



## Научная статья

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-482-492

УДК 550.8:553.98

## Прогноз площадей распространения отложений газогидратов по геофизическим данным в Гвинейском заливе

В.Ю. Абрамов, Д. Мамаду, М. Ромеро, Х. Алджабасини

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

В статье отображена информация о Гвинейском заливе и приведены результаты собственных расчетов гравитационных аномалий для прогноза вероятного обнаружения газогидратных месторождений на шельфе Кот-д'Ивуара по аналогии с шельфом Бразилии. Показаны схожие черты геологического строения и геофизических аномалий на участках шельфа по разные стороны Атлантического океана. Основной проблемой организации поисков газогидратов на шельфе Гвинейского залива считается политическая нестабильность, а также отсутствие средств для проведения исследований в ивуарском шельфе. Из-за сложности добычи нефтяных ресурсов все крупные месторождения в стране разрабатываются международными фирмами. Несмотря на низкий уровень производства нефти и газа, Кот-д'Ивуар сохраняет перспективы в будущем стать экспортером этих ресурсов (в том числе из газогидратов), так как осадочный бассейн страны до сих пор малоизучен. Освещение данного вопроса актуально по причине отсутствия подобной информации на русском языке, а имеющиеся на английском и французском языках сведения не позволяют сформировать общую картину нефтепромышленного комплекса Республики Кот-д'Ивуар. В работе дается прогноз относительно новых участков, перспективных в плане обнаружения газогидратных месторождений на шельфе Кот-д'Ивуара и может быть использован при выделении их под новые геологические исследования.

**Ключевые слова:** Республика Кот-д'Ивуар, газогидраты, гравитационная аномалия

### Введение

Кот-д'Ивуар — это развивающаяся страна с недостаточно прогрессивной системой поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (особенно разведки нефти и газа), что затрудняет изучение шельфа, который составляет 80 % осадочного бассейна страны. Настоящее исследование основано на анализе и сопоставлении гравиметрической информации, представленной в виде карт Западной Африки и Восточного побережья Южной Америки.

### Разделение Гондваны

Предпосылкой для создания прогноза явилось разделение Гондваны во время Верхней юры, 160 миллионов лет назад, когда срединно-атлантический разлом отделил Африку от Южной Америки (рис. 1).



**Рис. 1.** Тектоническая карта Гондваны (по Аргану) [3]:

1 — преимущественно сима; 2 — области преимущественного распространения антиклинальных глубинных складок; I, II, III — три ветви внутренней виргации Гондванской глыбы; 3 — кульминации (подъем) осей глубинных складок; 4 — погружения осей глубинных складок; 5 — линии, соединяющие ныне разобщённые объекты; a, b, c — африканский, арабский и индийский выступы Гондваны

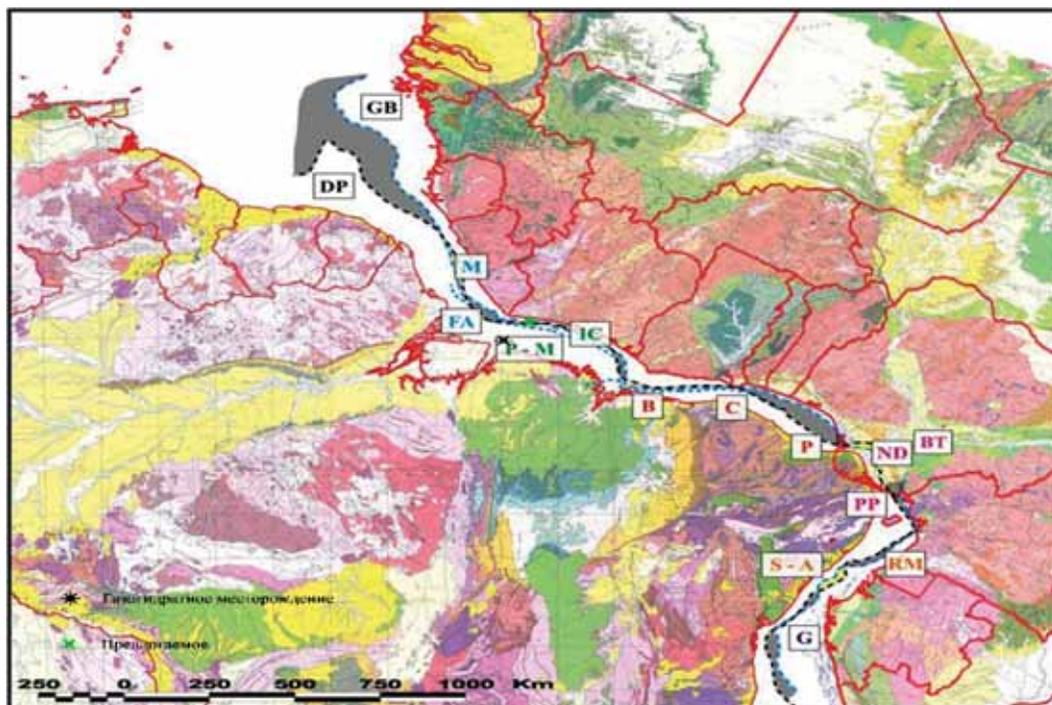
**[Figure 1.** Tectonic map of Gondwana (according to Argan) [3]]

