

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЯМОПОИСКОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕНЕЗИСА ГЛУБИННЫХ ГАЗОГИДРАТОВ В ОТДЕЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОКРАИН МИРОВОГО ОКЕАНА

В.Д. Соловьёв¹, С.П. Левашов^{2,3}, Н.А. Якимчук^{2,3}, И.Н. Корчагин¹, Д.Н.Божежа²

¹*Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, просп. Акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина, e-mail: korchagin.i.n@gmail.com*

²*Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, пер. Лабораторный, 1, г. Киев, 01133, Украина*

³*Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле при ИГН НАН Украины, пер. Лабораторный, 1, г. Киев, 01133, Украина*

Анализируются результаты применения частотно-резонансной технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли для обнаружения скоплений углеводородов (газогидратов, газов) в пределах локальных участков структур континентальных окраин Антарктического полуострова (Западная Антарктика) и северной континентальной окраины в Южно-Китайском море. Выделены и локализованы контуры аномальных зон типа “газогидраты” в пределах участков распространения BSR-отражений различной амплитуды в структурах шельфа Антарктического полуострова и в районе расположения пробуренных скважин участка Шеньху (Южно-Китайское море). На участке Шеньху выявлены четыре аномальные зоны типа “газ”, одна из которых обнаружена за пределами участка проведения сейсмических работ. Результаты применения частотно-резонансной обработки данных дистанционного зондирования могут быть уточнены после проведения исследований наземными прямопоисковыми геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ. Получены дополнительные аргументы для определения возможного механизма формирования выявленных скоплений углеводородов, как части глобального процесса мезо-кайнозойского накопления углеводородов, происходящего в пределах континентальных окраин Мирового океана в результате масштабной дегазации Земли.

Ключевые слова: частотно-резонансная обработка спутниковых снимков, аномалия типа “залежь”, газогидраты, газовые “трубы”, континентальные окраины, Западная Антарктика, Южно-Китайское море.

Введение. Цель работы — дополнительная апробация частотно-резонансного метода обработки и интерпретации (декодирования) данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ, спутниковых снимков) с целью обнаружения и локализации участков скопления углеводородов (УВ) — газа, газоконденсата, газогидратов, а также демонстрация на конкретных примерах потенциальных возможностей этой мобильной и прямопоисковой технологии на детально изученных геофизическими методами (и бурением) локальных структурах континентальных окраин Мирового океана.

Эта мобильная технология разработана на принципах “вещественной” парадигмы геофизических исследований [3], что позволяет проводить поиск конкретного вещества — нефти, газа, газогидрата, конкретных руд, воды и др., на первом этапе поисков и разведки месторождений. На втором этапе геолого-разведочных работ применяются дополнительные мобильные наземные геоэлектрические методы становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) [3, 9].

Дополнительную информацию об используемых мобильных технологиях можно найти на сайте

[<http://www.geoprom.com.ua/index.php/ru/>], где показаны многочисленные результаты их практического применения.

В статье представлены результаты работ с целью демонстрации возможностей применения этих методов не только для обнаружения и картирования мест скопления широкого спектра УВ, но и для определения их возможного глубинного генезиса.

Задачи, участки исследований и их результаты. Основные задачи проведенных исследований состояли в следующем.

1. Апробация мобильных прямопоисковых геофизических технологий на участках, перспективных на крупные скопления газогидратов (и других УВ), с целью демонстрации потенциальных возможностей этих технологий при поисках и картировании дополнительных перспективных площадей.

2. Обнаружение и картирование локальных участков с очень высоким пластовым давлением — каналов вертикальной миграции глубинных флюидов, а также оценка глубин залегания и мощностей коллекторов УВ.

3. Определение возможного положения в разрезе (глубина и мощность) выявленных скоплений

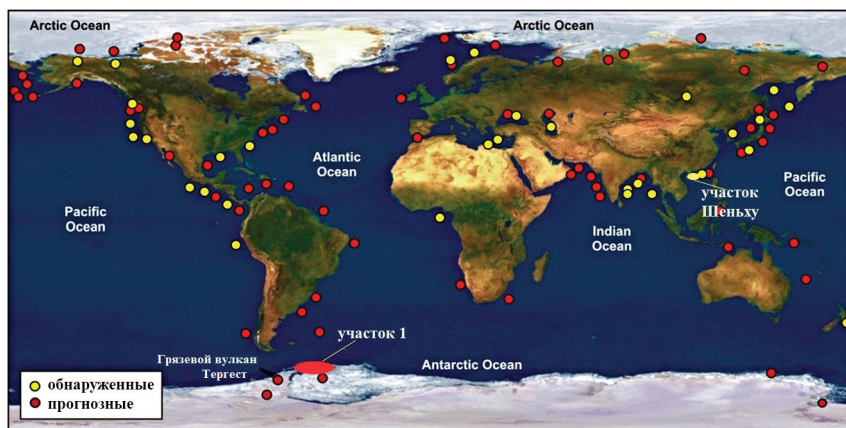


Рис. 1. Схематическая карта размещения скоплений газогидратов, по [12]. Показано также расположение участков исследований в Западной Антарктике (участок 1) и Южно-Китайском море (участок Шеньху)

Fig. 1. Sketch map of the gas hydrates accumulations location, according to [12]. The locations of research sites in West Antarctica (site 1) and the South China Sea (the Shenhua area) are also shown

газа, что позволяет получить дополнительные данные для определения возможного генезиса УВ.

В настоящее время по прямым и косвенным данным обнаружено более 250 мест возможных скоплений газогидратов в придонной части осадочной толщи морского дна в различных районах Мирового океана [2, 4]. Прогнозные оценки запасов газогидратов сильно варьируют — от $2 \cdot 10^{14}$... 10^{15} до $1,5 \cdot 10^{16}$ м³. Около 98 % общих запасов приходится на Мировой океан, остальные 2 % (около 300 трлн м³) — на приполярные районы материков [2, 4].

Наличие в разрезе зоны гидратообразования (ЗГО) выявляется по данным МОВ—ОГТ, которые определяют положение часто связанной с формированием скоплений газогидратов сейсмической отражающей границы BSR (Bottom Simulating Reflector), субпараллельной рельефу дна.

Амплитуда отражений BSR-зон в значительной мере зависит от степени заполнения осадков газогидратами над границей BSR и газом — ниже нее. Зависимость процесса формирования BSR-границы от многих факторов приводит к тому, что на континентальных окраинах обнаруженные скопления газогидратов не имеют четко выраженного раздела на подошве ЗГО [2, 4]. Отсутствие BSR-границы характерно для тех участков материковой окраины, где скопления подгидратного (свободно-) газа не выявлены.

