

12. Scholl D. W., Copper A. K. VAMP's — Possible Hydrocarbon — Bearing Structures in Bering Sea Basin // AAPG Bull.— 1978.— Vol. 62, No 12.— P. 2481—2488.
13. Tucholke B. E., Bryan G. M., Eving J. I. Gas-Hydrate Horizons Detected in seismic Profiler data from the Western North Atlantic // AAPG Bull.— 1977.— Vol. 61, No 5.— P. 698—707.

ПО «Южморгеология», Геленджик

Статья поступила
30.10.90

Резюме

Розглянуто результати багаторічних геолого-геофізичних досліджень, виконаних з метою оцінки перспективності глибоководної частини акваторії Чорноморської западини на вміст промислових покладів газових гідратів природних вуглеводнів. Виконано аналіз великого обсягу сейсмічних матеріалів (понад 30 тис. км), даних геологічних і геохімічних досліджень придонних осаdkів. Закартовано великі зони реєстрації відображень типу BSR та VAMP's. Вивчено швидкісні й динамічні параметри хвильового поля у найперспективніших областях. Установлено високу перспективність практично всієї акваторії западини на вміст промислових покладів газових гідратів і пов'язаних з ними підгідратних покладів вільного газу. Виконано оцінку прогнозних ресурсів газу. Вибрано об'єкти для постановки розшукових і детальних робіт.

Summary

Geological-geophysical research has been performed for many years to estimate potentialities of the deep-water part of the water surface in the Black Sea depression for content of commercial deposits of gas hydrates of natural hydrocarbons. A large body of seismic materials (more than 30 thou. km.), data on geological and geochemical research of bottom sediments are analyzed. Vast zones of registering reflections of BSR and VAMP's type are mapped, velocity and dynamic parameters of the wave field in the most promising regions are studied. Practically the whole water surface of the depression is stated to be highly promising for the content of commercial deposits of gas hydrates and subhydrate deposits of free gas related to them. Predicting resources of gas are estimated, objects for organization of prospecting and detail works are chosen.

УДК 553.981:550.834 (262.5)

В. А. Горчилин, Л. И. Лебедев

О признаках газогидратов в осадочной толще Черного моря и возможном типе ловушек углеводородов

Формирование газогидратов в результате подтока газа из более глубоких горизонтов осадочного чехла представляется наиболее вероятным. По данным геоакустического профилирования выделены признаки газогидратов в трех районах Черного моря, а также предположительные ловушки углеводородов с газогидратоносными осадками в качестве покрывшек.

За последние 20—25 лет на суше и в море был выявлен новый вид углеводородного сырья — газовые гидраты. Считается, что субмаринные гидраты могут формироваться за счет двух источников. Один из них — органическое вещество (ОВ) донных отложений, при диагенезе которых образуется метан. Последний при достаточно низких температурах и достаточно высоком давлении (не менее 30 атм при положительных температурах) может соединяться с водой, образуя гидраты. Являясь неустойчивыми соединениями, гидраты при повышении температуры или снижении давления могут разлагаться на газ и воду. По термо-

© В. А. ГОРЧИЛИН, Л. И. ЛЕБЕДЕВ, 1991

барическим условиям гидратообразование охватывает до 90 % площади Мирового океана. По подсчетам А. А. Трофимука и его соавторов [7], суммарные ресурсы метана в зоне гидратообразования превышают $85 \cdot 10^3$ трлн м³. Указанные расчеты основаны на том, что на обширных площадях, включающих большинство районов Мирового океана, в течение длительного времени осадки были обогащены достаточным количеством ОВ, которое находилось в состоянии, подходящем для образования углеводородных газов. Однако такие условия существуют лишь в зонах повышенных скоростей седиментации, в которых органика не израсходовала свой потенциал в результате окислительных процессов. При значительных темпах окисления $C_{орг}$ переходит в состояние, при котором углеводороды (УВ) образовываться не могут. Как показано О. К. Бордовским [5], окисление значительной части органики происходит еще до захоронения ее в осадках в процессе осадочной взвеси. При медленном осадочении взвеси почти вся способная к продуцированию УВ часть ОВ теряет свой потенциал. В связи с этим, газообразование в заметных количествах может происходить лишь на незначительной площади Мирового океана. Теоретически весьма благоприятные условия для формирования УВ имеются во впадинах внутренних морей СССР — Каспийском и Черном, куда со взвесью поступает большое количество ОВ, а высокие скорости седиментации способствуют его захоронению и поступлению в слабо преобразованном виде в зону диагенеза. Однако и здесь насыщенные газом осадки встречаются в ограниченном числе районов, главным образом в зонах со скоростями седиментогенеза 1000—3000 мм/тыс. лет [5]. Перемещение масс осадков в пределах континентальных склонов и подножий рассматривается как фактор, увеличивающий скорость реакции гидратообразования, а захоронение образовавшихся гидратов новыми порциями осадков предохраняет их от диффузионного рассеяния [1]. Прямые наблюдения газогидратов приурочены в большинстве случаев к континентальным склонам и подножиям. Поэтому зоны гидратообразования в результате преобразования органики в процессе диагенеза имеют, вероятно, более скромные размеры, нежели полагают А. А. Трофимук и его соавторы [7].

