Газ распределен в разных прослоях по-разному.

Молекулярный и изотропный анализ показал, что газ имеет биогенное микробиологическое происхождение. В ходе исследования установлено, что молекулы заключены в структуру первого типа с числом гидратации 6,1. Кристаллический тип кристалла величиной 1,1841 нм при температуре 83 К (рис. 4). Полученные параметры решетки кристалла достаточно близки соответствующим параметром газовых гидратов из других регионов и в том числе искусственно образованным. Плотность гидратных кристаллов в гидратонасыщенных образцах при температуре 83 К составляет 950 кг/м^3 [4].

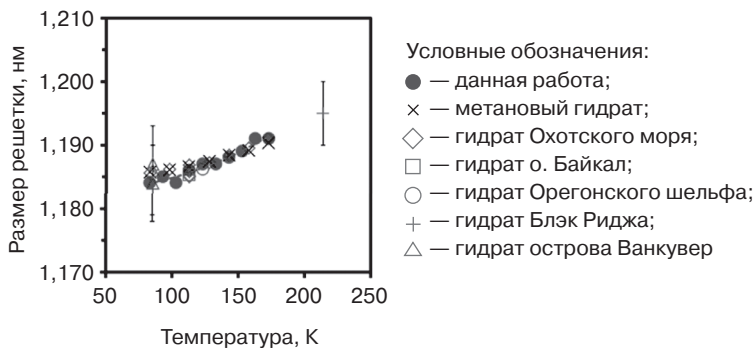


Рис. 4. Сравнение образцов кристаллов гидратов с различных объектов, включая искусственно образованный образец

[Fig. 4. Comparisons of the hydrate crystals samples, including artificially formed hydrate]

Как и на многих газогидратных месторождениях, в особенности биогенного типа [1], на Нанкайском месторождении отбирались пробы керна для изучения микроорганизмов.

Для изучения микроорганизмов, отбирали керн со скважин АТ1-СТ1 и участка АТ1. Изучалась центральная часть керна, чтобы избежать влияния других бактерий, в особенности бактерий типа SAR 11. Для исследований использовалось два метода геномных секвестирований: 16S р-РНК и mcrA.

В каждом гидратосодержащем прослое керна было найдено от 7 до 94% археив (археи — домен живых организмов. Археи представляют собой одноклеточные микроорганизмы, не имеющие ядра, а также каких-либо мембранных органелл) от всех прокариотов (прокариоты — одноклеточные живые организмы, не обла-

дающие оформленным клеточным ядром и другими внутренними мембранными органоидами), оставшиеся проценты — бактерии. Геномное совпадение археев и бактерий в рассмотренном случае от 3 до 50%.

Археи представлены таксонами (таксон — группа в классификации, состоящая из дискретных объектов, объединяемых на основании общих свойств и признаков): ANME-1a, ANME-1b и ANME-3. Также присутствуют таксоны археев: Methanomicrobiales, Methanobacteriales, Methanoparcihales. Бактерии представлены таксоном Chloroflexi (рис. 5). Вторые три типа археев в результате жизнедеятельности производят метан, а первые три типа археев перерабатывают часть метана в углекислый газ [5].

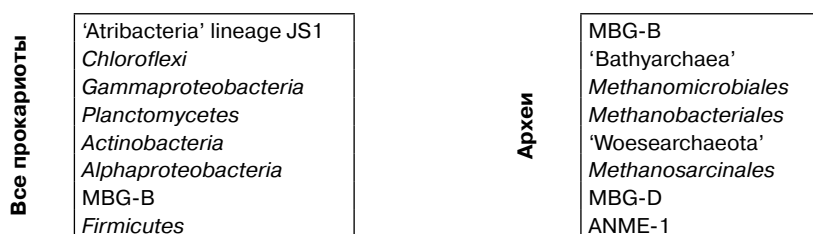


Рис. 5. Различные таксоны археев и бактерий, находящихся в гидратах
[Fig. 5. Various taxa of archaea and bacteria found in hydrates]

В соответствии с японскими научно-исследовательскими программами, исследования газогидратов (нетрадиционный ресурс природного газа) были проведены как на суше (месторождение Маллик, Канада) так и на море (Накайская низменность) [2].