Рассмотрим некоторые результаты применения мобильных технологий [3, 9], включая материалы СКИП—ВЭРЗ для регионального картирования скоплений газогидратов в отдельных структурах континентальных окраин Западной Антарктики и Южно-Китайского моря.

Континентальная окраина Южных Шетландских островов (Западная Антарктика). На обширных участках континентальной окраины Антарктического полуострова выявлены скопления газогидратов в четырех разных районах Антарктического побережья [6, 7, 13].

Для участка распространения зон BSR на континентальной окраине вблизи Южно-Шетландских островов по результатам обработки и дешифрирования данных ДЗЗ выделено несколько новых ано-

мальных зон типа “залежь газогидратов” (рис. 1), в том числе на площадях, где сейсмические работы не проводились, что может свидетельствовать о существовании дополнительных скоплений газогидратов в этом районе.

Основная часть выделенных аномалий пространственно совпадает с положением BSR-зон, определенных по сейсмическим данным [13].

Для части спутниковых аномалий типа “залежь газогидратов” (рис. 2, 3), приуроченных к материковому склону Южно-Шетландских островов (профиль 3g), выполнены работы методом ВЭРЗ.

Верхняя кромка пластов газогидратов располагается на глубине от 400 до 900 м ниже уровня дна. Параметры выделенных пластов могут быть в значительной степени искажены, поскольку предполагается, что в формировании скопления газогидратов здесь участвует смесь газов, особенно в тех его частях, где мощность выделенной толщи достигает 400—500 м (рис. 3).

Разрыв аномальных зон вдоль профиля наблюдений (пк 5—18, рис. 3,б) можно объяснить наличием ранее выявленной по сейсмическим данным серии разломов, секущих склон желоба [11]. Прерывистый характер BSR-границы отмечен и для других сейсмических профилей, что подтверждает и распределение пластов газогидратов в аномальных зонах Gg-1и Gg-2 (рис. 3,б).

В пределах акватории Мирового океана формирование газогидратных скоплений обычно ассоциируется со структурами инъекционного типа, представленными диапирами, грязевулканическими аппаратами, разгрузками газонасыщенных вод (сипами) и трубообразными структурами (“газовыми трубами”). Корни этих структур часто прослеживаются в виде разрывных нарушений в основании осадочного разреза и в фундаменте.

Значительное количество подпитывающих флюидов и смеси газов импульсно проникало в придонную часть осадочной толщи с глубин, как показывают сейсмические данные, превышающих глубину формирования газогидратов [2, 4].

Итальянскими исследователями в 2003—2004 гг. [6] были получены новые данные о батиметрии и

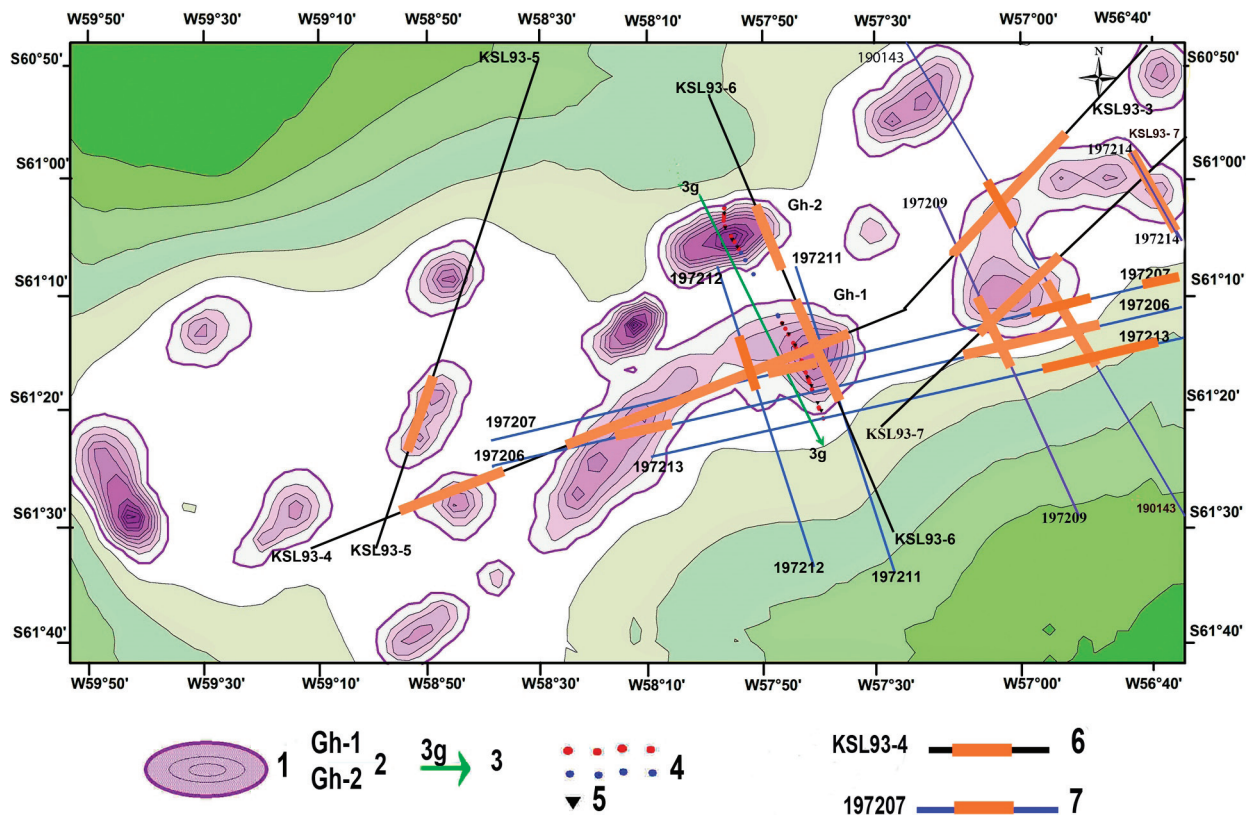


Рис. 2. Карта геоэлектрических аномальных зон типа “залежь газогидратов” на материковом склоне вблизи Южных Шетландских островов: 1 — аномальные зоны типа “залежь газогидратов” по результатам обработки и дешифрирования данных ДЗЗ; 2 — аномальные зоны типа “залежь газогидратов”, зарегистрированные морской геоэлектрической съемкой; 3 — профиль зондирования ВЭРЗ; 4 — точки съемки методом СКИП (красные — положительные значения, синие — отрицательные); 5 — пункты ВЭРЗ; 6 — положение сейсмических профилей с зонами BSR, по [7]; 7 — положение сейсмических профилей с зонами BSR, по [11]