Более реальным нам представляется второй путь образования газогидратов — вследствие поступления УВ из сформировавшихся залежей на глубине. Газогидраты подобного происхождения наиболее реально можно встретить в зонах грязевого вулканизма, о чем писали А. А. Трофимук, В. А. Царев и Н. Б. Черский [7]. Впервые в Советском Союзе настоящие кристаллы газогидрата в морских осадках были обнаружены в 1979 г. в Южном Каспии экспедицией Института геологии и разработки горючих ископаемых АН СССР и Миннефтепрома СССР на хребте Шатского на глубине моря около 500 м. Кристаллы газогидрата размером до 9 см были подняты с помощью дночерпателя на палубу НИС «Поиск». Эти кристаллы легко поджигались и горели, а также быстро разрушались под воздействием атмосферных условий. Впоследствии Южный Каспий был выделен в качестве гидратоносной провинции. Впадина Черного моря рассматривается как один из первоочередных объектов для поисков газогидратных залежей [7]. Впервые предположительно газогидраты в Черном море были обнаружены при отборе проб грунта в виде микрокристаллов на стенках газовой каверны [2]. В настоящее время кристаллы гидратов в сопочной брекчии выявлены при отборе проб грунта на одном из грязевых вулканов на континентальном склоне Крымского п-ова [4] и на грязевом вулкане «Московский университет» в центральной части моря [3]. Эти факты свидетельствуют об образовании газогидратов в результате миграции газа из более глубоких горизонтов осадочного чехла.

Эмпирических данных для обоснованной количественной оценки содержания гидратов в недрах морей и океанов в настоящее время недостаточно, а теоретический анализ требует предварительного изучения скоростей процессов, обуславливающих образование и разложение

гидратов в реальных условиях [1]. Изучение газогидратов для оценки их распространения и возможного практического значения потребует применения дистанционных методов исследования, в первую очередь сейсмических и сейсмоакустических. Для проведения глубоководного бурения, без которого трудно представить серьезное изучение газогидратов, нужен обоснованный выбор точек заложения скважин и прогнозирования объектов, потенциально опасных при проводке скважин. В этой связи выявление сейсмических признаков газогидратов представляет несомненный интерес.

Изменение плотности осадков и скорости распространения в них упругих волн при гидратообразовании создает предпосылки для выявления газогидратов сейсмическими и акустическими методами. По экспериментальным данным [7, 11], гидратообразование приводит к увеличению скорости продольных волн в несцементированных песках от 1,85 до 2,69, а в сцементированных породах — от 3,0 до 3,5 км/с. Сейсмогеологическая модель газогидратной залежи может быть представлена в виде относительно однородного пласта с пониженной плотностью и повышенной скоростью упругих волн [6]. Согласно такой модели, газогидратной залежи должно соответствовать две контрастные границы — у поверхности дна, связанная с кровлей залежи, и на нижней граничной глубине термобарической стабильности гидратов, приуроченная к подошве залежи. Принято считать, что подошве газогидратов отвечают сейсмические горизонты, грубо повторяющие рельеф дна и нередко секущие литологические границы [9, 11]. В зарубежной литературе [10] приводятся примеры временных сейсмических разрезов, на которых выделяются подсобные отражающие горизонты (BSR). Разрез выше BSR часто выглядит осветленным, подобные зоны «выбеливания» также рассматриваются как признак газогидратов [8]. Следует отметить, что, по эмпирическим данным, гидраты не равномерно насыщают поровое пространство в зоне их термобарической стабильности, а встречаются в керне в виде включений протяженностью от первых сантиметров до 3—4 м [1]. Может потребоваться применение гораздо более сложных сейсмических моделей газогидратной залежи, чем приведенная выше.