Работы проводили на месторождение Маллик в 2007—2008 годах где компания JOGMEC и министерство природных ресурсов Канады, работая вместе, показали, что непрерывный и значительный поток газа стал возможным при применении депрессионного метода воздействия на газогидраты в природных условиях. В результате проведения работ в 2008 году был достигнут в течении 6-ти дней поток газа с дебитом 2000—4000 м³/сут из 12-метрового интервала продуктивного пласта.

Следующей целью программы была разработка морского газогидратного месторождения Нанкай — высококонцентрированное месторождение гидратов, обнаруженное в турбидидных осадках в районе Восточного Нанкайского прогиба сейсморазведкой и разведочным бурением в 2004 году. После интенсивных исследований образцов керна и геофизических данных каротажа, полученных в предыдущих исследованиях, а также дополнительных инженерно-геологических работ, проведенных в 2011 году, был выбран объект разработки на северном склоне Daini Atsumi Knoll.

При проведении первой в мире морской опытно-промышленной добычи метана из гидратов месторождения ниже морского дна, решались основные задачи: 1) определить дебит за короткий срок (от одного до нескольких недель), 2) достичь стабильности, целостности скважин, пробуренных в рыхлых отложениях, 3) провести внедрение технологии мониторинга в целях сбора информации о состоянии гидрата метана при разработке.

Для производственных испытаний компания JOGMEC планировала и курировала программу. Japan Petroleum Exploration Co. Ltd. Jepses выступал в качестве оператора реализации операции на месторождении, включая бурение и разра-ботку [3].

Характеристика объекта газогидратного месторождения. 30 скважин, включая горизонтальные, были пробурены в 16 местах с проведением геофизических исследований и отбором керна (рис. 6).

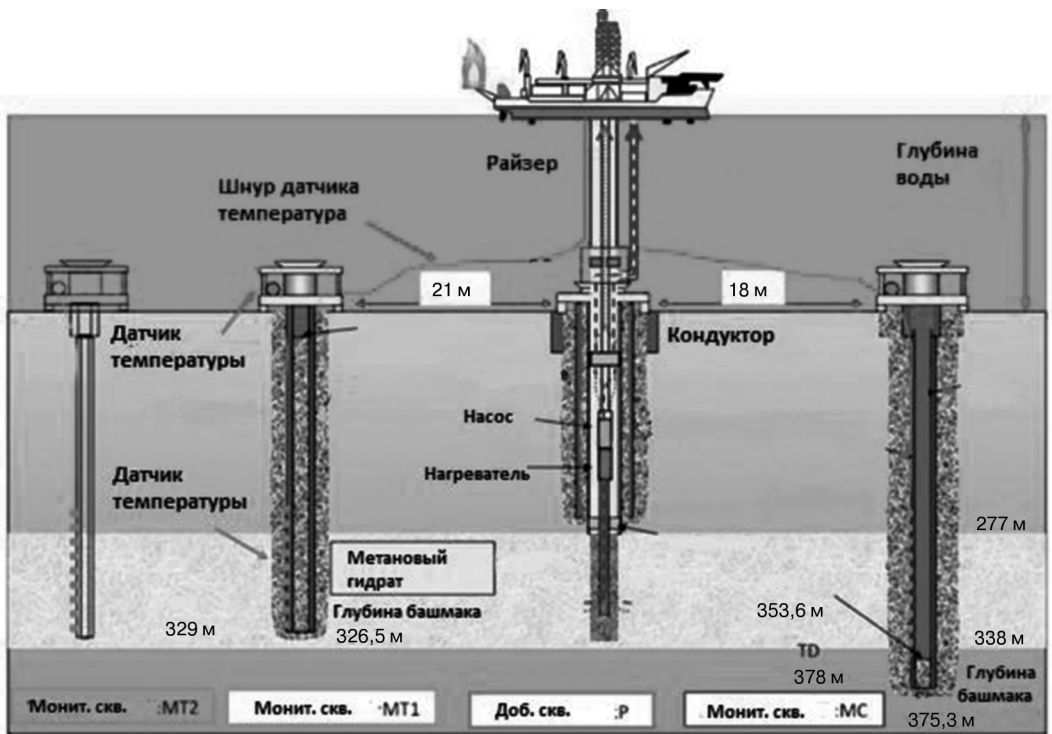


Рис. 6. Схема скважин при проведении первых испытаний [3]
[Fig. 6. Well scheme for the first tests [3]]

В районе проведения работ глубина воды составляет около 1000 м. Интервал насыщенного гидрата метана около 60 м находится в 300 м ниже морского дна.

