

ОПАСНЫЕ ГАЗОНАСЫЩЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ НА АКВАТОРИЯХ МИРОВОГО ОКЕАНА: ЧУКОТСКОЕ МОРЕ (РОССИЯ И США)

В. И. Богоявленский, А. В. Кишанков

ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 22 февраля 2020 г.

Впервые выполнена интерпретация верхней части архивных временных разрезов сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ) Геологической службы США по секторам России и США в акватории Чукотского моря в объеме 9500 км. Доказана широкомасштабная газонасыщенность мел-четвертичных терригенных отложений, выявлено 782 аномальных потенциально газонасыщенных объекта (газовых кармана) в среднем через каждые 12 км исследованных сеймопрофилей. Обосновано широкое распространение в потенциально газонасыщенных объектах газа глубинного генезиса. Признаков наличия газогидратов в мелководной части Чукотского моря не обнаружено. Обоснована необходимость активизации комплексных исследований для повышения безопасности поиска, разведки и разработки месторождений углеводородов на акваториях и суше.

Ключевые слова: *Мировой океан, Чукотское море, сейсморазведка МОГТ, верхняя часть разреза, залежи газа, газовые карманы, газовые трубы, грязевые вулканы, газовые гидраты.*

Введение

В ряде предыдущих работ авторов уделено большое внимание широкому кругу аспектов дегазации Земли [1—11]. В последние годы вопросы изучения газонасыщенности верхней части разреза (ВЧР — глубины до 500—900 м) на суше и акваториях Арктики, а также эмиссии газа в гидросферу и атмосферу стали привлекать все больше внимания не только ученых различных институтов, но и специалистов нефтегазодобывающей отрасли [12—16 и др.]. Этому способствовали впервые обнаруженные на полуостровах Ямал и Гыданский гигантские кратеры, образовавшиеся в 2012—2014 гг. при мощных выбросах газа [1—4; 8]. В трех случаях, когда были очевидцы выбросов газа, наблюдались его самовоспламенения и взрывы, что усиливает угрозы, исходящие от данного природного явления [1—3]. Особую озабоченность вызывает то, что ряд обнаруженных газозрывоопасных объектов расположен вблизи или даже внутри территории нефтегазовых промыслов.

В дополнение к угрозам жизнедеятельности человека, исходящим от опасных природных газонасыщенных объектов часто с аномально высокими

пластовыми давлениями, известны многочисленные аварийные и катастрофические техногенные выбросы газа, происходившие на суше и акваториях во всех осваиваемых нефтегазовых регионах мира, в том числе в арктических, где экосистема характеризуется особенно высоким уровнем ранимости [1—3 и др.].

Многолетние геолого-геофизические исследования Мирового океана показали высокий уровень газонасыщенности ВЧР, несущей риск при бурении скважин. Из-за выбросов газа из залежей в ВЧР (газовые карманы / gas pockets / shallow gas) пострадали и/или погибли многие сотни морских буровых установок (БУ) и нефтегазодобывающих платформ: буровое судно «Petromar-5» (1981 г.) в Южно-Китайском море; мобильная БУ «Kulluk» (1989 г.) в море Бофорта; полупогружные БУ (ППБУ) «West Vanguard» (1985 г.) в Норвежском море, «Actinia» (1993 г.) в Южно-Китайском море; самоподъемные БУ (СПБУ) «60 лет Азербайджана» (1983 г.) в Каспийском море, «Al Baz» (1989 г.) и KS «Endeavour» (2012 г.) на шельфе Нигерии и др.; платформы «Steelhead» (1987 г., шельф Аляски), «Elgin» (2012 г., Северное море) и др. [1—7].

Даже если первоначальный выброс произошел не из ВЧР, а из более глубоких горизонтов, неред-

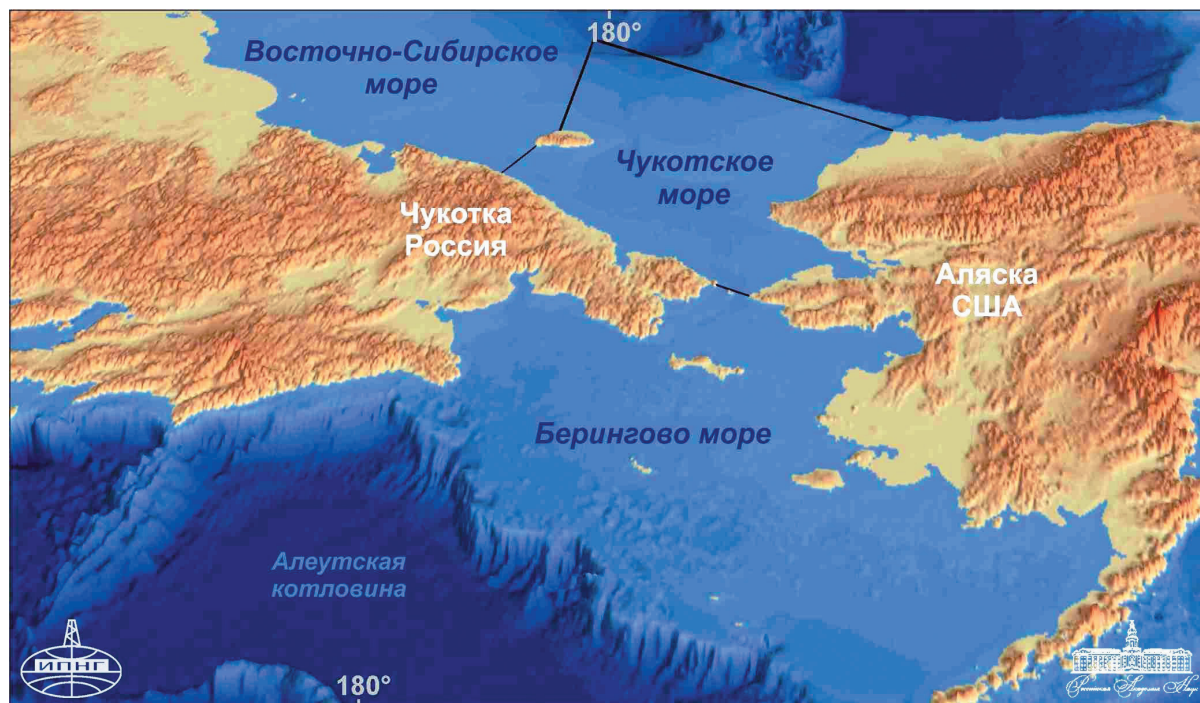


Рис. 1. Трехмерное изображение рельефа суши и дна Чукотского моря с сопредельными акваториями
Fig. 1. 3D image of the land elevation and the bottom of the Chukchi Sea and adjacent offshore areas

ко за счет миграции газа в околоскважинном пространстве в ВЧР формируются крупные природно-техногенные залежи, из которых газ пробивается в гидросферу и атмосферу, формируя в рельефе дна морей и других водоемов кратеры — покмарки (rockmarks), например месторождения Elgin (2012 г.) и Кумжинское (1980—2019 гг.) [1—3; 15; 32 и др.]. При этом при освоении месторождений углеводородов в регионах существования криолитосферы и особенно многолетнемерзлых пород (ММП) угрозы неконтролируемых выбросов газа растут [1; 3]. Экосистеме многих регионов мира нанесен и продолжает наноситься огромный ущерб.

Выявление приповерхностных залежей газа и изучение их распространения повышают безопасность геолого-разведочных работ, способствуют лучшему пониманию вопросов генерации, миграции, аккумуляции углеводородов и, следовательно, повышают эффективность поиска традиционных месторождений нефти и газа и коммерческий успех проектов. Значимость этих исследований растет в связи с тем, что эмиссия метана в атмосферу усиливает парниковый эффект и, таким образом, является фактором изменений климата на планете.

Во многих случаях залежи в ВЧР содержат сотни миллионов и миллиарды кубометров газа (в сеноманских отложениях Ямала в ВЧР — сотни миллиардов). На шельфе Нидерландов выявлено около 160 газоносных площадей в ВЧР, при этом на четырех из них ведется промышленная добыча [14]. В России таких залежей многие тысячи, и их разработка может представлять значительный интерес,

по крайней мере для обеспечения локальных потребностей, особенно на суше Арктики (см. патент 2579089 RU).

В 2016—2019 гг. нами были проведены исследования газонасыщенности ВЧР в морях Охотском, Лаптевых и Беринговом в объеме около 20 тыс. пог. км [5—7; 9—11]. При этом были использованы архивные данные сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ) 2D ОАО «ДМНГ», ОАО «МАГЭ» и Геологической службы США (USGS — US Geological Survey). В настоящей работе приводятся результаты изучения потенциальной газонасыщенности ВЧР Чукотского моря на основе цифровых данных сейсморазведки МОГТ 2D USGS [17].

Краткий геолого-географический очерк

Географические границы Чукотского моря носят условный характер: на западе оно граничит с Восточно-Сибирским морем преимущественно по меридиану 180°, секущему остров Врангеля, а на востоке — с морем Бофорта в районе мыса Барроу на Аляске. Дно моря пологое и неглубокое (до 50—70 м) и только в северо-западной части снижается примерно до 1250 м (рис. 1). За счет сообщения Чукотского моря через Берингов пролив с Беринговым морем в него заходит относительно теплое Тихоокеанское течение, повышающее температуру поверхностной части воды на юге моря от $-1,8^{\circ}\text{C}$ до $+2$ — 7°C . Зимой море полностью замерзает, а летом около четырех месяцев (июль-октябрь) в разной степени свободно ото льда. Разграничение моря на сектора России и США исторически проходит по меридиану 169° .