Нам известна только одна публикация, посвященная сейсмическим признакам газогидратов в Черном море [6]. В этой работе приводятся примеры выделения на сейсмических разрезах Туапсинского прогиба и прогиба Сорокина аномальных отражающих горизонтов, связанных, по мнению авторов, с подошвой газогидратных залежей. Кроме того, в результате сопоставления данных сейсморазведки МОГТ и глубоководного бурения сделан вывод о вероятном наличии в глубоководной котловине Черного моря газогидратов на глубине около 400 м.

Институтом геологии и разработок горючих ископаемых АН СССР и Миннефтепрома СССР был выполнен значительный объем геоакустического профилирования в центральной и западной частях Черного моря. На ряде профилей, пересекающих континентальный склон, выделены аномалии динамических и кинематических характеристик отраженных волн, которые объясняются влиянием газогидратных залежей.

В Керченско-Таманском районе подобный отражающий горизонт прослеживается с разной степенью надежности на нескольких профилях на времени 0,35—0,50 с относительно донного отражения при глубине моря от 1100 до 1800 м. Этот горизонт протягивается субпараллельно поверхности дна и сечет границы напластований (рис. 1). Амплитуды отражений от границ, примыкающих снизу к аномальному горизонту, связанному предположительно с подошвой зоны устойчивых газогидратов, в целом больше, чем у лежащих выше границ, и более изменчивы. Поэтому верхняя часть разреза выглядит относительно осветленной. Это может объясняться акустической неоднородностью осадков ниже зоны газогидратов, возникающей при их неравномерном насыщении газообразными УВ, которые могут появиться как вследствие

разложения гидратов при их погружении ниже границы устойчивости, так и в результате миграции из более глубоких частей разреза. Осветленность разреза в зоне предполагаемой залежи может объясняться