В то же время, устройства зондирования температуры были установлены в наблюдательных скважинах для долгосрочных измерений и диагностики диссоциации гидрата и потока тепла в пластах.

Наряду с программой сбора данных в буровых скважинах, был установлен сейсмометр на дне моря. Кроме того, были установлены датчики утечки метана и датчики деформации поверхности (измеритель наклона и датчики давления высокой точности) на морском дне для исследований воздействия разработки на окружающую среду и деформацию рельефа морского дна.

При проведении опытных работ по разработке газогидратного месторождения использовалось судно глубоководного бурения Chiku, оборудованного горелкой (рис. 7). Система управления водными ресурсами на корабле обрабатывает воду из продуктивного пласта, дегазатор удаляет растворенный метан, который жи-

гался в горелке, установленной на корме судна. Фильтры с гравийной набивкой уменьшают концентрацию взвешенных частиц, связанную с пескопроявлениями при воздействии на продуктивный пласт [3].



Рис. 7. Горелка на корабле Chikyu [3]
[Fig. 7. Chikyu's flare [3]

Результаты проведенной работы. Утром на 6-й день, наблюдалось внезапное увеличение дебита воды с последующим сильным выносом песка на поверхность добыча газа была прекращена (рис. 8).

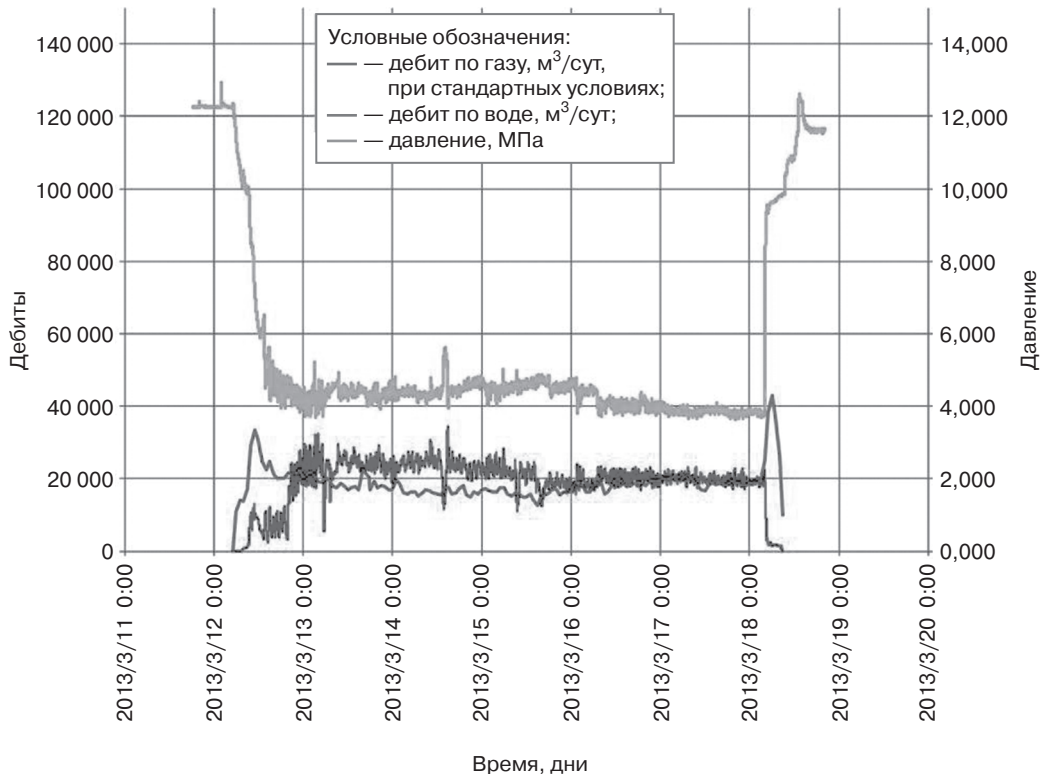


Рис. 8. Динамика забойных давлений, дебитов воды и газа во время теста
[Fig. 8. Forecasted dynamics of bottomhole pressures, water and gas rates]

Результаты 6-дневной стабильной разработки доказали, что диссоциация гидрата метана возможна в морских отложениях. Скорость потока газа была больше, чем ожидалось, это объясняется новой информацией по характеристике коллектора (рис. 9).