Прекращение связи границ бразильской и африканской океано-континентальных плит земной коры происходило в течение длительного интервала времени (105–110 млн лет) альбского века на разных сегментах Экваториальной Атлантики. Геологические карты взяты из Commission for the Geological Map of the World (CGMW) (1990, 2000). Хотя палеонтологические данные, такие как смешанная фауна, указывают на полную морскую связь через регион с середины позднего альба (Koutsoukos, 1992), современные реконструкции не указывают на широкое и глубоководное соединение во время континентального разлома (рис. 2).

На карте (см. рис. 2) черные и синие прерывистые линии показывают положение границ океанической континентальной коры для бразильской и африканской частей соответственно.

Серые и желтые области вдоль подгонки указывают области подкладки и перекрываются при реконструкции. Сокращения: GP — шельф Гвинея; М — Монро-

вия; IC — бассейн Кот-д’Ивуар; ND — Нигерия; BT — впадина Бенуэ; RM — бассейн Рио-Муни; G — бассейн Габон; ДП — шельф Демерара; FA — бассейн Фос-ду-Амазонас; P-M — бассейн Пара-Маранао; B — бассейн Баррейриньяс; C — бассейн Сеары; P — бассейн Потигуар; PP — бассейн Пернамбуку Параиба; S-A — бассейн Сержими-Алагоас.



**Рис. 2.** Закрытие связи границ бразильской и африканской океано-континентальных корок, восстановленных в разное время в интервале 105—110 млн лет (альба) для разных сегментов Экваториальной Атлантики

*Источник:* Геологические карты взяты из CGMW.

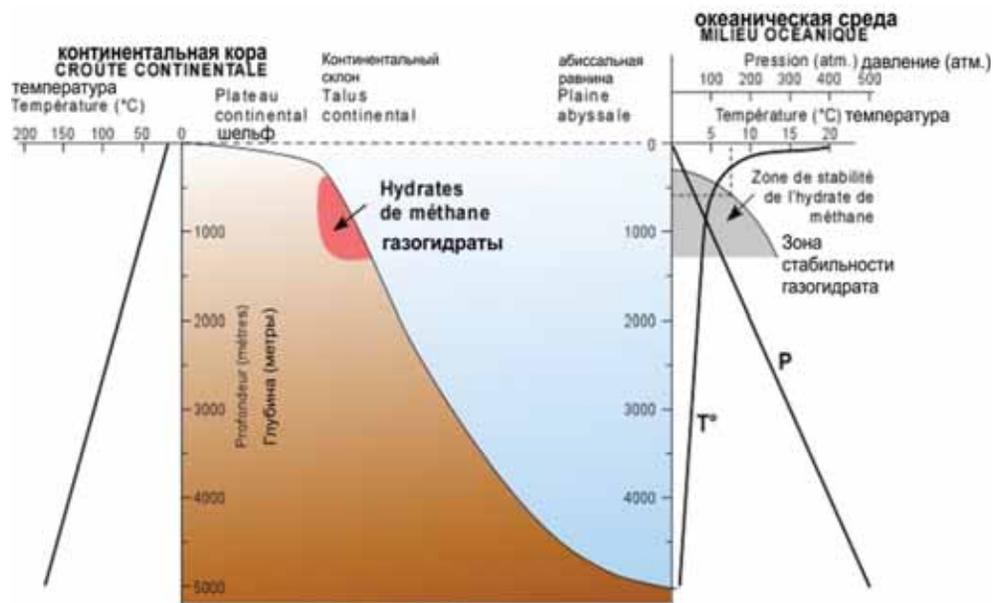
[**Figure 2.** Closure of the connection between the borders of the Brazilian and African oceanic-continental crusts, reconstructed at different times in the interval 105—110 million years (alba) for different segments of the Equatorial Atlantic]