Fig. 2. Map of geoelectric anomalous zones of the “gas hydrate deposit” type on the continental slope near the South Shetland Islands. 1 — anomalous zones of the “gas hydrate deposits” type based on the results of remote sensing data processing and interpretation; 2 — anomalous zones of the “gas hydrate deposit” type, registered by marine geoelectric survey; 3 — VERS sounding profile; 4 — point of survey by the FSPEF (SKIP) method (red — positive values, blue — negative); 5 — VERS points; 6 — position of seismic profiles with BSR zones, according to [7]; 7 — position of seismic profiles with BSR zones, according to [11]

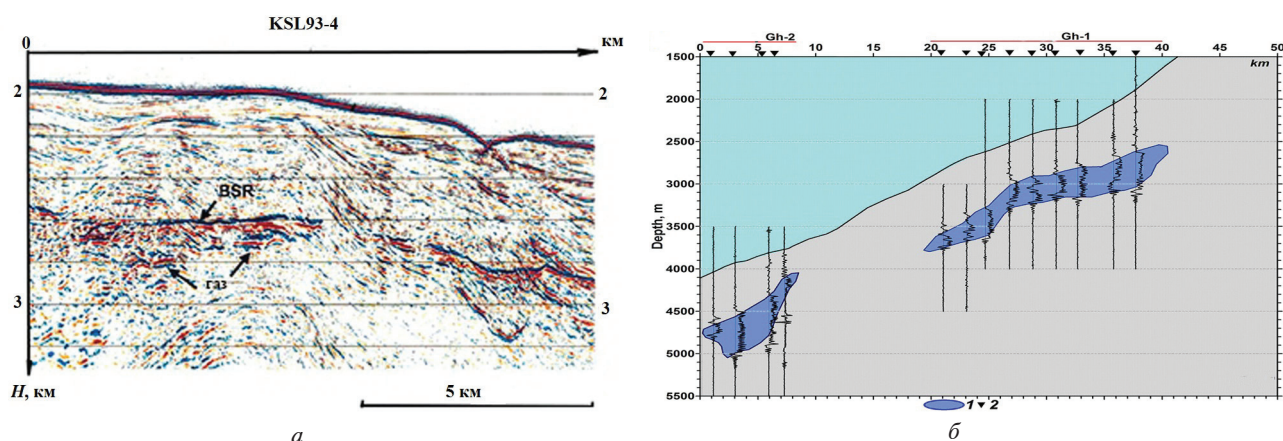


Рис. 3. Глубинный сейсмический разрез вдоль профиля KSL93-4 [7] с контрастной BSR-зоной и расположенной под ней зоной свободного газа (а) на материковом склоне вблизи Южных Шетландских островов (положение профиля см. на рис. 2) и вертикальный разрез (б) вдоль геоэлектрических аномальных зон типа “залежь газогидратов” (Gh-1, Gh-2): 1 — зоны anomalously поляризованных пластов типа “залежь газогидратов”; 2 — пункты ВЭРЗ. Положение аномальных зон показано на рис. 2

Fig. 3. Deep seismic cross-section along the profile of KSL93-4 [7] with the contrast BSR-zone and the free-gas zone (a) located below it on the continental slope near the South Shetland Islands. The position of the profile is shown in Fig. 2. (b) — vertical section along geoelectric anomalous zones of the “gas hydrate deposit” type (Gh-1, Gh-2): 1 — zones of anomalously polarized layers of the “gas hydrate deposits” type; 2 — VERS points. The location of the anomalous zones is shown in Fig. 2

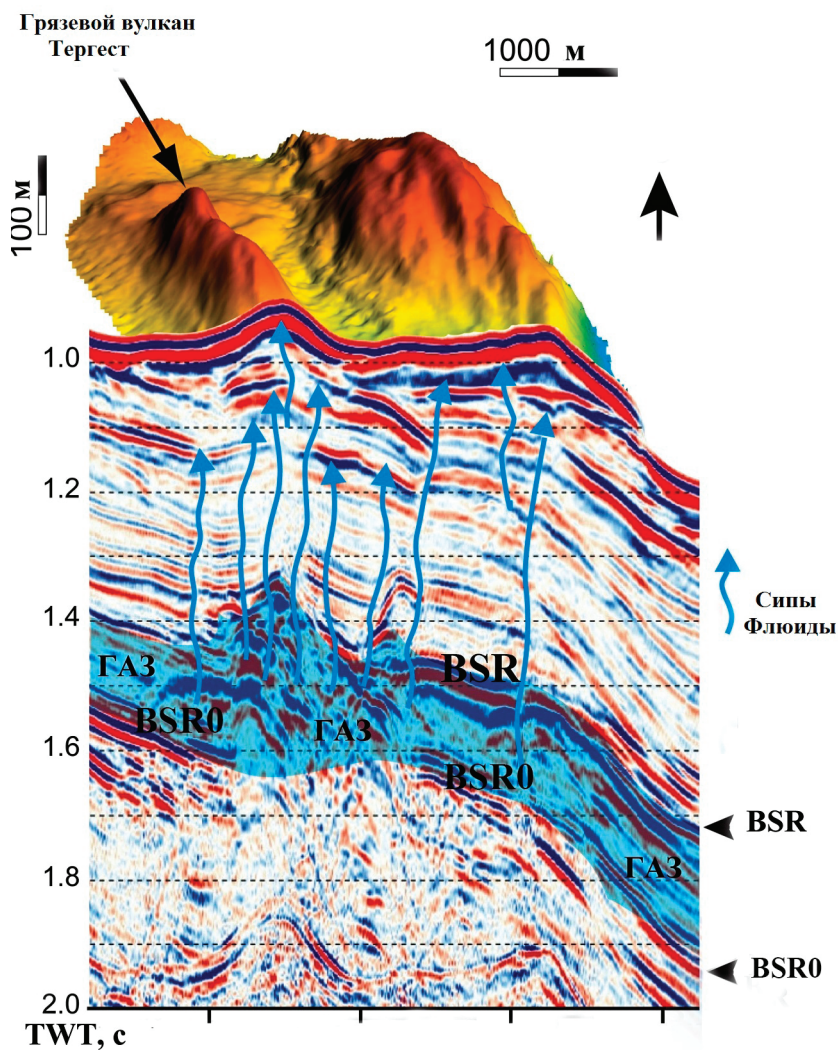


Рис. 4. Схематический разрез вдоль профиля через зону грязевого вулкана Тергест в море Росса, по [6]. Показаны глубинные границы BSR и BSR0, фиксирующие положение ЗГО в разрезе. Положение профиля показано на рис. 1

Fig. 4. Sketch cross-section along the profile through the zone of the mud volcano Turgest in the Ross Sea, according to [6]. Deep boundaries of BSR and BSR0 are shown, which fix the position of the ZGF in the cross-section. The position of the profile is shown in Fig. 1

Нарушенный характер границ BSR и BSR0 на сейсмическом разрезе (рис. 4), вероятно, связан с локальными зонами активной миграции флюидов и газов, участвующих в формировании грязевого вулкана Тергест. Этот довольно крупный подводный вулкан (высотой более 80 м и шириной около 1000 м) приурочен к системе разломов с подпитывающими глубинными каналами. По этим каналам газ и флюиды под высоким давлением мигрируют к придонным осадкам, формируя грязевые вулканы и крупные участки газовых силлов на морском дне. Имеющиеся сейсмические данные отражают строение лишь части разреза грязевого вулкана. Вероятно, его корни расположены в низах осадочной толщи, общая мощность которой в море Росса достигает 14 км [6].