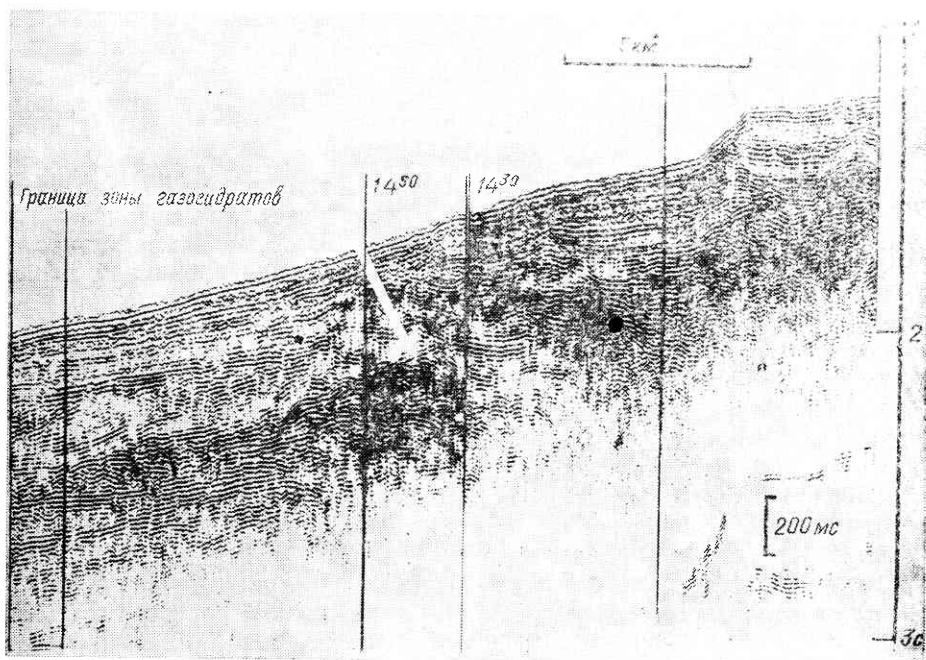


Рис. 1. Геоакустический разрез континентального склона Черного моря

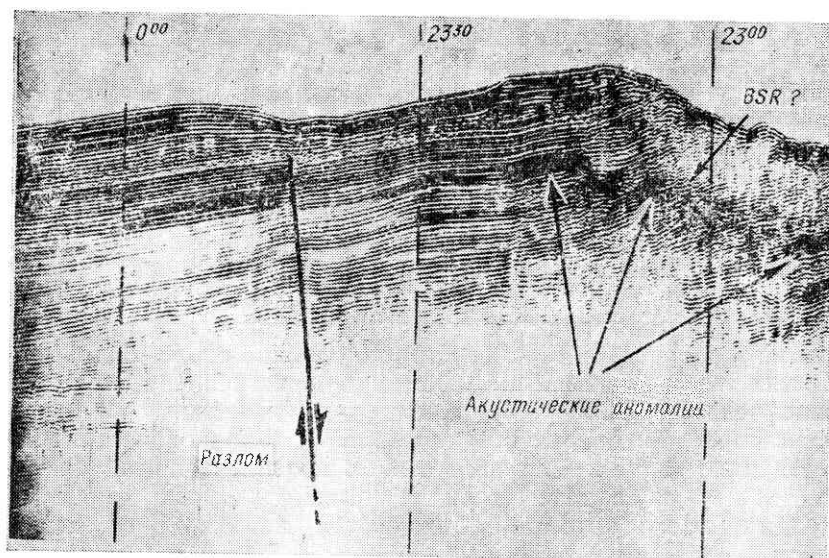


Рис. 2. Акустические аномалии, приуроченные к сбросу и эрозионной поверхности на континентальном склоне в западной части Черного моря

цементирующим действием гидратов, повышающим акустическую однородность толщи осадков.

Как полагают, газогидраты делают осадки непроницаемыми и могут служить покрывками в ловушках УВ. Возможно, что именно такова природа акустических аномалий на разрезе (рис. 2) континентального склона в западной части моря. Здесь слои осадочной толщи, полого воздымающиеся в сторону суши, срезаются эрозионной поверхностью. Акустические аномалии прослеживаются на глубине в первые