*Source:* Geological maps are taken from CGMW.

Одинаковым цветом отмечены осадочные бассейны с одними и теми же литологическими характеристиками. Исходя из этого можно сказать, что осадочные бассейны Кот-д’Ивуара и Пара-Маранжа совпадают по литологическим характеристикам и должны совпадать по геофизическим данным, что будет продемонстрировано далее.

Газогидраты представляют собой кристаллические соединения в виде клатратов — группы твердых веществ, напоминающих лед (рис. 3, 4). В клатрате молекула воды образует клетку, которая захватывает молекулу газа. Для образования подобных водоемов требуются условия низкой температуры и высокого давления, например существующие в вечной мерзлоте и глубоких отложениях морского дна океана. Количество захваченного метана является значительным, так как объем

гидрата может содержать до 160 раз объемов метана (объем газа при 0 °С и давлении 160 мм рт. ст.) [4]. Метан и двуокись углерода представляют собой два общих газа газовых гидратов, но также существуют сероводород и небольшие молекулы углеводородов, такие как пропан.



**Рис. 3.** Взаимосвязь между температурой и давлением при образовании газового гидрата [8]  
**[Figure 3.]** The relationship between temperature and pressure in the formation of gas hydrate [8]

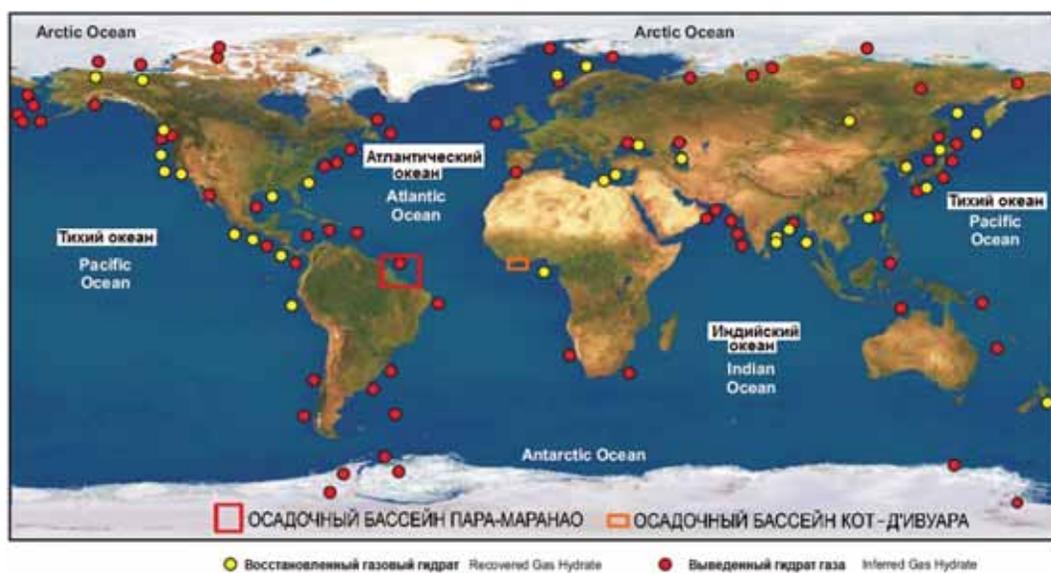


**Рис. 4.** Молекула гидратного газа [1]  
**[Figure 4.]** The molecule of hydrated gas [1]

Условия устойчивости гидратов метана под океанами показаны на рис. 5. Давление определяется водяным столбом; температура зависит от температуры водного дна океана и геотермальной степени. Поскольку температура на дне океанов низка (на рис. 5 порядка 2 °С), зона стабильности гидратов метана простирается от дна океана до глубины 2 500—3,300 м под поверхностью океана, то есть ее толщина около 800 м. На рисунке видно, что в нижней части этой области гидраты гораздо более многочисленны. Они насыщают осадки, гидроизолируют

их и не позволяют метану мигрировать дальше на поверхность. В результате газообразный метан часто накапливается ниже зоны стабильности гидратов [2].