В вертикальном сейсмическом разрезе выделяется участок, расположенный между разделами BSR и BSR0, который можно считать промежуточной областью питания грязевого вулкана Тергест (рис. 4).

Приведенные материалы геофизических исследований в регионе показали, что в результате длительного воздействия потоков глубинных флюидов здесь сформировалась сложная система локальных структур, считающихся типичными для пассивных континентальных окраин (рис. 5).

Целая серия подводных грязевых вулканов была выявлена и вблизи интенсивных зон BSR-отражений на материковой окраине вблизи Южных Шетландских островов [11].

Можно отметить, что для структур континентальной окраины Антарктики наблюдается достаточно тесная пространственная (возможно, и генетическая) связь грязевых вулканов с выявленными участками BSR-отражений и местами формирования скоплений газогидратов. Предполагается, что вулканы (вместе с разломами) оказывают существенное воздействие на распределение и мощность скоплений газогидратов в осадочной толще.

Можно отметить, что для структур континентальной окраины Антарктики наблюдается достаточно тесная пространственная (возможно, и генетическая) связь грязевых вулканов с выявленными участками BSR-отражений и местами формирования скоплений газогидратов. Предполагается, что вулканы (вместе с разломами) оказывают существенное воздействие на распределение и мощность скоплений газогидратов в осадочной толще.

Можно отметить, что для структур континентальной окраины Антарктики наблюдается достаточно тесная пространственная (возможно, и генетическая) связь грязевых вулканов с выявленными участками BSR-отражений и местами формирования скоплений газогидратов. Предполагается, что вулканы (вместе с разломами) оказывают существенное воздействие на распределение и мощность скоплений газогидратов в осадочной толще.

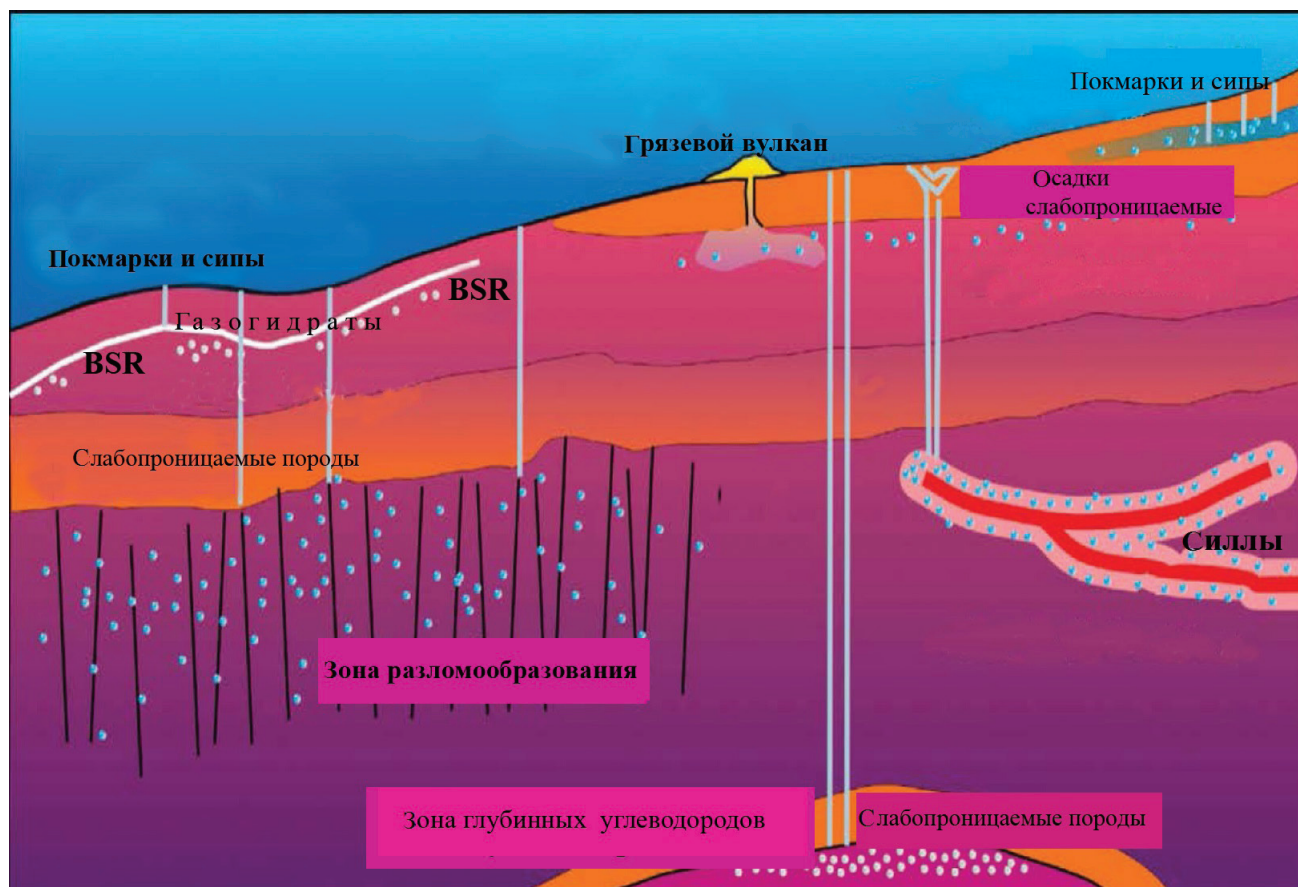


Рис. 5. Схематическая модель формирования газогидратов и других углеводородных флюидных систем в структурах пассивных континентальных окраин, по [4]

Fig. 5. Schematic model of the formation of gas hydrates and other hydrocarbon fluid systems in the structures of passive continental margins, according to [4]

Активность проявления углеводородных флюидов в пределах отдельных структур континентального склона подтверждается наличием сипов, высоких концентраций газов в донных отложениях, участков скоплений газогидратов, покмарков, специфических карбонатных построек, а также аномалий типа “bright spot” на сейсмических временных разрезах.