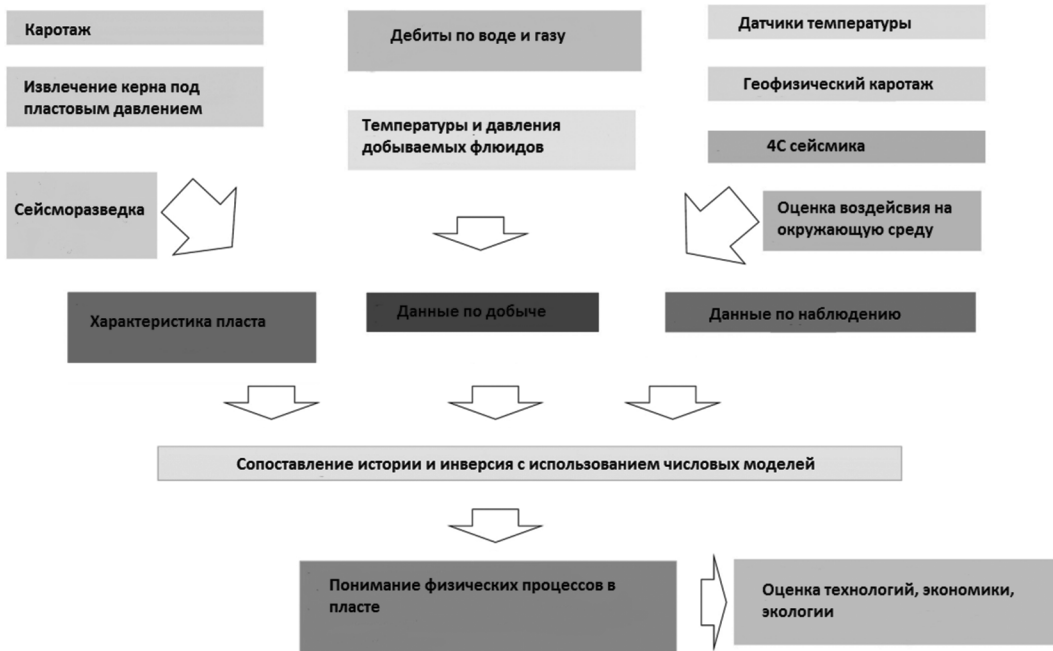


Рис. 9. Процесс анализа полученных данных с продуктивного участка
[Fig. 9. The process of analyzing the obtained data from the productive site]

В результате проведения и анализа результатов опытно-промышленных работ по освоению первого в мире газогидратного месторождения на шельфе японскими специалистами представлена прогнозируемая добыча газа за различные интервалы времени (рис. 10).

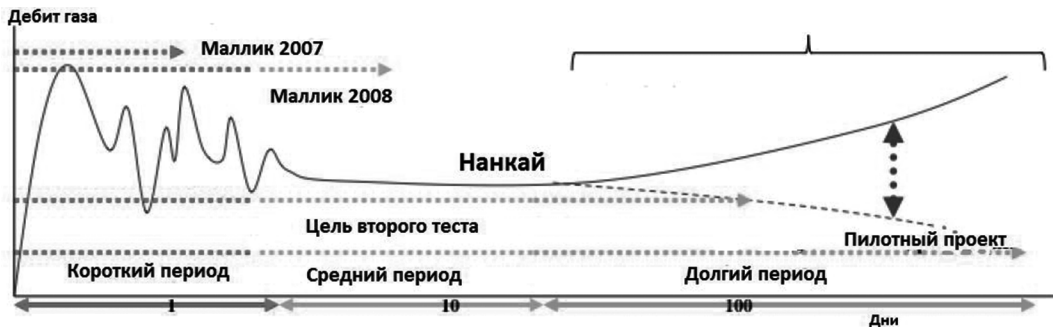


Рис. 10. Прогнозируемая добыча газа за короткий, средний и продолжительный промежутки времени
[Fig. 10. The forecasted gas production for different periods of time]