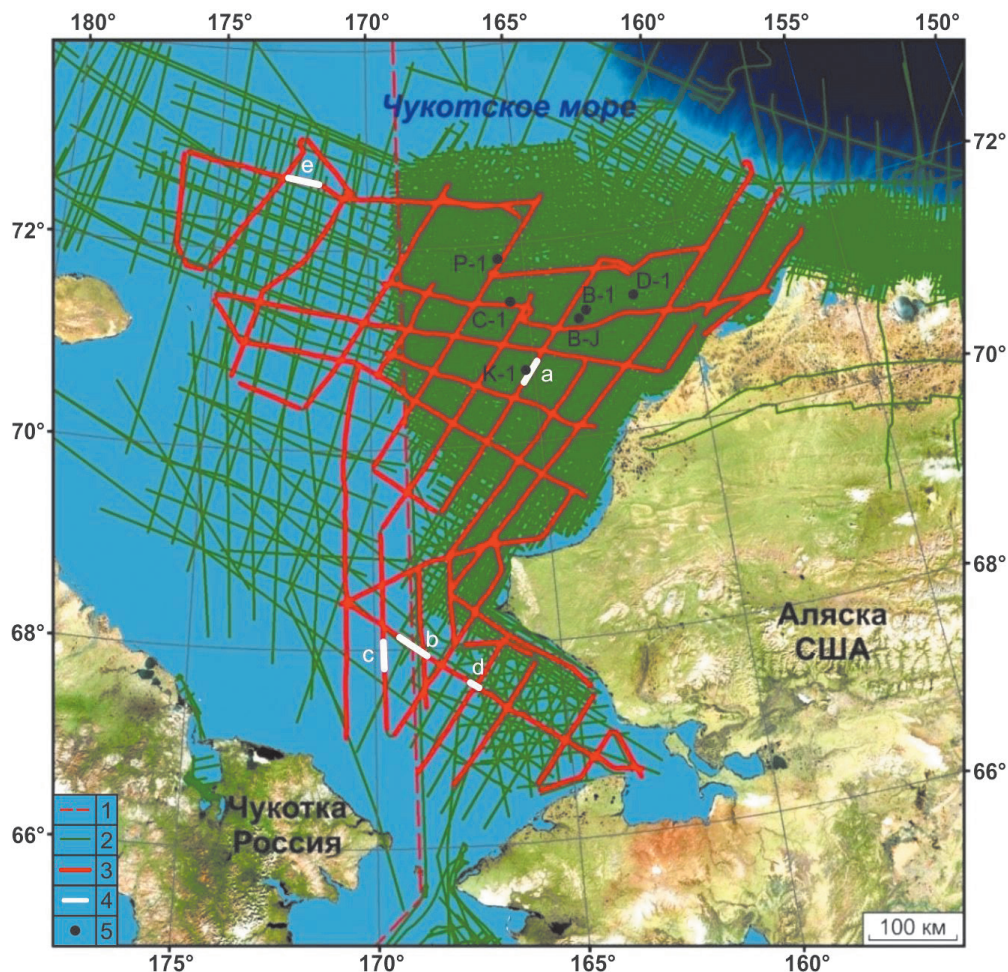


Рис. 2. Схема изученности акватории Чукотского моря на основе батиметрической базы GEBCO и космоснимка Bing. Обозначения: 1 – морская граница между Россией и США; 2 – сейсмопрофили МОГТ; 3 – проанализированные профили USGS [17]; 4 – участки сейсмопрофилей, приведенные в данной работе на рис. 3 (а), 4 (b), 5 (с), 6 (d) и 7 (e); 5 – шесть скважин: K-1 – Klondike-1, P-1 – Popcorn-1, B-1 – Burger-1, B-J – Burger-J, C-1 – Crackerjack-1 и D-1 – Diamond-1

Fig. 2. The study scheme of the Chukchi Sea area on basis of GEBCO bathymetry database and Bing satellite image. Legend: 1 – marine border between Russia and the USA; 2 – CDP seismic lines; 3 – analyzed USGS lines [17]; 4 – intervals of lines, shown in the paper in Figures 3 (a), 4 (b), 5 (c), 6 (d) and 7 (e); 5 – six wells: K-1 – Klondike-1, P-1 – Popcorn-1, B-1 – Burger-1, B-J – Burger-J, C-1 – Crackerjack-1 and D-1 – Diamond-1

С геологической точки зрения шельф Чукотского моря является высокоперспективным нефтегазонасыщенным регионом. В ходе сложной геологической истории развития в его пределах сформировался ряд потенциально нефтегазонасыщенных бассейнов (ПНГБ), характеризующихся различными мощностью и стратиграфическим диапазоном отложений [18—22]. Наиболее перспективным бассейном Чукотского моря является Северо-Чукотский, в котором мощность палеозой-кайнозойского осадочного чехла (элсмирского, бофортского и брукского комплексов) достигает по разным данным 16—18 км. В основных чертах геологического строения он подобен бассейну Северного склона Аляски с доказанной нефтегазонасыщенностью. Отложения Южно-Чукотского (Хоуп) ПНГБ сложены мел-кайнозойским комплексом мощностью до 2—5 км, в связи с чем здесь прогнозируется открытие в основном газо-

вых месторождений [23]. К ВЧР шельфа Чукотского моря относятся отложения кайнозойского (верхнебрукского) комплекса преимущественно терригенного состава.

В американской части Чукотского моря в 1969—1991 гг. в результате геофизических исследований USGS L-9-77, L-6-78, L-8-80, L-11-82 и др., выполненных с судна «S.P. Lee», отработано около 330 тыс. км сейсмопрофилей МОГТ, частично заходящих в российский сектор, включая Северо-Чукотский ПНГБ (рис. 2) [17; 24]. В последующие годы на всей акватории проводились дополнительные сейсмические исследования, включая 3D на площади более 4 тыс. км² в районе месторождения Burger. Из современной сейсморазведки 2D отметим работы по мультиклиентной съемке ION (GXT) ChukchiSPAN в 2006 г. с сейсмокозой длиной 9 км по 90-кратной системе наблюдений в объеме 3200 км профилей.

В итоге изученность российского сектора почти в 20 раз меньше, чем американского.

В американском секторе в мелководной зоне (41,8—46,3 м) в 1989—1991 гг. с бурового судна «Campan Explorer III» («Jasper Explorer») было пробурено 5 глубоких скважин (Klondike-1, Popcorn-1, Burger-1 и Crackerjack-1 компании «Shell» и Diamond-1 — «Chevron») с забоями от 2056 до 3660 м (максимальный забой на структуре Klondike) (см. рис. 2). В российском секторе не пробурено ни одной скважины, в связи с этим исследование российских бассейнов, включая установление возрастов отложений и оценку нефтегазоносности, базируется на относительно хорошей геолого-геофизической изученности шельфа Аляски [24—28].

Углеводороды были обнаружены во всех четырех скважинах «Shell», но только на площади Burger, расположенной в 140 км к северо-западу от Аляски, в 1990 г. скважиной № 1 (забой 2500 м) было открыто одноименное крупное месторождение газа и конденсата. В нижнемеловых песчаниках на глубинах 610 и 1695 м были получены промышленные притоки газа и конденсата, а в отложениях юры и триаса — нефтегазопроявления. Первоначально возможные извлекаемые запасы месторождения Burger оценивались в широком диапазоне — 200—770 млрд м³ газа и 54—190 млн т жидких углеводородов. В 2012—2015 гг. компания «Shell» провела его доразведку. При этом геолого-разведочные работы 2012 г. оказались провальными — буровые установка «Kulluk» и судно «Noble Discoverer» чуть не погибли. В 2015 г. с ППБУ «Polar Pioneer» была пробурена скважина Burger-J с забоем 2073 м (см. рис. 2), показавшая отсутствие коммерческих запасов. Инвестировав около 7 млрд долл., «Shell» решила прекратить работы.

В 300 км к востоку от мыса Барроу на побережье Северного склона Аляски и на шельфе моря Бофорта открыт ряд крупных месторождений: Prudhoe Bay в 1968 г. (70,308° с. ш., 148,731° з. д.), Kuparuk в 1969 г., Endicott в 1978 г. и др. Разработка Prudhoe Bay началась в 1977 г. Из 100 крупнейших месторождений нефти США на Аляске расположено 14, при этом Prudhoe Bay до 2009 г. было самым крупным не только в США, но и во всей Северной Америке (в настоящее время с учетом сланцевых открытий оно на третьем месте) [24; 29]. В течение 29 лет штат Аляска занимал второе место по объемам нефтедобычи в США.

Анализ данных сейсморазведки МОГТ

Для изучения неоднородностей ВЧР Чукотского моря были использованы архивные сейсмические временные разрезы МОГТ по 52 сейсмопрофилям из цифровой базы данных USGS в суммарном объеме около 9500 пог. км [17]. Полевые работы на исследуемой акватории были проведены в 1978—1980 гг. с судна «S.P. Lee» с использованием группы из пяти пневмоисточников, 24-канальной сейсмокоды дли-

ной 2400 м и цифровой записывающей системы GUS (Global Universe Science) Model 4200.