Участок Шеньху (Южно-Китайское море). Экспериментальные исследования с использованием мобильной прямопоисковой технологии проведены на детально изученном сейсморазведкой и бурением локальном участке Шеньху (северный континентальный склон) в Южно-Китайском море, где в 2017 г. была успешно осуществлена опытная добыча газогидратов. Положение заложённых скважин (8) было определено после выполнения комплексных (включая 3D сейсмику) геологических, геохимических и геофизических исследований. Эти исследования показали гетерогенность распределения скоплений газогидратов в структурах континентальной окраины и многофакторность необходимых условий для их формирования [10, 12, 14–18].

С учетом накопленного ранее опыта поисков и картирования газогидратов в структурах континентальной окраины Антарктического полуострова

вблизи Южных Шетландских островов на начальном этапе обработки материалов ДЗЗ в районе пробуренных скважин, вскрывших газогидраты на участке Шеньху, были определены и уточнены резонансные частоты газогидратов, на которых в дальнейшем и обнаружены и закартированы аномальные зоны типа “залежь газогидратов” (рис. 6).

На исследованной площади, в пределах зон распространения BSR (рис. 6, в), были обнаружены две аномальные зоны типа “залежь газогидратов” — Gas-hydrate-1 и Gas-hydrate-2. В контуры аномалии Gas-hydrate-2 не попадают пробуренные на этом локальном участке скважины.

На следующем этапе исследований по резонансным частотам газа в пределах исследованной площади были обнаружены и закартированы 4 аномальные зоны типа “залежь газа”: Gas-1, Gas-2, Gas-3 и Gas-4 (рис. 6, в). Аномальная зона “Gas-3” выявлена за пределами участка сейсмических исследований. Для аномальных зон оценены интервалы пластового давления, МПа: 1) 19,8–21,0; 2) 21,0–21,5; 3) 21,0–21,5; 4) 21,2–21,5. Дополнительными исследованиями в контуре аномальной зоны “Gas-2” обнаружен и локализован канал вертикальной миграции глубинных флюидов — не-

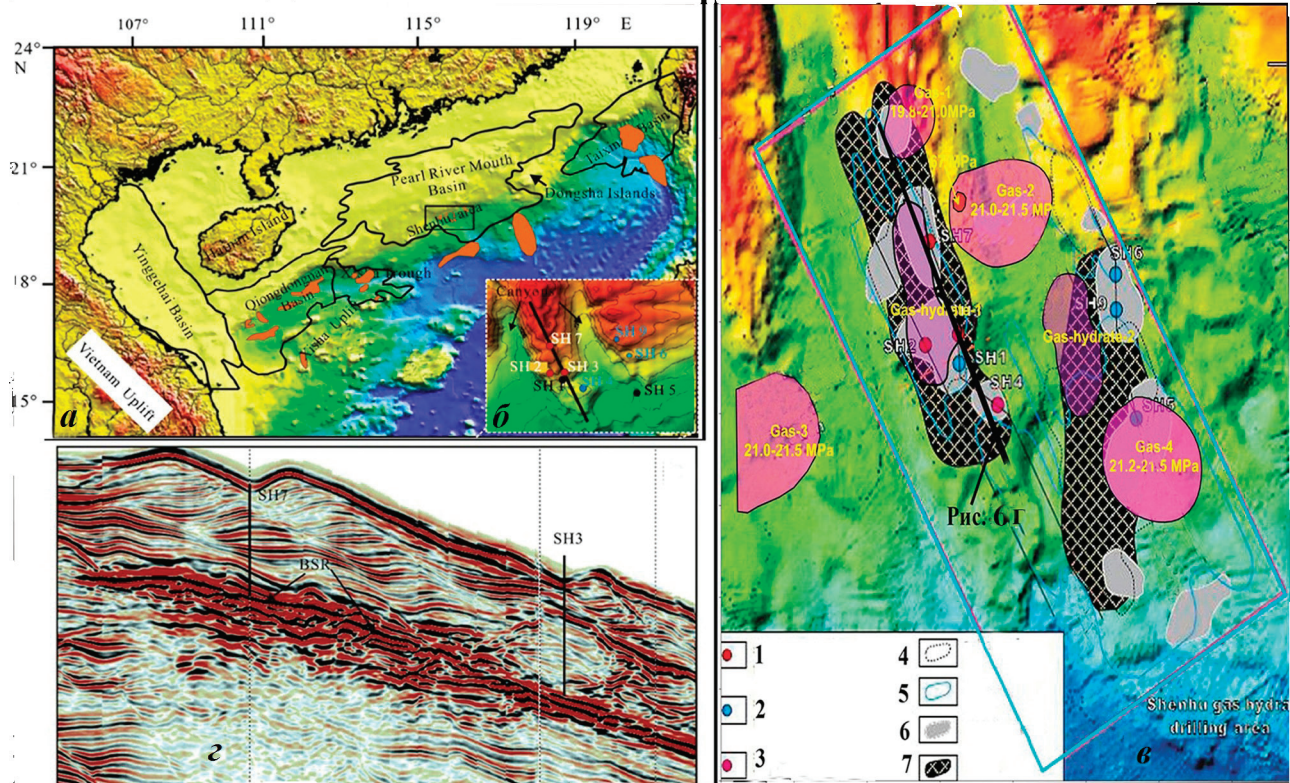


Рис. 6. Результаты детальных сейсмических исследований в северо-западной части Южно-Китайского моря, по [12, 15, 18]: а — положение участка Шеньху; б, в — положение профиля через скважины SH-3 и SH-7; в — положение скважин, зон газогидратности по результатам частотно-резонансной обработки данных ДЗЗ и зоны газогидратов (BSR-зоны) по сейсмическим данным: 1, 3 — скважины с газогидратами; 2 — скважины без газогидратов; 4 — места с интенсивными отражениями в осадочной толще; 5 — участки с отсутствием отражений; 6 — участки выявленных “газовых труб”; 7 — зоны с BSR-отражениями; небольшой участок (красный цвет) в аномальной зоне “Gas-2” — вертикальный канал миграции глубоких флюидов с пластовым давлением 67 МПа

Fig. 6. The position of the Shenhu Area for the detailed seismic surveys conducting (a) and profile through SH-3 and SH-7 wells (b, v) in the northwestern part of the South China Sea, according to [12, 15, 18]. The position of the wells and gas-hydrate zones is shown by the results of frequency-resonance processing of remote sensing data and the gas hydrate zone (BSR-zone) from seismic data are shown on (v). 1, 3 — wells with gas hydrates; 2 — wells without gas hydrates; 4 — places with intensive reflections in sedimentary strata; 5 — areas with no reflections; 6 — sections of identified “gas pipes”; 7 — zones with BSR-reflections. A small area (red color) in the anomalous zone of Gas-2 is a channel of deep fluids vertical migration with reservoir pressure of 67 MPa

большой локальный участок с высоким пластовым давлением — 67 МПа (рис. 6, в).