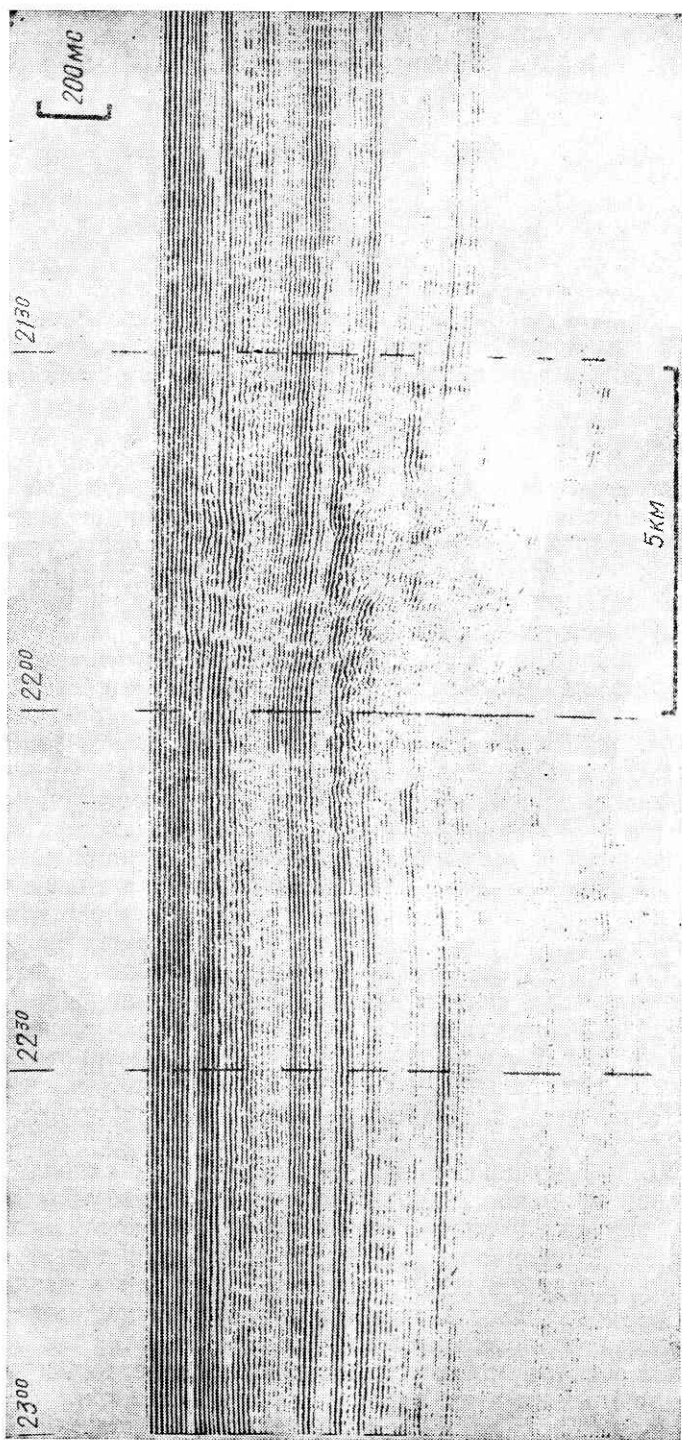


Рис. 3. Поднятие, осложненное разломами, в глубоководной части Черного моря

сотни метров относительно морского дна, причем верхняя кромка аномальной зоны грубо повторяет рельеф дна. На отдельных участках удается проследить отражающий горизонт, соответствующий верхней кромке аномальной зоны. Если допустить, что верхние кромки акустических аномалий приурочены к подошве зоны газогидратов, то становится объяснимым такое расположение акустических аномалий. Газогидраты «запечатывают» наиболее приподнятую часть пластов-коллекторов, образуя таким образом ловушки для УВ, мигрирующих по восстанию пластов со стороны центральной части осадочного бассейна. Скопления УВ, вероятнее всего газообразных, изменяют физические характеристики пласта и проявляются на разрезах в виде акустических аномалий.

Еще один тип акустических аномалий, которые могут быть обусловлены наличием в осадочной толще скоплений гидратов, приведен на рис. 3, демонстрирующем разрез верхней части осадочного чехла глубоководной котловины южнее Крыма. В этом районе аномалии приурочены к пологим антиклинальным перегибам слоев осадочной толщи, часто осложненным многочисленными разрывными нарушениями. Амплитуда отражений в аномальной зоне выше, а ниже аномальной зоны — ниже, чем для тех же отражающих горизонтов на участках с нормальной записью. Глубина залегания аномальной зоны относительно дна моря составляет около 400 м, что близко к расчетной для нижней граничной глубины устойчивости гидратов и глубоководной части Черноморской впадины [6]. Так как в случае горизонтально-слоистой среды нельзя использовать в качестве признака разность углов наклона с поверхностями напластований, то при поисках предполагаемой нижней границы зоны газогидратов следует особенно внимательно относиться к акустическим аномалиям, которые могут быть связаны как с самой границей, так и со скоплениями свободного газа под ней.

Таким образом, анализ материалов геоакустического профилирования позволил выявить признаки газогидратов в осадочной толще на трех участках: на континентальном склоне в Керченско-Таманском районе, в глубоководной котловине южнее Крыма и на континентальном склоне в западной части моря. Выявленные признаки (псевдодонные отражения BSR и определенным образом расположенные амплитудные аномалии) позволяют сделать вывод о наличии в разрезе специфической границы, приуроченной к подошве предполагаемых залежей газогидратов. На первых двух участках данные геоакустического профилирования хорошо согласуются с результатами сейсморазведки МОГТ. Доказанное наличие газогидратов в поверхностном слое осадков Черного моря свидетельствует о связи выявленных акустических аномалий с нижней границей зоны гидратообразования. Признаки гидратов в западной части моря выявлены, по-видимому, впервые. Предложенная модель ловушки с гидратоносными осадками в качестве покрышки, основанная на анализе особенностей акустических аномалий в этом районе, может оказаться полезной при поисках возможных скоплений УВ и газогидратов на континентальном склоне. Мощность зоны, в которой возможно гидратообразование, не превышает в Черном море сотен метров. Поэтому применение геоакустических методов, уступающих по глубинности сейсморазведке, представляется вполне возможным. Имеющийся геоакустический материал позволяет утверждать, что информативность временных разрезов при выявлении признаков газогидратов в значительной степени зависит от достигнутой временной и особенно динамической разрешающей способности. Имеются резервы повышения этих параметров при постановке специальных работ, ориентированных на решение поставленной задачи.