Интерпретация временных разрезов проводилась в программном комплексе IHS Kingdom. В ходе работы выделялись аномалии сейсмической записи, указывающие на возможные залежи свободного газа. Такие аномалии определяются по следующим признакам, которые для краткости изложения в тексте указаны в цифровой индексации, принятой в предыдущих работах авторов [6; 7; 9]:

- 1 — резкое локальное повышение амплитуды отражений («яркое пятно»);
- 2 — инверсия фаз отражений (смена полярности);
- 3 — прогибание осей синфазности под аномалией, обусловленное уменьшением значений скорости распространения упругих волн в газонасыщенных отложениях;
- 4 — аномальное поглощение высоких частот упругих колебаний;
- 5 — наличие зоны акустической тени — ухудшение прослеживания сейсмических отражающих горизонтов под предполагаемой залежью газа;
- 6 — наличие плоских осей синфазности, соответствующих волнам, отраженным от газовой контактной поверхности.

На площади Klondike нефтегазопроявления были в широком стратиграфическом (юра-нижний мел) и глубинном диапазонах. Было вскрыто более 300 м нефтегазоматеринских пород верхнего триаса (формация Шублик). На этой площади в ВЧР по профилю L-6-78 806, на котором показана расположенная в 4,7 км от профиля скважина Klondike-1 (K-1), на пикетах ОГТ (CDP) 2830—3030 в интервале 0,5—0,65 с (глубина от дна 400—550 м) в меловых отложениях выделяется антиклинальное поднятие структуры Klondike протяженностью около 7,5 км (рис. 3). Можно отметить высокую вероятность газонасыщения данного объекта ВЧР по пяти признакам — 1, 2, 3, 4 и 5. По двум сейсмогоризонтам видны аномалии с «ярким пятном» (1) и инвертированием осей синфазности (2). На времени 0,8 с и ниже наблюдаются прогибания сейсмогоризонтов, вероятно, связанные с задержкой времен прихода отраженных волн за счет аномального понижения скоростей в вышележащем газонасыщенном интервале (3). Также выделяются пониженные частоты (на временах 0,6—0,7 с), обусловленные аномальным поглощением сейсмических волн (4). Кроме того, в нижележащем горизонте на времени около 1,1 с теряется корреляция осей синфазности и существует зона тени (5).

Структура Klondike в сводовой части на времени 0,5—0,65 с разбита разломами (см. рис. 3), при этом по одному из них (центральному) газ, видимо, просочился до дна и в районе пикета 2915 за счет газовой динамики приподнял слабопроницаемые придонные песчано-глинистые отложения и сформировал в рельефе дна небольшой бугор пучения (см. рис. 3, стрелка). В скважине K-1 газонасыщенность горизонтов в ВЧР не испытывались, так как она бурилась на це-

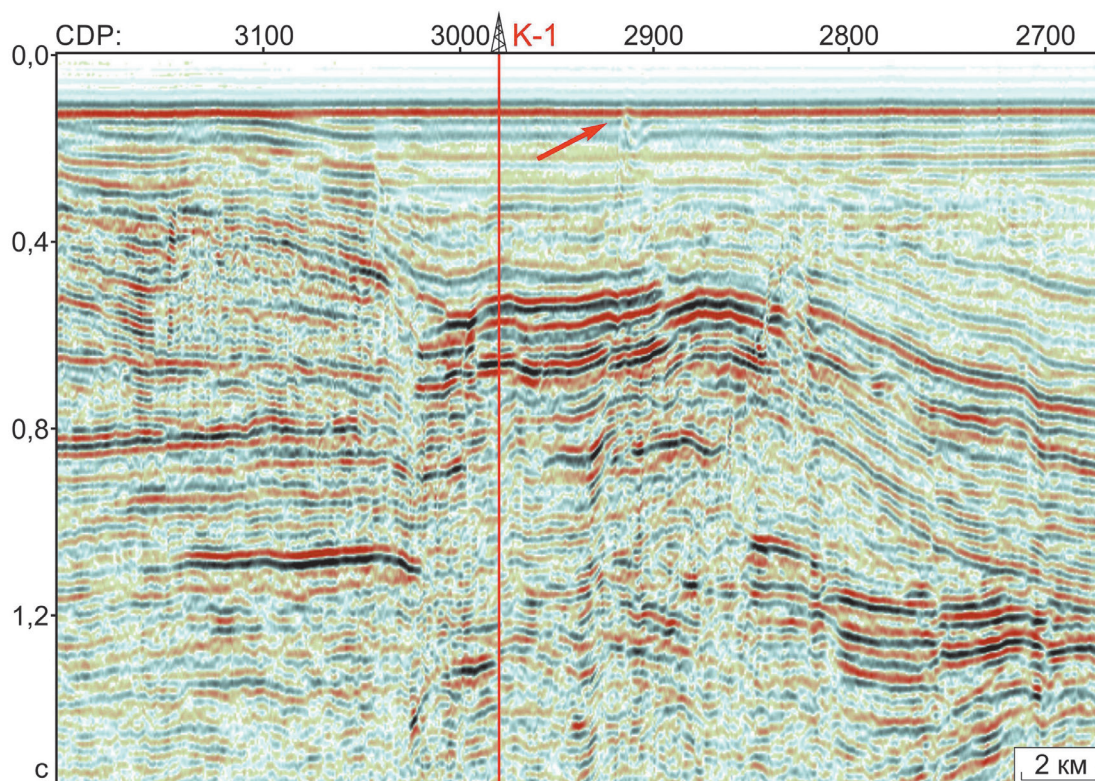


Рис. 3. Фрагмент временного разреза L-6-78 806 со скважиной K-1 на площади Klondike (положение см. рис. 2, а). Стрелкой показан бугор на морском дне

Fig. 3. Fragment of the L-6-78 806 time section with K-1 well in the Klondike area (position see Fig. 2, a). The arrow marks the small mound on the sea bottom

левые глубокие нефтяные интервалы, включая нефтеносный интервал на глубине свыше 2770 м.

На рис. 4 приведен фрагмент временного разреза L-8-80 19 на глубине моря около 50 м, на котором на пикетах ОГТ 1700, 2000 и 2060 видны локальные аномалии сейсмической записи (см. рис. 4.2 и 4.3), приуроченные к неоднородностям в ВЧР от дна (глубина около 50 м) до 550—650 м (0,6—0,7 с). Большинство аномалий выделяются по признакам 1, 2, 3, 4 и 5. Под всеми объектами хорошо видны вертикальные зоны тени (мутности), связанные с поглощением сейсмических волн при их прохождении через газонасыщенные отложения. На участке профиля около пикета 1700 (см. рис. 4.2) начиная со времени 0,25 с наблюдается сильное прогибание осей синфазности, практически разрушающее сводовые части антиклинального поднятия на временах 0,6—2,0 с. Газонасыщение на пикетах 2000 и 2060 (см. рис. 4, фрагмент 3) приводит к очень сильному прогибам, фактически разрушающим оси синфазности горизонтов ниже 0,3 с. Судя по прерывистому характеру осей синфазности отраженных волн от дна (покмарки), можно прогнозировать активную эмиссию газа в водную толщу.

На рис. 5.1 приведен фрагмент временного разреза L-8-80 10 с рядом сейсмических аномалий в ВЧР, включая непосредственно под морским дном. На пикетах ОГТ 1510, 1580, 1610, 1650 аномалии

доходят до морского дна и характеризуются признаками 1, 2, 3 и 4. На поверхности морского дна в местах аномалий прослеживаются характерные для бугров пучения локальные поднятия (рис. 5, 3), генезис которых в данном случае может быть объяснен только значительным давлением газа на придонные слабопроницаемые горизонты (покрышки), экранирующие эмиссию газа в водную толщу. Вероятно, когда сила давления газа превысит предел прочности покрышек, на месте бугров пучения произойдут выбросы газа и сформируются углубления/кратеры — покмарки.

На разрезе L-8-80 10 (см. рис. 5.1) на пикетах 1610—1700 на временах 0,4—0,5 с ярко выделяется крупная (4,2 км) потенциальная газовая залежь с признаками 1—5, которая может являться источником газа для меньших по размерам залежей, достигающих до морского дна, описанных выше (пикеты 1610, 1650). Под аномалией четко прослеживается вертикальная зона пониженных амплитуд, указывающая на наличие газа в залежи.