Как отмечалось ранее, в структурах континентальных окраин грязевые вулканы контролируют наиболее интенсивные глубинные потоки УВ. Значительное количество глиняных диапиров (45) и грязевых вулканов (4) было обнаружено в структурах северной континентальной окраины Южно-Китайского моря в районе участка Шеньху [17].

Детальные сейсмические работы, выполненные на этом участке, и обобщение данных по другим участкам северной континентальной окраины позволили более определенно судить о значении миграционных путей для формирования скоплений газогидратов в регионе, где вертикальные пути миграции флюидов УВ (крупномасштабные разломы, “газовые трубы” и грязевые диапиры) прослежены в разрезах до пород эоцена (позднего миоцена) [17, 18].

Согласно результатам сейсмических исследований в районах бурения продуктивных скважин

(рис. 7—9) “газовые трубы” могли быть основными вертикальными каналами миграции УВ [17, 18].

В контурах аномальных зон “Gas-hydrate-1” и “Gas-hydrate-2” аномальные отклики на резонансных частотах газа и нефти не обнаружены. Это может свидетельствовать о том, что в пределах исследованного участка высокие концентрации газогидратов не всегда имеют прямую связь с локализованными вертикальными сейсмическими “газовыми трубами”, а подток газа может быть связан с системами локальных наклонных (боковых) нарушений и особенностями физических характеристик осадков, вмещающих газогидраты. Такие выводы требуют проведения дополнительных исследований, возможно, в более детальном масштабе, поскольку приведенные разрезы для скважин SH-2 и SH-7 (рис. 7, 8) показывают наличие “газовых труб” непосредственно под скоплениями газогидратов.

Согласно исследованиям, проведенным в Китае, на глубине 30—40 км существуют промежуточные глубинные зоны разуп-

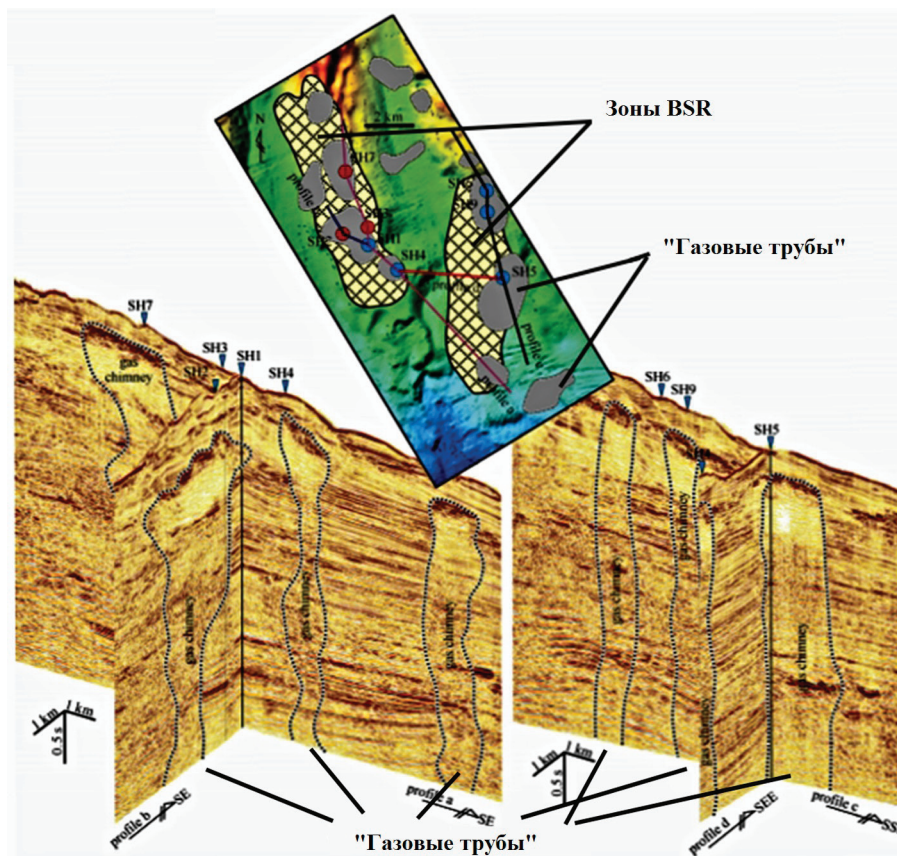


Рис. 7. Схема расположения “газовых труб” в разрезах скважин, пробуренных на участке Шеньху, по [14]. Скважины SH-2, -3, -4, -7 — продуктивные, скважины SH-1, -5, -6, -9 — без газогидратов

Fig. 7. The layout of “gas pipes” location in the cross-sections of wells, drilled in the Shenhu area, according to [14]. Wells SH-2, -3, -4, -7 — productive, wells SH-1, -5, -6, -9 — without gas hydrates

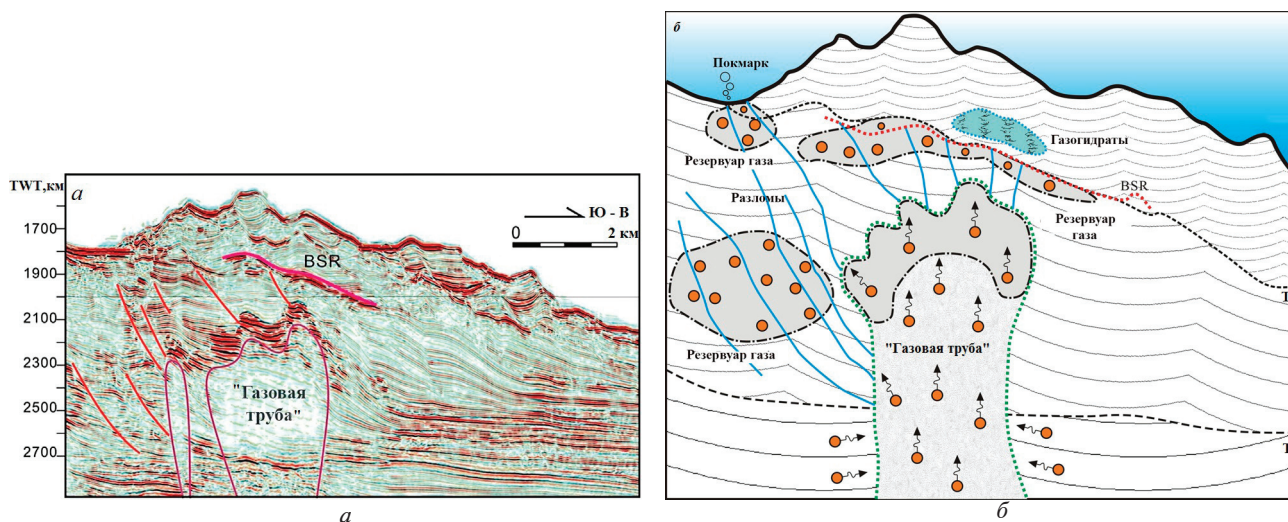


Рис. 8. Положение зоны BSR и “газовой трубы” в сейсмическом разрезе (а) через скважину SH-2, по [18], и результат переинтерпретации этих данных (б), по [17]. T_1 и T_2 — стратиграфические границы в осадочной толще