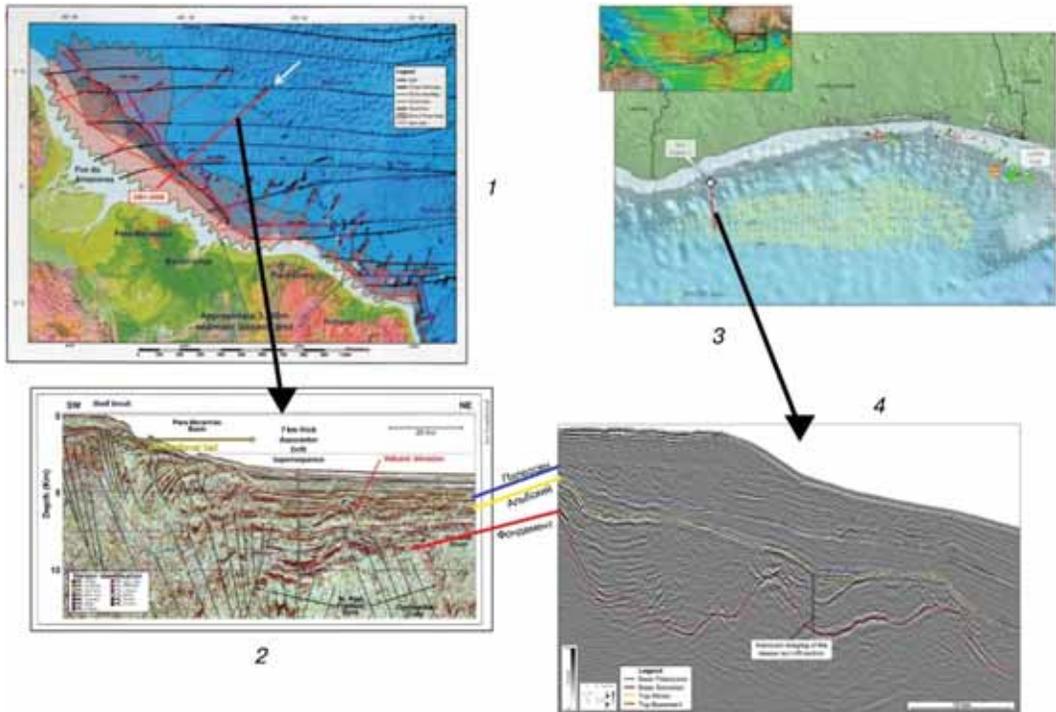
Предел между зоной, в которой обитают гидраты, и зоной, в которой накапливается газ метана, обнаружен сейсмической разведкой и назван «отражающий снизу отражатель» (BSR). Этот сигнал, параллельный поверхности дна океана, соответствует пределам зоны устойчивости гидратов, когда они существуют в больших количествах. Сейсмические волны быстро распространяются, если осадки цементируются гидратами, и гораздо медленнее в нижних зонах, где имеется слой свободного газа. Сейсмическая разведка — очень полезный метод определения местоположения гидратов. Но поскольку зоны работы мало изучены, невозможно доказать присутствие газогидратов посредством BSR.



**Рис. 5.** Распределение известных газогидратных месторождений в мире [6]  
[Figure 5. Distribution of known gas hydrate deposits in the world [6]]

На карте распределения известных газогидратных месторождений в мире (рис. 5) заметно, что более 90 % месторождений найдены либо на шельфе, либо рядом с шельфом континентов во всех океанах. Это означает, что дальнейшие поиски газогидратов лучше всего производить на шельфе или рядом с ним (для Кот-д'Ивуара это будет ивуарский шельф).