Долгосрочное проведение работ по извлечению газа из газовых гидратов на месторождении Нанкай не наблюдалось в связи с досрочным прекращением операции, связанное с проблемой пескопроявлений [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Трофимук А.А., Черский Н.В., Васильев В.Г., Макогон Ю.Ф., Требин Ф.А. Научное открытие СССР № 75 «Свойство природных газов в определенных термодинамических условиях находится в земной коре в твердом состоянии, и образовывать газогидратные залежи» // Открытия, изобретения, товарные знаки. 1970. № 10.
- [2] Воробьев А.Е., Малюков В.П. Инновационные технологии освоения месторождений газовых гидратов: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: РУДН, 2009. 289 с.
- [3] Yamamoto K., Terao Y., Fujii T., Ikawa T., Seki M., Matsuzawa M., Kanno T. (2014) Operational overview of the first offshore production test of methane hydrates in the Eastern Nankai Trough. 2014 Offshore Technology Conference, Houston, TX, May 5–8.
- [4] Masato Kida, Yusuke Jin, Mizuho Watanabe, Yoshihiro Konno, Jun Yoneda, Kosuke Egawa, Takuma Ito, Yoshihiro Nakatsuka, Kiyofumi Suzuki, Tetsuya Fujii, Jiro Nagao. Chemical and crystallographic characterizations of natural gas hydrates recovered from a production test site in the eastern Nankai Trough. *Marine and Petroleum Geology* 66. March 2015.
- [5] Taiki Katayama, Hideyoshi Yoshioka, Hiroshi A. Takahashi, Miki Amo, Tetsuya Fujii and Susumu Sakata. Changes in microbial communities associated with gas hydrates in seafloor sediments from the Nankai Trough. *FEMS Microbiology Ecology Advance Access published May 10, 2016.*
- [6] Tetsuya Fujii, Kiyofumi Suzuki, Tokujiro Takayama, Machiko Tamaki, Yuhei Komatsu, Yoshihiro Konno, Jun Yoneda, Koji Yamamoto, Jiro Nagao. Geological setting and characterization of a methane hydrate reservoir distributed at the first offshore production test site on the DainiAtsumi Knoll in the eastern Nankai Trough, Japan. *Marine and Petroleum Geology* 146. March 2015.

© Малюков В.П., Токарев И.С., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 03 октября 2017

Дата принятия к печати: 14 января 2018

Для цитирования:

Малюков В.П., Токарев И.С. Исследования разработки Нанкайского газогидратного месторождения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 19. № 1. С. 127–136. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-1-127-136

Сведения об авторах:

Малюков Валерий Павлович — кандидат технических наук, доцент департамента геологии, горного и нефтегазового дела инженерной академии Российского университета дружбы народов. *Область научных интересов:* инновационные технологии в нефтегазовой отрасли, газовые гидраты, нанотехнологии в нефтегазовой отрасли, подземное резервирование углеводородов. *Контактная информация:* e-mail: v.malyukov@mail.ru

Токарев Иван Сергеевич — магистрант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных месторождений Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина. *Область научных интересов:* газовые гидраты, физика пласта, скважинная добыча углеводородов. *Контактная информация:* e-mail: RedFriendlyAnt@gmail.com

RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF THE NANKAI GAS HYDRATES FIELD