Fig. 8. The position of the BSR zone and the “gas pipe” in the seismic cross-section (a) through the SH-2 well, according to [18], and also the result of re-interpretation of these data (b), according to [17]. T_1 and T_2 are stratigraphic boundaries in the sedimentary strata

плотнения, которые могут быть региональными источниками поступления глубинных флюидов в верхние горизонты структур земной коры континента и континентальных окраин [1].

Эти результаты могут быть использованы для оценки взаимосвязи между глубинными источни-

ками термогенного метана и мелководными биогенными гидратами, поскольку характер залегания газогидратов, вскрытых в богатой органическим веществом толще на участке Шеньху, свидетельствует об их миграционной природе [10, 15, 18]. Авторы исследований приходят к выводу: хотя геохи-

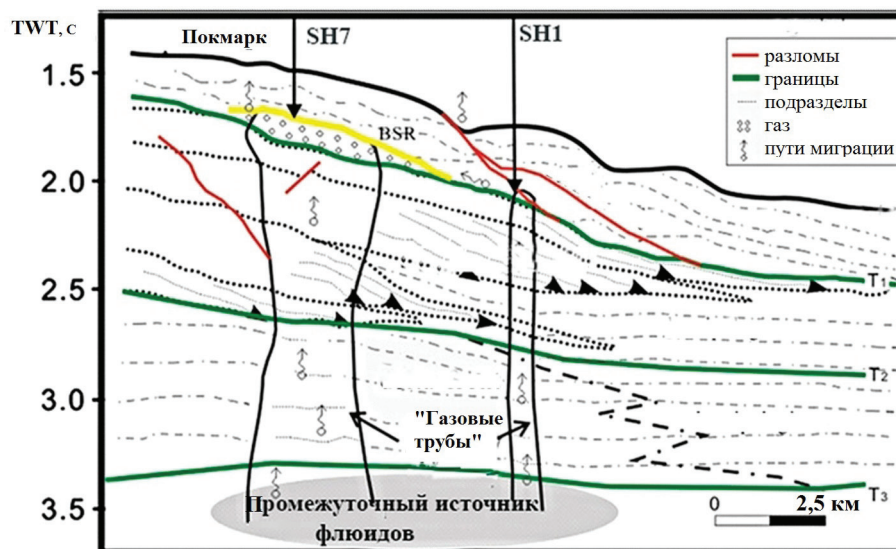


Рис. 9. Положение зоны BSR и “газовой трубы” в сейсмическом разрезе через скважины SH-7 и SH-1 на участке Шеньху. T₁, T₂ и T₃ — стратиграфические границы в осадочной толще, по [13]

Fig. 9. Position of the BSR zone and the “gas pipe” in the seismic cross-section through the SH-7 and SH-1 wells in the Shenhu area. T₁, T₂ and T₃ — stratigraphic boundaries in the sedimentary strata, according to [13]

мические анализы показывают, что метан в районе Шеньху был в основном биогенным (или смешанным), вклад термогенного метана в формирование скоплений газогидратов достаточно велик и требует дополнительного изучения.

Согласно данным статьи [8], формирование скоплений УВ происходит в результате того, что нефть и газ по разлому и его опоярившим трещинам “впрыскиваются” под давлением мантийного очага в любую пористую и проницаемую среду, а при их отсутствии газ не “закачивается” в подгидратные породы даже под большим давлением.

На изученном участке Шеньху косвенно подтверждают предложенный механизм следующие факты: а) наличие в разрезе значительного количества разломов, сипов и “газовых труб”; б) обнаружение канала вертикальной миграции глубинных флюидов (локального участка с пластовым давлением газа 67 МПа); г) существование аномальных зон типа “газ” и “газогидраты”, в которых анализ метана показал его смешанную или термогенную природу.

Полученные нами ранее многочисленные данные о наличии аномальных зон УВ с несколькими интервалами пластовых давлений, а также вертикальных каналов миграции глубинных флюидов можно считать дополнительными аргументами в пользу преобладающего механизма глубинного формирования скоплений широкого спектра УВ, включая газогидраты, на многих изученных участках в структурах континентальных окраин.

Приведенные результаты исследований следует рассматривать как оперативные и предварительные, лишь частично реализующие возможности применяемых технологий. Для получения новых и более достоверных результатов необходимы

дополнительные исследования в более крупном, детализационном, масштабе, сканирование разрезов обнаруженных и закартированных аномальных зон типа “газ” и “газогидраты” для оценки объемов скоплений, пластовых давлений в различных интервалах разреза, а также пористости отдельных пластов — коллекторов УВ. Такие исследования следует выполнить для глубин, значительно превышающих глубину пробуренных скважин, что позволит получить новые данные о возможных промежуточных источниках накопления УВ и путях их поступления в верхние горизонты осадочных структур на отдельных участках северной континентальной окраины Южно-Китайского моря.

Выводы.

1. Показана эффективность новой инновационной технологии комплексирования геоэлектрических и дистанционных геофизических методов для изучения скоплений газогидратов и построения детальных глубинных характеристик разрезов, содержащих АПП типа “залежь газогидратов”. Важной особенностью предложенной технологии является возможность ее использования в качестве независимого индикатора обнаружения скоплений газогидратов на участках со слабовыраженными BSR-границами разного генезиса, а также в местах, где сейсмические работы не выполнялись.

2. Выделены и локализованы контуры аномальных зон типа “газогидраты” в пределах участков распространения BSR-отражений различной амплитуды в структурах шельфа Антарктического полуострова и в районе расположения пробуренных скважин участка Шеньху (Южно-Китайское море).

3. На участке Шеньху выявлены и закартированы 4 аномальные зоны типа “газ”, одна из которых обнаружена за пределами участка проведе-

ния сейсмических работ. Результаты применения частотно-резонансной обработки данных дистанционного зондирования могут быть уточнены после проведения исследований наземными поисковыми геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ.

4. Получены дополнительные аргументы для определения возможного механизма формирования выявленных скоплений УВ как части глобального процесса мезо-кайнозойского накопления УВ, происходящего в пределах континентальных окраин Мирового океана в результате масштабной дегазации Земли [8].