На рис. 6 изображены районы, где были проведены гравитационная съемка и сейсморазведка. По данным этих районов сделано сопоставление сейсмических разрезов шельфа Кот-д'Ивуара восточной части Атлантики и разрезов северо-восточной Бразилии в западной части Атлантического океана. В результате выявлено, что мощности отложений различных геологических возрастов как на шельфе Кот-д'Ивуара, так и на шельфе Бразилии приблизительно совпадают, причем не только по мощностям, но и по соотношениям осадочных пород разных возрастов. Значит, их объединяют общее геологическое время, в которое происходило осадконакопление, и приблизительно сходная литологическая обстановка осадкообразования.



**Рис. 6.** Карта сопоставления сейсмических разрезов шельфа Кот-д'Ивуара восточной части Атлантики и разрезов северо-восточной Бразилии в западной части Атлантического океана: 1 — линия разреза в бассейне Пара-Маранао [5]; 2 — сейсмический разрез северо-восточной Бразилии [5]; 3 — линия разреза в бассейн Кот-д'Ивуара [7]; 4 — сейсмический разрез западного осадочного бассейна Кот-д'Ивуара [7]

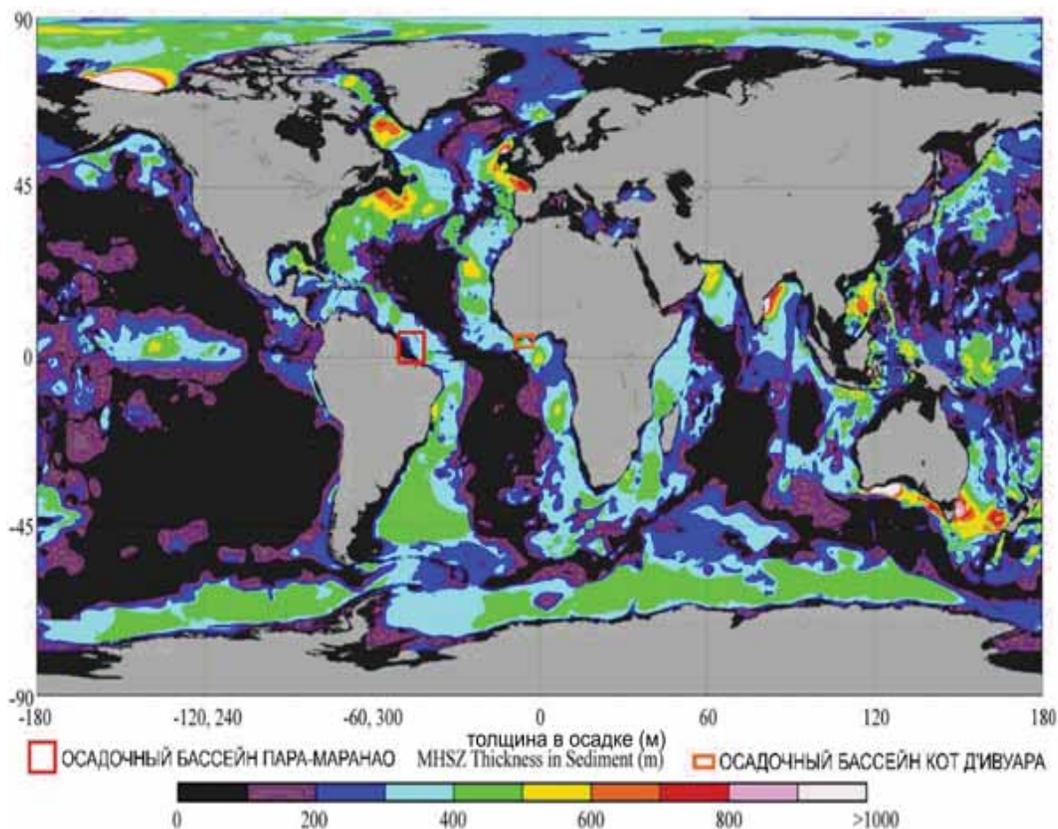
**[Figure 6.** Map compares the seismic sections of the shelf of Cote d'Ivoire in the eastern Atlantic and the sections of northeastern Brazil in the western Atlantic:

1 — line of the section in the Para-Maranhao basin [5]; 2 — seismic section of the northeastern Brazil [5]; 3 — section line in the basin of the Cote d'Ivoire [7]; 4 — seismic section of the western sedimentary basin of the Cote d'Ivoire [7]

Меловое время — это общее время накопления осадков на шельфах Кот-д'Ивуара и Бразилии, после которого произошло разделение Гондваны на две части и началось формирование Атлантического океана в его современном виде.