1. Гинзбург Г. Д., Иванов В. Д., Соловьев В. А. О газогидратоносности недр Мирового океана // Проблемы нефтегазоносности Мирового океана. — М.: Наука, 1989. — С. 101—106.
2. Ефремова А. Г., Жижченко Б. П. Обнаружение кристаллогидратов газов в осадках современных акваторий // Докл. АН СССР. — 1976. — Т. 214, № 5. — С. 3—10.

3. Конохов А. И., Иванов М. К., Кульницкий Л. М. О грязевых вулканах и газогидратах в глубоководных районах Черного моря // Литология и полез. ископаемые.— 1990.— № 3.— С. 12—23.
4. Кремлев А. Н., Гинзбург Г. Д. Первые результаты поиска субмаринных газовых гидратов в Черном море (21-й рейс НИС «Евпатория») // Геология и геофизика.— 1989.— № 4.— С. 110—111.
5. Лебедев Л. И., Маев Е. Г., Бордовский О. К., Кулакова Л. С. Осадки Каспийского моря.— М.: Наука, 1973.— 117 с.
6. Номоконов В. П., Стулак С. Н. Признаки газогидратных залежей в Черном море // Изв. вузов. Геология и разведка.— 1988.— № 3.— С. 72—73.
7. Трофимук А. А., Черский Н. В., Царев В. П., Боровиков Ю. В. Первоочередные объекты и методы поисков газогидратных залежей в осадках морей, омывающих СССР // Геология и геофизика.— 1980.— № 11.— С. 3—10.
8. Brooks J. M., Cox H. B., Bryan W. R. a. o. Association of gas hydrates and seepage in the Gulf of Mexico // Org. Geochem.— 1986.— Vol. 10, N 1—3.— P. 221—234.
9. Katz H.-R. Probable gas hydrate in continental slope east of Nort Island, New Zealand // J. Petrol. Geology.— 1981.— Vol. 3, N 3.— P. 315—324.
10. Shipley T. H., Houston M. K., Buffer R. T. a. o. Seismic evidences for widespread possible gas hydrate on continental slopes and rises // AAPG Bull.— 1979.— Vol. 63.— P. 2204—2213.
11. Stoll R. D., Ewing J., Bryan G. M. Anomales wave velosites in sediments containing gas hydrates // J. Geophys. Res.— 1971.— Vol. 76 (8).— P. 2090—2094.

Ин-т геологии и разработки горючих ископаемых
АН СССР и Миннефтепрома СССР, Москва

Статья поступила
04.10.90

Резюме

Формування газогідратів у результаті підтоку газу з найглибших горизонтів осадочного чохла є найбільш імовірним. За даними геоакустичного профілювання виділено ознаки газогідратів у трьох районах Чорного моря, а також можливі пастки вуглеводнів з газогідратоносними осадками як покришками.

Summary

Formation of gas hydrates due to gas inflow from deeper levels of sedimentary cover proves to be the most probable. The data of geoacoustic profiling permit distinguishing characters of gas hydrates in three regions of the Black Sea as well as presumable hydrocarbon traps with gas hydrate-bearing sediments as covers.

УДК 553.98:314.2

А. А. Орлов, М. А. Волкова, Г. А. Жученко

Гидрогеохимическая зональность северо-западного шельфа Черного моря и связь ее с нефтегазоносностью

Рассматриваются гидрогеологические условия газоносных локальных структур северо-западного шельфа Черного моря. Детальное изучение солевого, микрокомпонентного и газового состава подземных вод осадочного чехла акватории Черного моря позволяет определить элементы гидрохимической инверсии бассейнов. На основании выявленных закономерностей формирования углеводородных залежей устанавливаются гидрогеологические критерии нефтегазоносности локальных структур акватории Черного моря.

В пределах юга Украины северо-западный шельф Черного моря, характеризуюсь сложным геологическим строением, является одним из объектов геологопоисковых работ на углеводородные залежи.

© А. А. ОРЛОВ, М. А. ВОЛКОВА, Г. А. ЖУЧЕНКО, 1991