Зоны сильной акустической тени также наблюдаются около пикетов 1420 и 1870 (см. рис. 5.1 и 5.2) — потенциальные каналы миграции газа — «газовые трубы» [1—7; 15; 32 и др.]. В верхних частях данных зон прослеживаются сильные прогибания сейсмических горизонтов (см. рис. 5.2 и 5.3). Причиной данных явлений может служить грязевулканическая

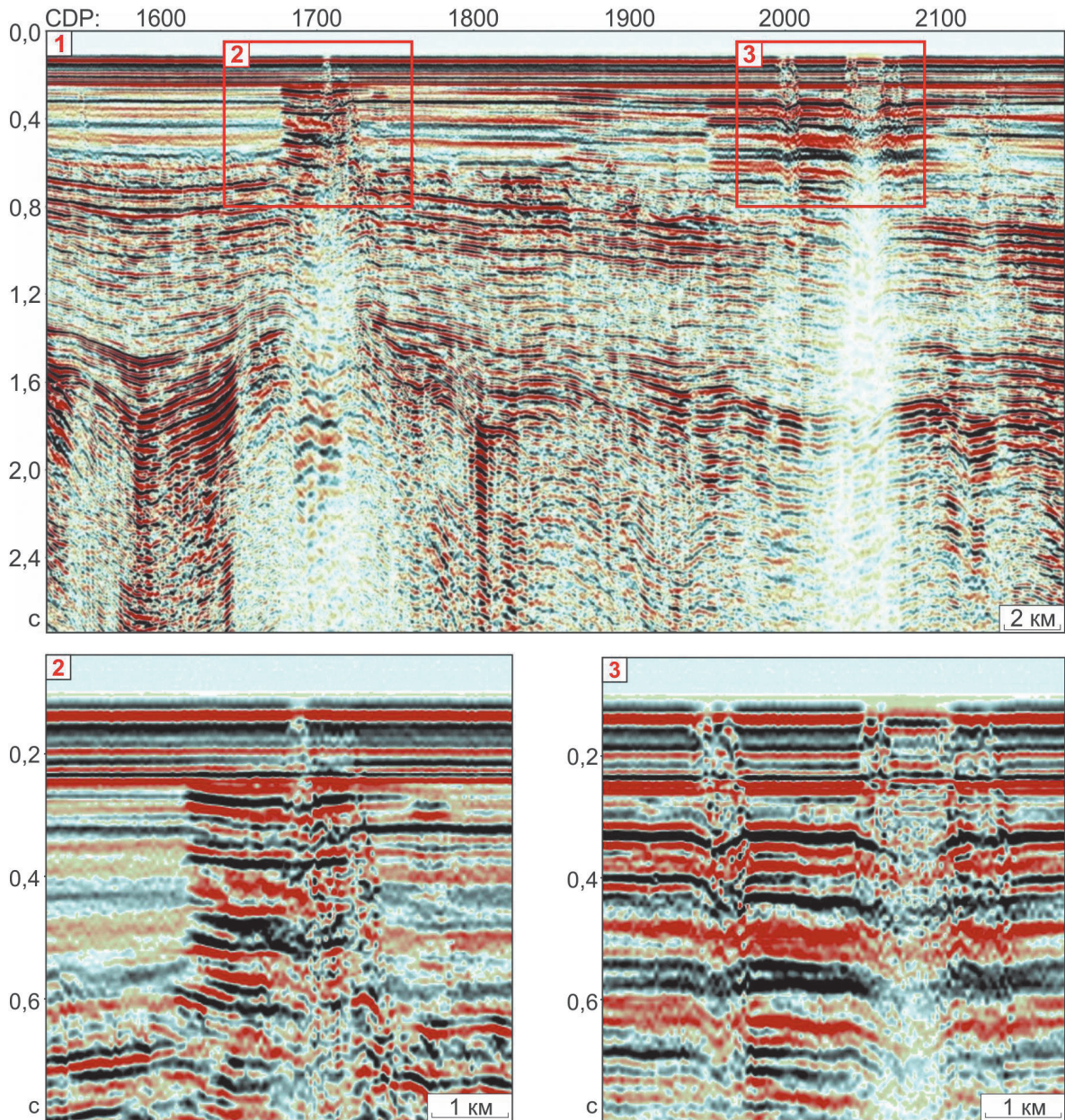


Рис. 4. Фрагмент временного разреза L-8-80 19 с аномальными объектами (1), отдельно показанными в увеличенном масштабе (2, 3) (положение см. рис. 2, b)

Fig. 4. Fragment of the L-8-80 19 time section with anomalous objects (1), shown separately scaled-up (2, 3) (position see Fig. 2, b)

активность, при которой за счет извержений газогрязевых потоков возникает дефицит массы и образуются кальдеры (проседания), компенсированные новыми осадками. В частности, около пикета 1420 (см. рис. 5.2) видна погребенная пойма — возможная кальдера грязевого вулкана. На пикете 1870 наблюдаются два бугра на поверхности морского дна, предположительно связанные с грязевулканическими постройками или со скоплением газа у морского дна. Во всех случаях это результаты процессов газовой динамики.

На временном разрезе L-8-80 19 на участке пикетов ОГТ 3350—3550 (рис. 6) ярко выражены одна

крупная и четыре небольшие неоднородности в ВЧР (1 — длина 3500 м, 2—5 — длины 400—800 м), с высокой вероятностью связанные с газонасыщением пластов-резервуаров на нескольких уровнях до поверхности морского дна (признаки газонасыщения 1—5). В рельефе дна видны бугры пучения, видимо, сформировавшиеся под действием сильного давления газа на придонные породы, экранирующие миграцию газа. Также видны существенные прогибы отражающих горизонтов ниже 0,5 с (около 400 м от дна), вызванные аномалиями пониженных скоростей распространения сейсмических волн в газонасыщенных отложениях.

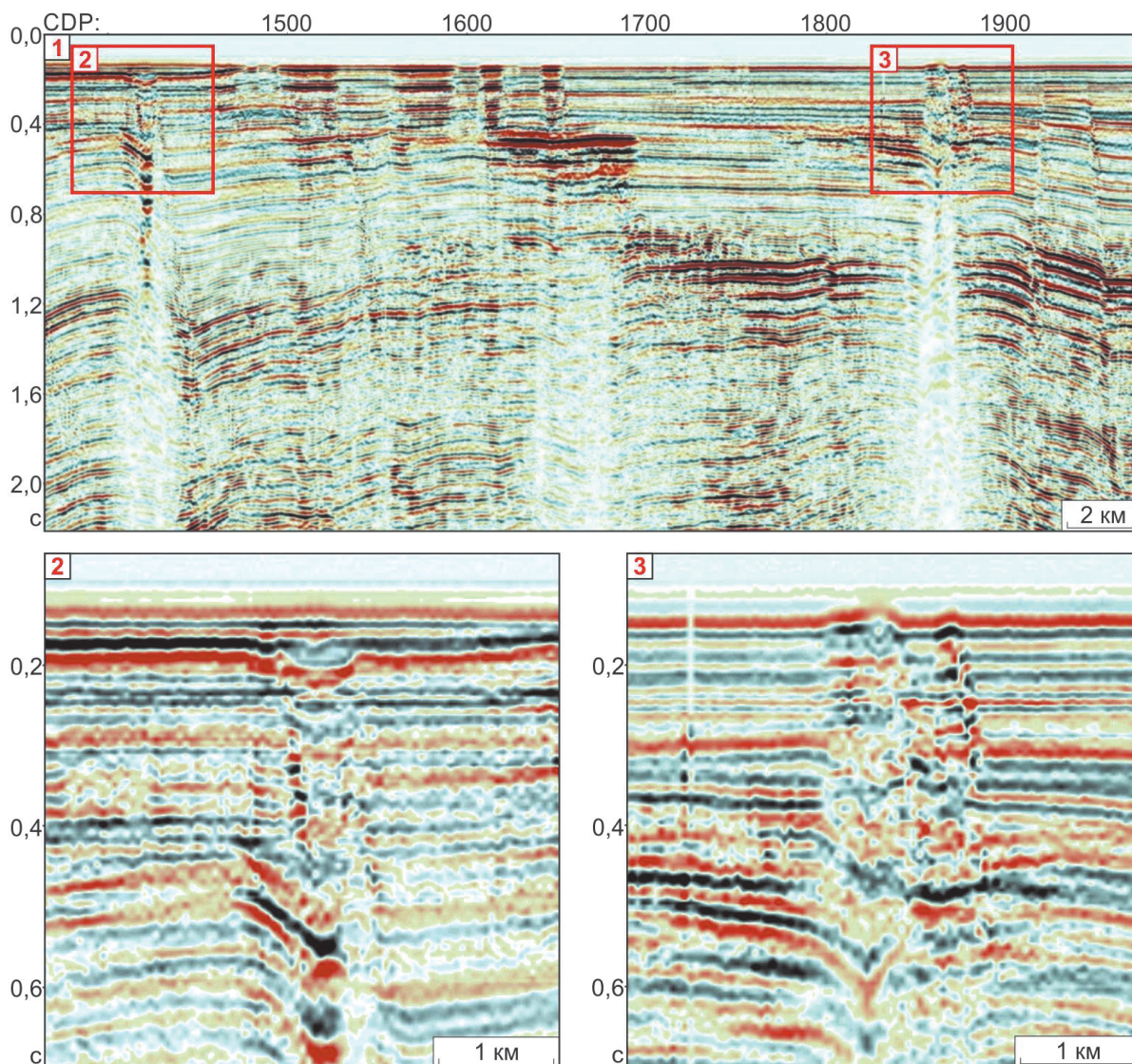


Рис. 5. Фрагмент временного разреза L-8-80 10 с аномальными объектами (1), частично показанными в увеличенном масштабе (2, 3) (положение см. рис. 2, с)
 Fig. 5. Fragment of the L-8-80 10 time section with anomalous objects (1), shown partially scaled-up (2, 3) (position see Fig. 2, c)

Отметим, что ряд выделенных авторами объектов, по форме похожих на крупные покмарки (рис. 7), вероятнее всего, имеют иной генезис. При затоплении огромных низменных территорий Арктики во время трансгрессии моря за счет деградации гигантских ледников в период 5—11,7 тыс. лет назад (дегляциация позднеплейстоценового оледенения) на дне мелководного шельфа (до 120 м) оказались многие объекты криосферы, образовавшиеся в ледниковый период. В том числе были затоплены термокарстовые озера и хасыреи (высохшие озера) с многолетними буграми пучения — булгуньями.