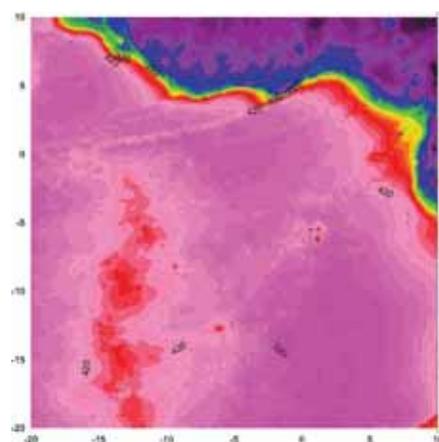
На карте (рис. 7) показано распределение наиболее благоприятных зон для поиска газогидратов в мировых океанах, и эти зоны по своей длине вдоль береговой линии у Кот-д'Ивуара и Бразилии очень хорошо совпадают.

Гравитационные карты полей двух континентов позволяют выделить общие черты аномальных гравитационных полей на различных континентах, совпадающих при сложении в единый суперконтинент. Мы можем наблюдать расширения зон разломов св. Павла и Романча, которые уходят от западноафриканской границы к южноамериканскому континенту. Это заставляет полагать, что, несмотря на удаленность этих двух континентов, они имеют общие черты, особенно те области, которые нас интересуют как возможные перспективные площади для обнаружения залежей газогидратов.



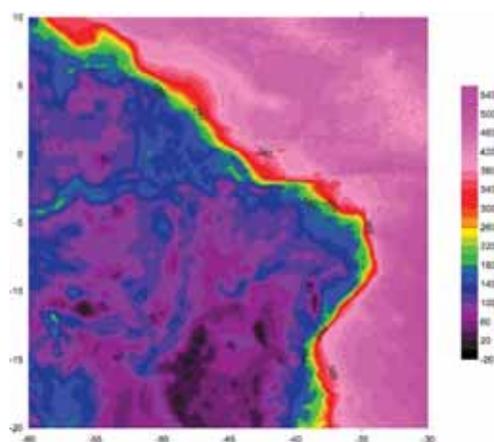
**Рис. 7.** Общая расчетная толщина зоны устойчивости гидратов метана в морских отложениях (MHSZ). Зона стабильности гидратов метана указывает, где можно найти подходящие условия температуры и давления для их образования [6]

[Figure 7. Total calculated thickness of the methane hydrate stability zone in marine sediments. The methane hydrate stability zone indicates where suitable temperature and pressure conditions can be found for the formation of hydrates [6]]



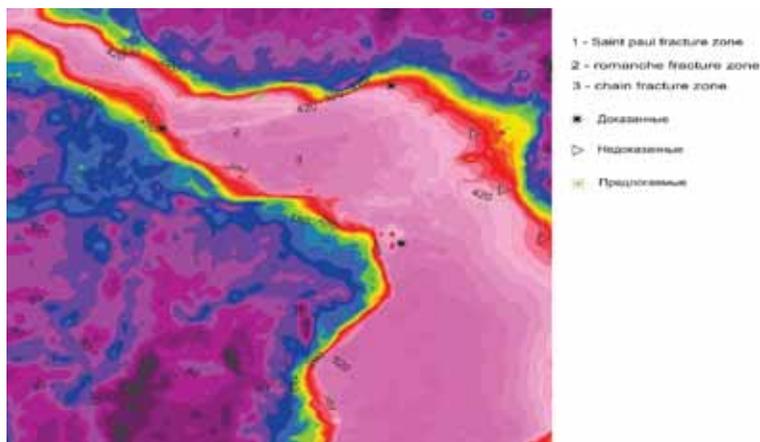
**Рис. 8.** Карта гравитационной аномалии Западной Африки

[Figure 8. Map of the gravity anomaly of West Africa]



**Рис. 9.** Карта гравитационной аномалии северо-восточной части Южной Америки

[Figure 9. Map of the gravity anomaly of the northeastern part of South America]