V.P. Malukov, I.S. Tokarev

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russian Federation

The analysis of the development of the world's first shelf field of methane hydrates on the east coast of Japan was carried out. To develop the marine Nankai gas hydrate deposit, a highly concentrated hydrate deposit discovered in turbidite sediments in the Nankai East Trough area, seismic exploration and exploratory drilling were performed. After intensive study of core samples and geophysical logging data obtained in previous studies, as well as additional engineering and geological studies, a development site was selected on the northern slope of Daini Atsumi Knoll. There were a number of goals: 1) to determine the production rate in a short period (from one to several weeks), 2) to achieve stability, integrity of wells drilled in loose sediments, 3) to implement monitoring technology to collect information on the state of methane hydrate during development. During the experimental work on the development of the gas hydrate deposit, the deep-water drilling vessel Chikyu was used. The water management system on the ship processed water from the reservoir, the degasser had removed dissolved methane, which was burned in the installed burner on the stern of the ship. Filters with gravel packing reduced the concentration of suspended particles associated with sand ingress when affected by a productive formation. The results of the 6-day stable development proved that the dissociation of methane hydrate is possible in marine sediments.

Key words: gas hydrate deposits, depressive method, geophysical studies, Archean and bacterial taxa, size of methane hydrate lattice, wells

REFERENCES

- [1] Trofimuk A.A., Chersky N.V., Vasiliev V.G., Makogon Yu.F., Trebin F.A. Nauchnoe otkrytie SSSR № 75 «Svoistvo prirodnykh gazov v opredelennykh termodinamicheskikh usloviyakh nakhoditsya v zemnoi kore v tverdom sostoyanii, i obrazovyyvat' gazogidratnye zalezhi» [Scientific discovery of the USSR № 75 "The property of natural gases in certain thermodynamic conditions to lie in the earth's crust in a solid state and form gas-hydrate deposits"]. Otkrytiya, izobreteniya, tovarnye znaki. 1970. No. 10. (In Russ.).
- [2] Vorobev A.E., Malyukov V.P. Innovatsionnye tekhnologii osvoeniya mestorozhdenii gazovykh gidratov [Innovative technologies for the development of gas hydrates]: Textbook. 2-nd edition. Moscow: PFUR Publ., 2009. 289 p. (In Russ.).
- [3] Yamamoto K., Terao Y., Fujii T., Ikawa T., Seki M., Matsuzawa M., Kanno T. (2014) Operational overview of the first offshore production test of methane hydrates in the Eastern Nankai Trough. 2014 Offshore Technology Conference, Houston, TX, May 5–8.
- [4] Masato Kida, Yusuke Jin, Mizuho Watanabe, Yoshihiro Konno, Jun Yoneda, Kosuke Egawa, Takuma Ito, Yoshihiro Nakatsuka, Kiyofumi Suzuki, Tetsuya Fujii, Jiro Nagao. Chemical and crystallographic characterizations of natural gas hydrates recovered from a production test site in the eastern Nankai Trough. *Marine and Petroleum Geology* 66. March 2015.
- [5] Taiki Katayama, Hideyoshi Yoshioka, Hiroshi A. Takahashi, Miki Amo, Tetsuya Fujii and Susumu Sakata. Changes in microbial communities associated with gas hydrates in seafloor sediments from the Nankai Trough. *FEMS Microbiology Ecology Advance Access* published May 10, 2016.
- [6] Tetsuya Fujii, Kiyofumi Suzuki, Tokujiro Takayama, Machiko Tamaki, Yuhei Komatsu, Yoshihiro Konno, Jun Yoneda, Koji Yamamoto, Jiro Nagao. Geological setting and characterization of a methane hydrate reservoir distributed at the first offshore production test site on the DainiAtsumi Knoll in the eastern Nankai Trough, Japan. *Marine and Petroleum Geology* 146. March 2015.

Article history:

Received: October 03, 2017

Accepted: January 14, 2018

For citation:

Malukov V.P., Tokarev I.S. (2018). Research on the development of the Nankai gas hydrates field. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(1), 127–136. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-1-127-136

Bio Note:

Valery P. Malyukov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geology, Mining and Oil&Gas Engineering at the Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Scientific interests:* innovative technologies in the oil and gas industry, gas hydrates, nanotechnologies in the oil and gas industry, underground reserve of hydrocarbons. *Contact information:* e-mail: v.malyukov@mail.ru

Ivan S. Tokarev — master student of the department of development and exploitation of oil deposits of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University). *Scientific interests:* gas hydrates, reservoir engineering, well engineering of hydrocarbons. *Contact information:* e-mail: RedFriendlyAnt@gmail.com