Два объекта, подобные гигантским покмаркам, размером около 3500 и 9500 м, были обнаружены на временном разрезе L-6-78 819 на глубинах воды 70—110 м (см. рис. 7, А и В). Высока вероятность, что это термокарстовые котловины, образовавшие-

ся до затопления морской водой, при этом объект В, возможно, был хасыреем (высохшим озером), в центре которого сформировалось крупное (около 1500 м) локальное поднятие высотой около 40 м. Также отметим, что на времени около 1,4 с (пикеты 2500—2700) наблюдается аномалия типа «яркое пятно» с инвертированной формой сигнала, соответствующая кровле потенциально крупной газовой залежи размером около 12 км.

Обобщение результатов интерпретации временных разрезов

В рамках настоящего исследования были проинтерпретированы 52 временных разреза МОГТ общей длиной около 9500 км, на которых выделены 782 аномальных потенциально газонасыщенных объекта, расположение которых показано на рис. 8.

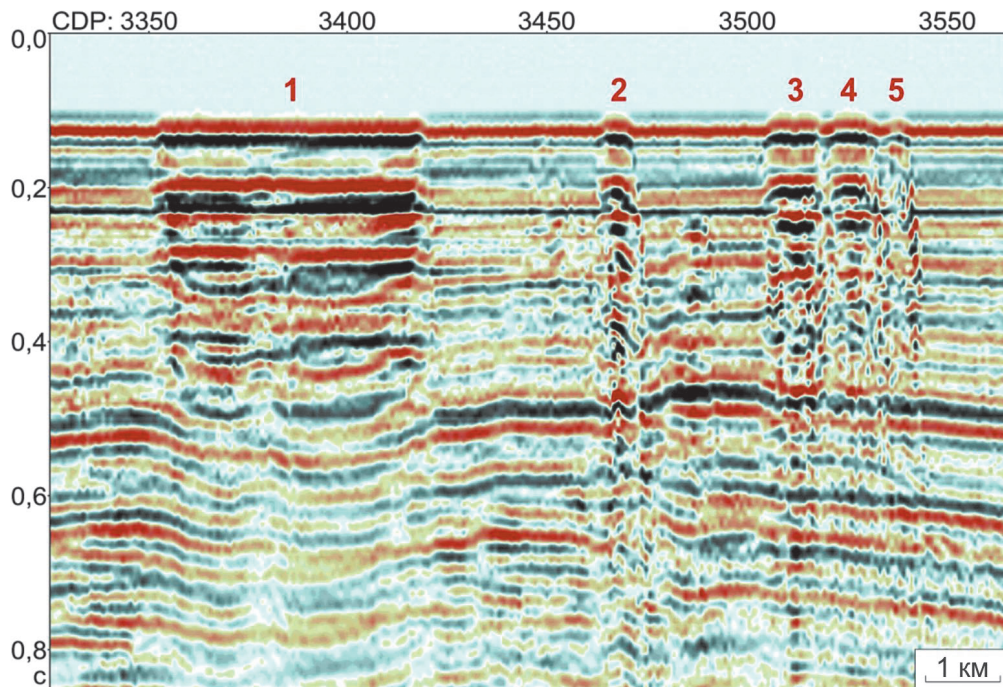


Рис. 6. Фрагмент временного разреза L-8-80 19 с аномальными объектами в ВЧР (положение см. рис. 2, d)
Fig. 6. Fragment of the L-8-80 19 time section with anomalous objects in the near-surface section (position – see in Fig. 2, d)

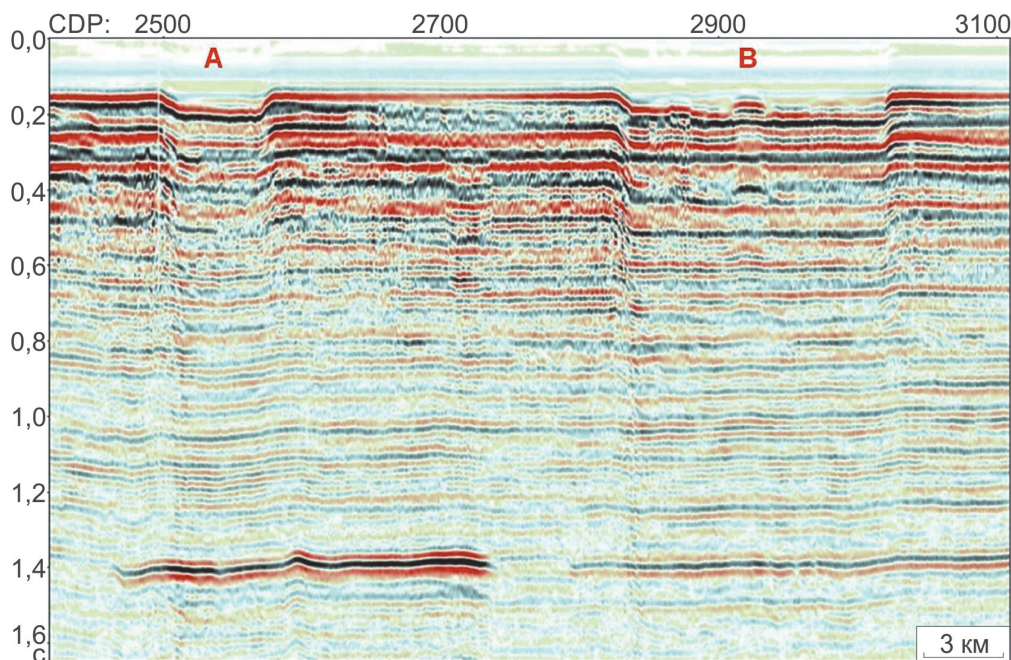


Рис. 7. Фрагмент временного разреза L-6-78 819 с аномальными объектами (A, B) (положение см. рис. 2, e)
Fig. 7. Fragment of the L-6-78 819 time section with anomalous objects (A, B) (position see in Fig. 2, e)

Среднее расстояние между аномальными объектами для обследованной части Чукотского моря составило 12,2 км. На исследованной части акватории выделяются северная и южная зоны с повышенным количеством объектов, соответственно 39% и 52% всех объектов. При этом средние расстояния между аномальными объектами в северной и южной зонах составляют соответственно 11,4 и 5,6 км.

Как и в предыдущих исследованиях по другим морям, для каждой выделенной аномалии определялись ширина вдоль соответствующего сейсмопрофиля и глубина относительно поверхности морского дна. Отметим, что глубина определялась по кровле предполагаемой верхней газовой залежи, поскольку из-за низкой разрешенности сейсмических материалов и сильного поглощения в большинстве случаев

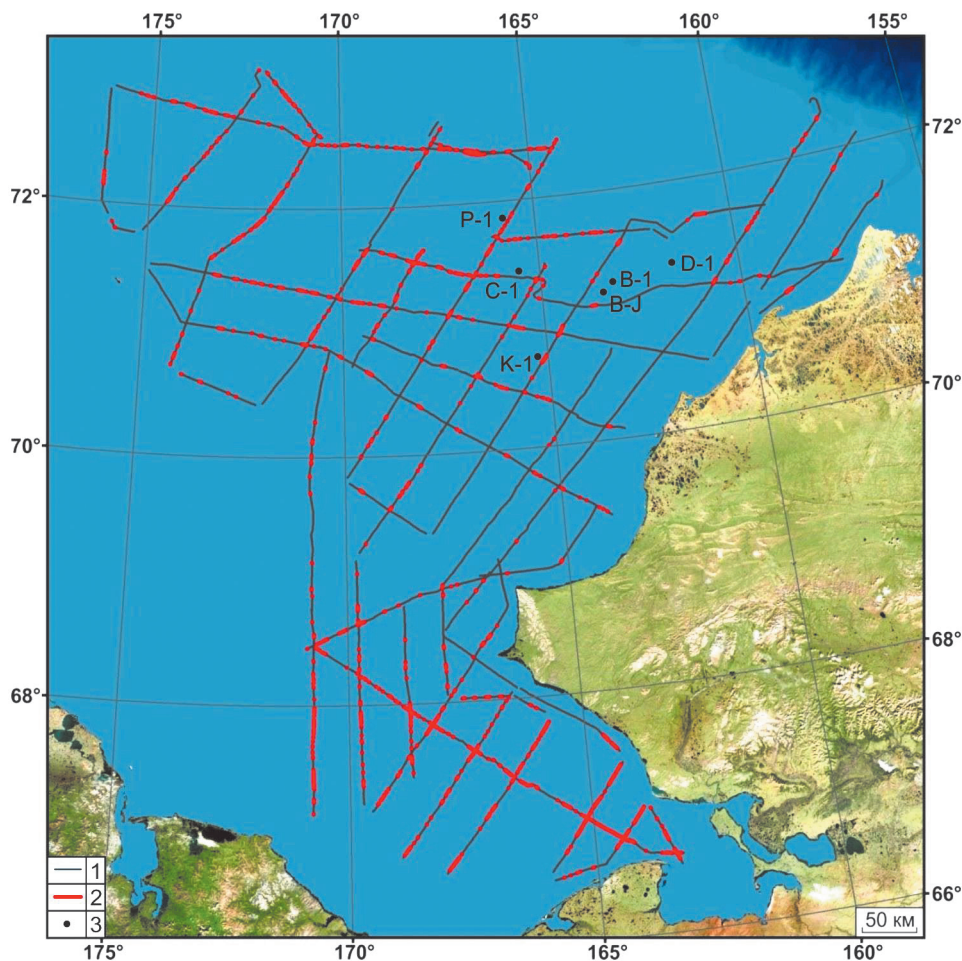


Рис. 8. Расположение прогнозируемых газовых залежей (2) на исследованных сейсмопрофилях МОГТ (1) и шести скважин (3): Klondike-1 (K-1), Popcorn-1 (P-1), Burger-1 (B-1), Burger-J (B-J), Crackerjack-1 (C-1) и Diamond-1 (D-1). Картографическая основа – батиметрическая база GEBCO и космоснимок Bing
 Fig. 8. The location of the forecasted gas accumulations (2) on the studied CDP seismic lines (1) and six wells (3): Klondike-1 (K-1), Popcorn-1 (P-1), Burger-1 (B-1), Burger-J (B-J), Crackerjack-1 (C-1) and Diamond-1 (D-1). Cartographic base – GEBCO bathymetry database and Bing satellite image

не представлялось возможным определить нижнюю границу предполагаемого газонасыщения ВЧР в виде ряда расположенных на разных уровнях сопутствующих залежей. Полученные распределения аномалий в ВЧР показаны на диаграммах на рис. 9.