**Рис. 10.** Карта с доказанным и предполагаемым месторождениями  
[**Figure 10.** Map with proven and proposed deposits]

На картах сопоставления береговых линии Кот-д’Ивуара и Бразилии видно, что положение известного месторождения газогидратов в Бразилии очень хорошо коррелируется с положением разлома св. Павла, идущего по-видимому от Кот-д’Ивуара до Бразилии. Можно предположить, что этот разлом был подходящим каналом для газов, которые накапливались в месторождении газогидратов на шельфе Бразилии. Следовательно, этот же разлом может быть источником газогидратных месторождений на шельфе Кот-д’Ивуара.

### Заклучение

Исследование представляет интерес для прогнозирования новых участков, перспективных в плане обнаружения газогидратных месторождений на шельфе Кот-д’Ивуара и может быть использовано при их выделении под новые геологические изыскания (в том числе с последующим бурением и вероятным обнаружением месторождений газогидратов).

Большая часть ивуарских месторождений представляет собой залежи газа, что увеличивает вероятность наличия месторождений гидрата метана в шельфовой части.

### Список литературы

- [1] *Wessells S., Stern L., Kirby S.* USGS Gas Hydrates Lab // United States Geological Survey Multimedia Gallery Video. 2012.
- [2] *Pissart A.* Les hydrates de méthane: réserve énorme d’énergie et danger climatique potentiel // Bulletin de la Société géographique de Liège. 2006. No. 48. Pp. 7–17.
- [3] *Вегенер А.* Происхождение континентов и океанов. М.: Наука, 1984. 285 с.
- [4] *Netčok M., Henk A., Allen R., Sikora P.J., Stuart C.* Continental break-up along strike-slip fault zones; observations from the Equatorial Atlantic. London: Geological Society, Special Publications. March 27, 2012.
- [5] *Steve Henry, Naresh Kumar, Al Danforth, Peter Nuttall, Sujata Venkatraman, Io.* Ghana/Sierra Leone Lookalike Plays in Northern Brazil // GoExpro. 2011. Vol. 8. No. 4.

- [6] *Krey V., Canadell G.J., Nakicenovic N., Abe Yu., Andruleit H., Archer D., Grubler A., Hamilton N. T.M., Johnson A., Kostov V., Lamarque J.-F., Langhorne N., Nisbet G.E., O'Neill B., Riahi K., Riedel M., Wang W., Yakushev V.* Hydrates de gaz: Entrée à un âge méthane ou menace climatique? // *Environmental Research Letters.* 2009. Vol. 4.
- [7] *Wells S., Warner M., Greenhalgh J., Borsato R.* Côte d'Ivoire: A Modern Exploration Frontier / *Petroleum Geo-Services Offshore.* 2012.
- [8] *Bourque P.-A.* Les hydrates de méthane: une réserve énergétique énorme, mais une bombe écologique en puissance / *Departement de geologie et de genie geologique, University Laval, Quebec.*

© Абрамов В.Ю., Мамаду Д., Ромеро М., Алджабасини Х., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 25 мая 2018

Дата поступления доработанного текста: 09 октября 2018

Дата принятия к печати: 11 ноября 2018

### Для цитирования:

*Абрамов В.Ю., Мамаду Д., Ромеро М., Алджабасини Х.* Прогноз площадей распространения отложений газогидратов по геофизическим данным в Гвинейском заливе // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования.* 2018. Т. 19. № 4. С. 482—492. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-482-492

### Сведения об авторах:

*Абрамов Владимир Юрьевич* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* геология и геофизика месторождений полезных ископаемых. *Контактная информация:* geophy-rudn@mail.ru

*Мамаду Диоманде* — аспирант департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* геология и геофизика месторождений нефти и газа. *Контактная информация:* diomande\_m@rudn.university

*Ромеро Моисес* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* геология, поиски и разведка полезных ископаемых. *Контактная информация:* romero\_barrenechea\_m@pfur.ru

*Алджабасини Хиба* — аспирант департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* сейсмология, тектоника и геофизика. *Контактная информация:* zaina40@hotmail.com