Как видно из этих диаграмм, в Чукотском море верхние аномальные объекты — потенциальные залежи газа чаще всего встречаются на глубинах от дна 0—200 м (74,9%), причем в непосредственной близости от дна (глубины до 100 м) расположено 57,5% всех объектов. Большинство объектов имеет протяженность до 2 км (87,2%). При этом размеры 50—500 м имеют 39,4% объектов. Самый крупный объект — структура Klondike (7,5 км).

Анализ полученных материалов

Локальные поднятия в рельефе дна, подобные описанному выше, были открыты около 50 лет назад сейсмоакустическими исследованиями в море Бофорта и первоначально были признаны много-

летними буграми пучения — пинго (pingo) [30]. После длительных исследований с учетом новых данных о возможном газогидратном генезисе этих поднятий их стали называть PLF (pingo-like feature — пингоподобные объекты) [31—33]. Размеры выявленных PLF достигают 400 м в диаметре и 30 м в высоту [30; 31].

Множество других PLF было обнаружено также в Норвежском, Баренцевом, Печорском, Карском морях и в других акваториях Мирового океана [1; 30—33 и др.]. При этом было обосновано, что экраны для газа могут являться газогидратонасыщенные пласты, которые под давлением газа формируют бугры пучения — PLF.

Необходимо отметить, что после дополнительных исследований многие PLF были признаны активными грязевыми вулканами [32]. Возможность существования на акваториях Арктики грязевых вулканов также подтверждается открытием на шельфе Норвежского моря активного подводного грязевого вулкана Naakon Mosby [34].

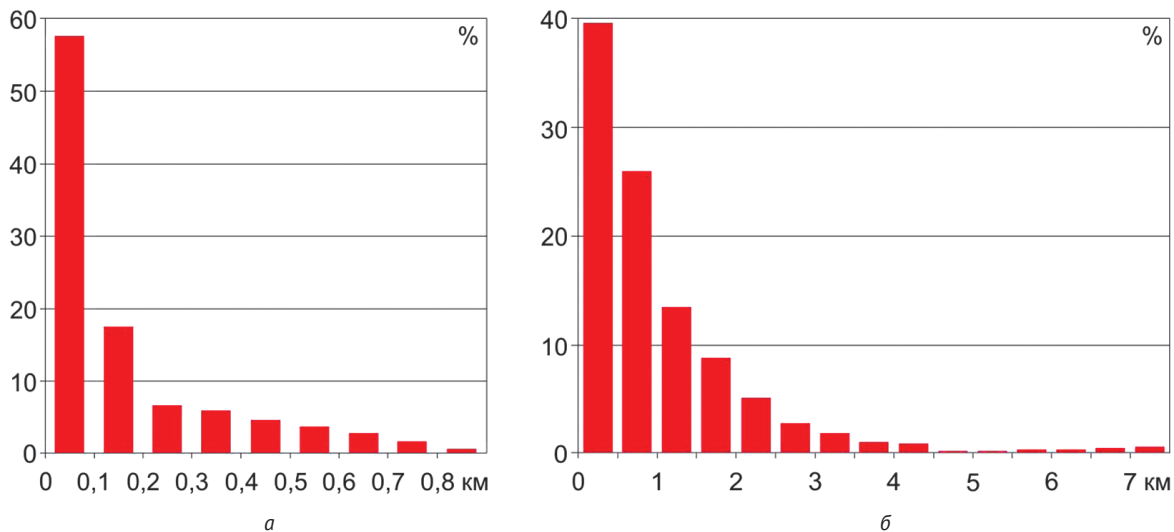


Рис. 9. Распределение предполагаемых газовых залежей в ВЧР по глубинам верхних залежей (а) и по горизонтальным размерам (б)

Fig. 9. Distribution of the forecasted gas accumulations in the near-surface section by the depths of upper accumulations (а) and lateral dimensions (б)

На исследованной мелководной части акватории Чукотского моря авторы обнаружили бугры пучения типа PLF, которые, наиболее вероятно, связаны с газодинамическими процессами и формированием залежей газа вблизи дна, экранированных:

- слабопроницаемыми (глинистыми и песчано-глинистыми) придонными отложениями; после роста давления и прорыва покрышек на дне формируются кратеры — покмарки, из которых может продолжаться эмиссия газа;
- глинистыми постройками грязевых вулканов, эруптивный канал которых открывается и закрывается в зависимости от роста и падения давления флюидов.

Высокая газонасыщенность приповерхностной части осадочных бассейнов может быть обусловлена наличием множества разломов, местами достигающих близко к морскому дну. Разрывные нарушения — основные пути вертикальной миграции газа — формировались в акватории Чукотского моря на нескольких этапах тектонических деформаций. Известно, что в северо-восточной части Чукотской платформы области максимальной мощности верхнебрукских (кайнозойских) отложений, как правило, совпадают с таковыми для более древних отложений в пределах грабенов, ограниченных разломами. Этот факт может свидетельствовать об активизации разломов в кайнозое во время накопления верхнебрукского комплекса [35]. В частности, в четвертичное время в Северо-Чукотском бассейне происходило активное образование разломов [19]. Разломы, по которым происходили смещения поверхности современного морского дна, имеются в юго-западной части Чукотского моря, в окрестностях свода Геральда и в пределах трога Ханна [35].

Выявленные закономерности распределения неоднородностей по глубине и горизонтальным размерам для Чукотского моря подобны установленным ранее для моря Лаптевых и мелководной части Берингова моря [6; 7; 9]. Схожесть в глубинном распределении представляется вполне логичной, так как в данных регионах также происходили тектонические движения во время накопления осадочной толщи ВЧР (в море Лаптевых — в позднем миоцене-плейстоцене, в Анадырском бассейне Берингова моря — в среднем миоцене), что могло служить фактором миграции газа к придонным отложениям. Схожесть в размерах указывает на близкие масштабы генерации, миграции, аккумуляции углеводородов в ВЧР и/или на схожие литологические характеристики, определяющие небольшие размеры природных резервуаров.

В ходе последнего ледникового периода современный шельф Чукотского моря находился выше уровня моря, и под влиянием отрицательных температур в его пределах сформировалась толща ММП и, возможно, газовых гидратов, существование которых доказано на шельфе морей Бофорта и Норвежском, а также на суше Арктики [11; 31—34]. После таяния ледников шельф был вновь затоплен, но при отрицательных температурах придонной воды ММП и газогидраты могли сохраниться вдоль северо-западного побережья Аляски [35; 36].

Аналитические исследования [37] показали, что зоны метаногидратов на мелководье существуют только в прибрежных зонах с субаквальными ММП. Однако при значительном содержании гомологов метана в гидратообразующем газе в мелководной части Чукотского моря имеются обособленные участки с благоприятными термобарическими условиями для существования газогидратов. При

этом авторы [37] опирались на результаты морских экспедиционных работ 1976—1988, 2004, 2009 и 2012 гг., доказавших, что на ряде площадей (от 1 до 5 тыс. км²) в придонных отложениях был обнаружен не только чистый метан, но и его гомологи (185 проб из 240 — 77,1%). При этом состав смесей газов изменялся в широком диапазоне: метан — 66,6—99,9%, этан — 0,0—16,7%, пропан — 0,0—30,3%, бутан — 0,0—0,96%.

Однако при проведенном авторами анализе данных сейсморазведки признаки наличия ММП и газогидратов не обнаружены. Это, возможно, связано со сложностью выделения отражающего горизонта от подошвы газогидратов — BSR (Bottom Simulating Reflector) при горизонтальной слоистости ВЧР и с невысоким (по современным стандартам) качеством старых (около 40 лет) материалов USGS по ВЧР (низкие фактическая кратность прослеживания и частоты колебаний). Документально подтвержденные данные о распространении субаквальных ММП в Чукотском море по опубликованным источникам не обнаружены. Также не обнаружены данные о вскрытии толщ ММП и газовых гидратов в доступных описаниях результатов бурения шести скважин (см. рис. 2 и 8). Возможно, что под действием теплого Тихоокеанского течения в открытом море произошли деградация ММП и диссоциация газогидратов, и они сохранились лишь в узкой полосе вдоль берегов Аляски и Чукотки.

Возможность существования газовых гидратов в Чукотском море на глубинах дна свыше 290 м (метаногидраты) или даже меньших глубинах при наличии в гидратах смесей метана и других газов не вызывает сомнений [11; 37].

Заключение

В результате впервые выполненной интерпретации верхней части архивных временных разрезов МОГТ USGS в мелководной части Чукотского моря в объеме 9500 пог. км обнаружено 782 аномальных потенциально газонасыщенных объекта в ВЧР, т. е. в среднем через каждые 12 км, что подобно мелководной части Берингова моря, но почти в два раза чаще, чем в Охотском море, и в три раза чаще, чем в море Лаптевых. Выявленные закономерности распределения верхних потенциально газонасыщенных объектов — газовых карманов свидетельствуют, что они в основном расположены на глубинах 0—200 м (74,9%) и характеризуются горизонтальными размерами до 2 км (87,2%). Закономерности распределения выделенных объектов в Чукотском море, море Лаптевых и мелководной части Берингова моря подобны, что может объясняться схожими тенденциями геологического развития для этих акваторий.

В большинстве случаев на временных разрезах выявлены распределенные по вертикали группы потенциальных залежей газа, а также видны его каналы миграции из глубоких горизонтов (разло-

мы, газовые трубы). Также глубинный генезис газа в придонных отложениях в большинстве случаев подтверждается наличием гомологов метана. При анализе данных сейсморазведки в мелководном районе Чукотского моря признаков наличия газогидратов не обнаружено.

Представляется целесообразным расширение исследований для других арктических морей для установления закономерностей распределения потенциальных газовых залежей и сравнения их с ранее полученными результатами. Такие исследования повышают эффективность нефтегазопроисковых работ и способствуют снижению рисков при бурении глубоких скважин. Они также важны при анализе объемов эмиссии метана при рассмотрении вопросов глобального изменения климата.

Работа выполнена по государственному заданию по теме «Рациональное природопользование и эффективное освоение нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли» (№ АААА-А19-119021590079-6).

Авторы признательны Геологической службе США (USGS) за предоставленную возможность использования материалов сейсморазведки МОГТ 2D по акватории Чукотского моря.

Литература/References

1. Богоявленский В. И. Арктика и Мировой океан: современное состояние, перспективы и проблемы освоения ресурсов углеводородов: Монография // Тр. Вольного экон. о-ва. — 2014. — Т. 182, № 3. — С. 12—175.
Bogoyavlensky V. I. Arktika i Mirovoi okean: sovremennoe sostoyanie, perspektivy i problemy osvoeniya resursov uglevodorodov. Monografiya. [Arctic and the World Ocean: current state, perspectives and challenges of hydrocarbon production. Monograph]. Tr. Vol'nogo ekon. o-va, 2014, vol. 182, no. 3, pp. 12—175. (In Russian).
2. Богоявленский В. И. Выбросы газа и нефти на суше и акваториях Арктики и Мирового океана // Бурение и нефть. — 2015. — № 6. — С. 4—10.
Bogoyavlensky V. I. Vybrosy gaza i nefti na sushe i akvatoriyakh Arktiki i Mirovogo okeana. [Oil and gas emissions on land and offshore areas of the Arctic and World oceans]. Burenie i nef't', 2015, no. 6, pp. 4—10. (In Russian).
3. Богоявленский В. И. Природные и техногенные угрозы при освоении месторождений горючих ископаемых в криолитосфере Земли // Гор. пром-сть. — 2020. — № 1 (149). — С. 97—118. — DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-97-118.
Bogoyavlensky V. I. Prirodnye i tekhnogennyye ugrozy pri osvoenii mestorozhdeniy goryuchikh iskopaemykh v kriolitosfere Zemli. [Natural and technogenic threats in fossil fuels production in the Earth cryolithosphere]. Gor. prom-st', 2020, no. 1 (149), pp. 97—118. DOI 10.30686/1609-9192-2020-1-97-118. (In Russian).

4. Богоявленский В. И., Богоявленский И. В. Природные и техногенные угрозы при поиске, разведке и разработке месторождений углеводородов в Арктике // Минер. ресурсы России. Экономика и управление. — 2018. — № 2. — С. 60—70. *Bogoyavlensky V. I., Bogoyavlensky I. V. Prirodnye i tekhnogennye ugrozy pri poiske, razvedke i razrabotke mestorozhdeniy uglevodorodov v Arktike. [Natural and technogenic threats in prospecting, exploration and development of hydrocarbon fields in the Arctic]. Miner. resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie, 2018, no. 2, pp. 60—70. (In Russian).*
5. Богоявленский В. И., Керимов В. Ю., Ольховская О. О. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Охотское море // Нефтяное хоз-во. — 2016. — № 6. — С. 43—47. *Bogoyavlensky V. I., Kerimov V. Yu., Olkhovskaya O. O. Opasnyye gazonasyschennyye obyekty na akvatori-yakh Mirovogo okeana: Okhotskoye more. [Dangerous gas-saturated objects in the World Ocean: the Sea of Okhotsk]. Neftyanoe khoz-vo, 2016, no. 6, pp. 43—47. (In Russian).*
6. Богоявленский В. И., Казанин Г. С., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: море Лаптевых // Бурение и нефть. — 2018. — № 5. — С. 20—28. *Bogoyavlensky V. I., Kazanin G. S., Kishankov A. V. Opasnyye gazonasyschennyye obyekty na akvatori-yakh Mirovogo okeana: more Laptevyykh. [Dangerous gas-saturated objects in the World Ocean: the Laptev sea]. Burenie i neft', 2018, no. 5, pp. 20—28. (In Russian).*
7. Богоявленский В. И., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Берингово море // Бурение и нефть. — 2018. — № 9. — С. 4—12. *Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V. Opasnyye gazona-syshchennyye obyekty na akvatori-yakh Mirovogo okeana: Beringovo more. [Dangerous gas-saturated objects in the World Ocean: the Bering sea]. Burenie i neft', 2018, no. 9, pp. 4—12. (In Russian).*
8. Богоявленский В. И., Сизов О. С., Богоявленский И. В. и др. Дегазация Земли в Арктике: комплексные исследования распространения бугров пучения и термокарстовых озер с кратерами выбросов газа на полуострове Ямал // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 4 (36). — С. 52—68. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-52-68. *Bogoyavlensky V. I., Sizov O. S., Bogoyavlensky I. V., Niko-nov R. A., Kargina T. N. Degazatsiya Zemli v Arktike: kompleksnyye issledovaniya rasprostraneniya bugrov pucheniya i termokarstovyykh ozer s kraterami vybrosov gaza na poluostrove Yamal. [Earth Degassing in the Arctic: Comprehensive Studies of the Distribution of Frost Mounds and Thermokarst Lakes with Gas Blow-out Craters on the Yamal Peninsula]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2019, no. 4 (36), pp. 52—68. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-52-68. (In Russian)*
9. *Bogoyavlensky V. I. Kazanin G. S., Kishankov A. V. Gas saturation of shallow deposits of the Arctic and Subarctic seas. Marine Technologies. Gelendzhik, EAGE, 2019, pp. 124—130.*
10. *Bogoyavlensky V. I., Kerimov V. Yu., Bogoyavlensky V. I., Shayhullina A. A. The Main Guidelines of the Efficiency and Safety Increasing of Hydrocarbon Deposits Exploration and Development on the Arctic and Other Russian Offshore. 8th Saint Petersburg International Conference & Exhibition Saint Petersburg 2018. Innovations in Geosciences — Time for Breakthrough, EAGE, 2018, 5 p. Submission ID: 44704.*
11. *Bogoyavlensky V., Kishankov A., Yanchevskaya A., Bogoyavlensky I. Forecast of Gas Hydrates Distribution Zones in the Arctic Ocean and Adjacent Offshore Areas. Geosciences, 2018, no. 8, 45317. DOI: 10.3390/geosciences8120453.*
12. *Аветов Н. Р., Краснова Е. А., Якушев В. С. Некоторые особенности приустьевых газопроявлений из интервала криолитозоны на территории Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения // Газовая пром-сть. — 2017. — № 8 (756). — С. 44—47.*
13. *Аветов Н. Р., Краснова Е. А., Якушев В. С. Некоторые особенности приустьевых газопроявлений из интервала криолитозоны на территории Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения. [Certain peculiarities of wellhead gas shows from the interval of the cryolithic zone in the territory of the Yamburg oil and gas condensate field]. Gazovaya prom-st', 2017, no. 8 (756), pp. 44—47. (In Russian).*
14. *Хоштария В. Н. Опыт и методика проведения работ ООО «Газпром геологоразведка» по изучению верхней (придонной) части разреза с целью предотвращения рисков при бурении морских скважин: [Презентация]. — URL: http://www.rao-offshore.ru/netcat_files/userfiles/RAO-2017/8/Hoshtariya.pdf.*
15. *Хоштария В. Н. Опыт и методика проведения работ ООО «Газпром геологоразведка» по изучению верхней (придонной) части разреза с целью предотвращения рисков при бурении морских скважин. [Experience and methodology of Gazprom Geologorazvedka LLC work on the study of the upper (bottom) part of the section in order to prevent risks while drilling offshore wells] [Presentation]. Available at: http://www.rao-offshore.ru/netcat_files/userfiles/RAO-2017/8/Hoshtariya.pdf. (In Russian).*
16. *Boogaard M., Gras R., Hoetz G. Shallow Play in the Netherlands — Derisked by Seismic Characterisation. EAGE, 75th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2013, June 2013, cp-348-00983. DOI: 10.3997/2214-4609.20130438.*
17. *Judd A., Hovland M. Seabed Fluid Flow. The Impact on Geology, Biology, and the Marine Environment. Cambridge, Univ. Press, 2007, 493 p.*
18. *Mikalsen H. Reservoir structure and geological setting of the shallow PEON gas reservoir. EOM-3901 Master's Thesis in Energy, UiT. The Arctic Univ. of Norway. [S. l.], 2014, 99 p.*
19. *Triezenberg P. J., Hart P. E., Childs J. R. National Archive of Marine Seismic Surveys (NAMSS): A USGS*