## Forecast of areas of distribution of gas hydrogat deposits on geophysical data in the Gulf of Guinea

Vladimir Yu. Abramov, Diomande Mamadou, Moises Romero, Hiba Aljabasini

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

**Abstract.** The article displays information about the Gulf of Guinea and presents the results of gravity anomalies calculations for the forecast of the probable discovery of gas hydrate deposits on the shelf of Cote d'Ivoire by analogy with the shelf of Brazil. Similar features of the geological structure and geophysical anomalies on the shelf sections on different sides of the Atlantic Ocean are shown. The main problem in organizing the search for gas hydrates on the shelf of the Gulf of Guinea is political instability, as well as the lack of funds for research in the Ivorian shelf. And because of the complexity of the extraction of oil resources, all major deposits in the country are conducted by international firms. Despite the low level of oil and gas production, Côte d'Ivoire retains prospects in the future to be an exporter of oil and gas (including gas hydrates), since the country's sedimentary basin is still very little studied. The coverage of this issue is relevant due to the lack of such information in Russian, and the information available in English and French does not allow to form a general picture of the oil industry complex of the Republic of Cote d'Ivoire. In this article, the forecast of new sites, promising to detect gas hydrate deposits on the shelf of Côte d'Ivoire, and can be used in the allocation of promising areas for new geological studies.

**Keywords:** Republic of Cote d'Ivoire, gas hydrates, gravitational anomaly

### References

- [1] Wessells S., Stern L., Kirby S. USGS Gas Hydrates Lab. *United States Geological Survey Multimedia Gallery Video*, 2012.
- [2] Pissart A. Les hydrates de méthane: réserve énorme d'énergie et danger climatique potentiel. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 48, 2006, 7–17.
- [3] Wegener A. *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Vierte umgearbeitete Auflage. Braunschweig, 1929, 94.
- [4] Nemčok M., Henk A., Allen R., Sikora P.J., Stuart C. *Continental break-up along strike-slip fault zones; observations from the Equatorial Atlantic*. Geological Society, London, Special Publications, March 27, 2012.
- [5] Steve Henry, Naresh Kumar, Al Danforth, Peter Nuttall AND Sujata Venkatraman, Io. Ghana/Sierra Leone Lookalike Plays in Northern Brazil. *GoExpro*. Vol. 8. No. 4. 2011.
- [6] Krey V., Canadell G.J., Nakicenovic N., Abe Yu., Andrulleit H., Archer D., Grubler A., Hamilton N. T.M., Johnson A., Kostov V., Lamarque J.-F., Langhorne N., Nisbet G.E., O'Neill B., Riahi K., Riedel M., Wang W., Yakushev V. Hydrates de gaz: Entrée à un âge méthane ou menace climatique? *Environmental Research Letters*, 4, 2009.
- [7] Wells S., Warner M., Greenhalgh J., Borsato R. Côte d'Ivoire: A Modern Exploration Frontier. *Petroleum Geo-Services Offshore*, 2012.
- [8] Bourque P.-A. Les hydrates de méthane: une réserve énergétique énorme, mais une bombe écologique en puissance. Département de géologie et de génie géologique, University Laval, Quebec.

**Article history:**

Received: May 25, 2018

Revised: October 09, 2018

Accepted: November 11, 2018

**For citation:**

Abramov V.Yu., Mamadou D., Romero M., Aljabasini H. (2018). Forecast of areas of distribution of gas hydrogat deposits on geophysical data in the Gulf of Guinea. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 482—492. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-482-492 (In Russ.)

**Bio Notes:**

*Vladimir Yu. Abramov* — PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geology and geophysics of mineral deposit. *Contact information:* e-mail: geophy-rudn@mail.ru

*Diomande Mamadou* — postgraduate of Geology of Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geology and geophysics of oil and gas deposit. *Contact information:* e-mail: diomande\_m@rudn.university

*Moises Romero* — PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Department of Mineral Developing and Oil & Gas Engineering of the Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geology, prospecting and exploration of useful products. *Contact information:* e-mail: romero\_barrenechea\_m@pfur.ru

*Hiba Aljabasini* — postgraduate student of Geology of the Department of Geology, Mining and Oil & Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* seismology, tectonics and geophysics. *Contact information:* e-mail: zaina40@hotmail.com