- data website of marine seismic reflection data within the U.S. Exclusive Economic Zone (EEZ): U.S. Geological Survey Data Release, 2016. DOI: 10.5066/F7930R7P.
18. Churkin Jr M., Nokleberg W. J., Huie C. Collision-deformed Paleozoic continental margin, western Brooks Range, Alaska. *Geology*, 1979, vol. 7, no. 8, pp. 379—383.
19. Grantz A., Dinter D. A., Hill E. R. et al. Geologic framework, hydrocarbon potential, and environmental conditions for exploration and development of proposed oil and gas lease sale Sale 85 in the central and northern Chukchi Sea: U.S. Geological Survey Open-File Report 82-1053, 1982, 84 p.
20. Grantz A., May S. D., Hart P. E. Geology of the Arctic continental margin of Alaska. *The Geology of North America*, 1990, vol. 50, pp. 257—288.
21. Sherwood K. W., Johnson P. P., Craig J. D. et al. Structure and stratigraphy of the Hanna trough, US Chukchi shelf, Alaska. *Special papers — Geological Society of America*, 2002, pp. 39—66.
22. Wiley T. J. Sedimentary basins of offshore Alaska and adjacent regions: U.S. Geological Survey Open-File Report 86-35, 1986, 118 p.
23. Bird K. J., Houseknecht D. W., Pitman J. K. Geology and assessment of undiscovered oil and gas resources of the Hope Basin Province. *The 2008 Circum-Arctic Resource Appraisal: U.S. Geological Survey Professional Paper 1824*, 2008, 9 p.
24. Лаверов Н. П., Богоявленский В. И., Богоявленский И. В. Сейсморазведка и освоение морских месторождений нефти и газа Арктики Западного полушария // *Арктика: экология и экономика*. — 2011. — № 3. — С. 16—27.
- Laverov N. P., Bogoyavlensky V. I., Bogoyavlensky I. V. Seismorazvedka i osvoeniye morskikh mestorozhdeniy nefiti i gaza Arktiki Zapadnogo polushariya. [Seismic exploration and development of offshore oil and gas fields in the Arctic of the Western Hemisphere]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2011, no. 3, pp. 16—27. (In Russian).
25. Вержбицкий В. Е., Соколов С. Д., Франтцен Э. М. и др. Тектоническая структура, осадочные бассейны и перспективы нефтегазоносности шельфа Чукотского моря (Российская Арктика) // *Газовая промышленность*. — 2010. — № 14 (654). — С. 32—37.
- Verzhbitsky V. I., Sokolov S. D., Frantsen E. M. et al. Tektonicheskaya struktura, osadochnyye basseyny i perspektivy neftegazonosnosti shel'fa Chukotskogo morya. (Rossiyskaya Arktika). [Tectonic structure, sedimentary basins and oil and gas prospects of the shelf of the Chukchi Sea (Russian Arctic)]. *Gazovaya prom-st'*, 2010, no. 14 (654), pp. 32—37. (In Russian).
26. Полякова И. Д., Богоявленский И. В., Данилина А. Н. Характеристика нефтегазоматеринских толщ Арктики, палеогеографические и геодинамические аспекты их образования // *Арктика: экология и экономика*. — 2013. — № 1 (9). — С. 46—59.
- Polyakova I. D., Bogoyavlensky I. V., Danilina A. N. Kharakteristika neftegazomaterinskikh tolshch Arktiki, paleogeograficheskiye i geodinamicheskiye aspekty ikh obrazovaniya. [Characteristics of the oil and gas source rocks of the Arctic, paleogeographic and geodynamic aspects of their formation]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2013, no. 1 (9), pp. 46—59. (In Russian).
27. Drachev S. S., Malyshev N. A., Nikishin A. M. Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: an overview. *Geological society, London, petroleum geology conference series. Geological Society of London*, 2010, vol. 7, no. 1, pp. 591—619.
28. Vinogradov V. A., Gusev E. A., Lopatin B. G. Structure of the Russian eastern Arctic shelf. *Conference on Arctic Margins*, 2003, pp. 90—98.
29. The Alaska Oil and Gas Conservation Commission: 50 years of Service to Alaska. AOGCC, 2008, 96 p. Available at: <https://www.commerce.alaska.gov/web/Portals/18/Pub/aogcc50thBooklet.pdf>.
30. Shearer J. M., Macnab R. F., Pelletier B. R., Smith T. B. Submarine pingos in the Beaufort Sea. *Science*, 1971, vol. 174, iss. 4011, pp. 816—818. DOI: 10.1126/science.174.4011.816.
31. Paull C. K., Lii W. U., Dallimore S. R. et al. Origin of pingo-like features on the Beaufort Sea shelf and their 744 possible relationship to decomposing methane gas hydrates. *Geophys. Res. Lett.*, 2007, no. 34, L01603, 745. DOI: 10.1029/2006GL027977.
32. Paull C. K., Dallimore S. R., Caress D. W. et al. Active mud volcanoes on the continental slope of the Canadian Beaufort Sea. *AGU — Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2015, no. 16, pp. 3160—3181. DOI: 10.1002/2015GC005928.
33. Serov P., Portnov A., Mienert J., Semenov P., Ilatovskaya P. Methane release from pingo-like features across the South Kara Sea shelf, an area of thawing offshore permafrost. *J. of 761 Geophysical Research — Earth Surface*, 2015, no. 120, pp. 1515—1529. DOI: 10.1002/2015JF003467.
34. Ginsburg G. D., Milkov A. V., Soloviev V. A., Egorov A. V. et al. Gas hydrate accumulation at the Håkon Mosby Mud Volcano. *Geo-Mar. Lett.*, 1999, no. 19, pp. 57—67.
35. Thurston D. K., Theiss L. A. Geologic report for the Chukchi Sea planning area, Alaska. *Outer Continental Shelf Report. United States Department of the Interior, Minerals Management Service, Alaska OCS Region. Anchorage*, 1987, 193 p.
36. Osterkamp T. E., Harrison W. D. Temperature measurements in subsea permafrost off the coast of Alaska. 4th Canadian Permafrost Conference, 1982, pp. 238—248. DOI: 10.25515/PMI.2017.4.387.
37. Матвеева Т. В., Семёнова А. А., Щур Н. А. и др. Перспективы газогидратоносности Чукотского моря // *Зап. Гор. ин-та*. — 2017. — Т. 226 — С. 387—396. — DOI: 10.25515/PMI.2017.4.387.
- Matveeva T. V., Semenova A. A., Shchur N. A., Logvina E. A., Nazarova O. V. Perspektivy gazogidratonosnosti Chukotskogo moray. [Prospects of Gas Hydrate Presence in the Chukchi Sea]. *Zap. Gor. in-ta*, 2017, vol. 226, pp. 387—396. DOI: 10.25515/PMI.2017.4.387. (In Russian).

Информация об авторах

Богоявленский Василий Игоревич, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, главный научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, д. 3), e-mail: vib@pgc.su.

Кишанков Алексей Владимирович, младший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, д. 3), e-mail: alexey137k@yandex.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Богоявленский В. И., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Чукотское море (Россия и США) // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 2 (38). — С. 45—58. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-45-58.

DANGEROUS GAS-SATURATED OBJECTS IN THE WORLD OCEAN: THE CHUKCHI SEA (RUSSIA AND THE USA)

Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V.

Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The article was received on February 22, 2020

Abstract

For the first time, interpretation of the upper part of archival seismic CDP time sections of the United States Geological Survey (USGS) for the sectors of Russia and the USA in the Chukchi Sea with total length of 9500 km was conducted. The large-scale shallow gas saturation of the Cretaceous-Quaternary clastic deposits was proved, 782 anomalous potentially gas-saturated objects (gas pockets) were detected on average every 12 km of the studied seismic lines. The widespread distribution of deep genesis gas in potentially gas-bearing objects was justified. No evidence of gas hydrates was found in the shallow water part of the Chukchi Sea. The necessity of intensifying comprehensive research for increasing the safety of prospecting, exploration and development of hydrocarbon fields in off- and onshore areas was substantiated.

Keywords: World Ocean, the Chukchi Sea, CDP seismic, near-surface section, gas deposits, gas pockets, shallow gas, gas chimneys, mud volcanoes, gas hydrates.

The research was conducted according to the state assignment on topic “Rational usage of nature and effective development of oil and gas resources of the Arctic and Subarctic zones of the Earth” (No. AAAA-A19-119021590079-6).

The authors are grateful to the United States Geological Survey (USGS) for the opportunity to use 2D CDP seismic data for the area of the Chukchi Sea.

Information about the authors

Bogoyavlensky Vasily Igorevich, Doctor of Engineering Science, Corresponding member of RAS, Deputy Director for Science, Chief Researcher, Oil and Gas Research Institute of RAS (3, Gubkina St., Moscow, Russia, 119333), e-mail: vib@pgc.su.

Kishankov Aleksei Vladimirovich, Junior Researcher, Oil and Gas Research Institute of RAS (3, Gubkina St., Moscow, Russia, 119333), e-mail: alexey137k@yandex.ru.

Bibliographic description

Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V. Dangerous gas-saturated objects in the World Ocean: the Chukchi Sea (Russia and the USA). Arctic: Ecology and Economy, 2020, no. 2 (38), pp. 45—58. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-45-58. (In Russian).

© Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V., 2020