Список библиографических ссылок

1. Богданов Ю.А. Построение модели скорости распространения упругой волны на основании трасс данных геополяритонного зондирования. Актуальные проблемы геосреды и зондирующих систем. Материалы III Международной научной конференции. К., 2017. С. 27—28.
2. Дмитриевский А.Н., Валяев Б.М. Углеводородная дегазация через дно океана: локализованные проявления, масштабы, значимость. Дегазация Земли и генезис углеводородных флюидов и месторождений. М.: ГЕОС, 2002. С. 7—36.
3. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований. *Геофизический журнал*. 2012. Т. 34, № 4. С. 167—176.
4. Макогон Ю.Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2010. № 2 (20). С. 5—21.
5. Berndt C. Focused fluid flow in passive continental margins. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2005. 363(1837). P. 2855-2871.
6. Geletti R., Busetti M. A double bottom simulating reflector in the western Ross Sea, Antarctica. *Journal Geophysical Research*. 2011. Vol. 116. B04101. DOI:10.1029/2010JB007864, 2011.
7. Jin Y.K., Lee M., Kim Y. et al. Gas hydrate volume estimations on the South Shetland continental margin, Antarctic Peninsula. *Antarctic Science*. 2003. Vol. 5, no. 2. pp. 271-282. DOI: 10.1017/S0954102003001275.
8. Kutcherov V.G., Krayushkin V.A. Deep-seated abiogenic origin of petroleum: From geological assessment to physical theory. *Rev. Geophysical*. 2010. Vol. 48. RG 1001. DOI:10.1029/2008RG000270. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008RG000270/pdf> 23.
9. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., Bozhzha D.N. Application of mobile and direct-prospecting technology of remote sensing data frequency-resonance processing for the vertical channels of deep fluids migration detection. *NCGT Journal*. March 2017. Vol. 5, no. 1. pp. 48-91.
10. Liu C.L., Ye Y.G., Meng Q.G. et al. 2012. The characteristics of gas hydrates recovered from Shenhu Area in the South China Sea. *Marine Geology*. 307-310, 22-27. DOI: 10.1016/j.margeo.2012.03.004
11. Loreto M.F., Tinivella U., Accaino F. et al. Offshore Antarctic Peninsula Gas Hydrate Reservoir Characterization by Geophysical Data Analysis. *Energies*. 2011. Vol. 4. pp. 39-56. DOI:10.3390/en4010039.
12. Matsumoto R., Ryu B.J., Lee S.R. et al. Occurrence and exploration of gas hydrate in the marginal seas and continental margin of the Asia and Oceania region. *Marine and Petroleum Geology*. 2011. Vol. 28. pp. 1751-1767. DOI:10.1016/j.marpetgeo.2011.09.009.
13. Soloviev V.D., Levashov S.P., Yakymchuk N.A. et al. The experience of integrated mobile technologies used for deep hydrocarbon accumulation prospecting and geophysical mapping at the Western Antarctic bottom structures. *Geophysical Journal*. 2017. Vol. 39, no. 1, pp. 123-143.
14. Su M., Yang R., Wang H. et al. Gas hydrates distribution in the Shenhu area, northern South China Sea: comparisons between the eight drilling sites with gas hydrate petroleum system. *Geologica Acta*. 2016. Vol. 14, no. 2. pp. 79-100.
15. Sun Y., Wu S., Dong D. et al. Gas hydrates associated with gas chimneys in fine-grained sediments of the northern South China Sea. *Marine Geology*. 2012. Vol. 311—314. pp. 32-39.
16. Sun Q., Wu S., Cartwright J. Shallow gas and focused fluid flow systems in the Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea. *Marine Geology*. 2012. Vol. 315—318. pp. 1-14.
17. Yang R., Su M., Qiao S. Migration of methane associated with gas hydrates of the Shenhu Area, northern slope of South China Sea. *Marine Geophysical Research*. 2015. Vol. 36. P. 253. URL: <https://doi.org/10.1007/s11001-015-9249-9>.
18. Yu X., Wang J., Liang J. et al. Depositional characteristics and accumulation model of gas hydrates in northern South China Sea. *Marine and Petroleum Geology*. 2014. Vol. 56. pp. 74-86.

Поступила в редакцию 06.11.2017 г.

РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРЯМОПОШУКОВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ КАРТУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ГЕНЕЗИСУ ГЛИБИННИХ ГАЗОГІДРАТІВ В ОКРЕМИХ СТРУКТУРАХ КОНТИНЕНТАЛЬНОЇ ОКРАЇНИ СВІТОВОГО ОКЕАНУ

В.Д. Соловійов¹, С.П. Левашов^{2,3}, М.А. Якимчук^{2,3}, І.М. Корчагін¹, Д.М. Божжежа²

¹Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, просп. Акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна, e-mail: korchagin.i.n@gmail.com

²Інститут прикладних проблем екології, геофізики і геохімії, пров. Лабораторний, 1, м. Київ, 01133, Україна

³Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю ІГН НАН України, пров. Лабораторний, 1, Київ, 01133, Україна

Проаналізовано результати застосування частотно-резонансної технології обробки даних дистанційного зондування Землі для виявлення скупчень вуглеводнів (газогідратів, газу) в межах локальних ділянок структур континентальних окраїн Антарктичного півострова (Західна Антарктика) і північної континентальної окраїни у Південнокитайському морі. Виявлено і локалізовано контури аномальних зон типу “газогідрати” у межах ділянок поширення BSR-зон різної амплітуди в структурах шельфу Антарктичного півострова і в районі розташування пробурених свердловин ділянки Шеньху (Південнокитайське море). На ділянці Шеньху виявлено чотири аномальні зони типу “газ”, одна з яких розміщується за межами проведення сейсмічних робіт. Результати застосування частотно-резонансної обробки даних дистанційного зондування можуть бути уточнені після проведення досліджень наземними прямопошуковими геоелектричними методами СКІП і ВЕРЗ. Отримано додаткові аргументи для визначення можливого механізму формування виявлених скупчень вуглеводнів як частини глобального процесу мезо-кайнозойського накопичення вуглеводнів, що відбувається в межах континентальних окраїн Світового океану в результаті масштабної дегазації Землі.

Ключові слова: частотно-резонансна обробка супутникових знімків, аномалія типу “поклад”, “газогідрати”, “газові труби”, континентальні окраїни, Західна Антарктика, Південнокитайське море.

RESULTS OF DIRECT-PROSPECTING TECHNOLOGY APPLICATION FOR MAPPING AND THE DEPTH GAS HYDRATES GENESIS DEFINITION IN SELECTED STRUCTURES OF THE CONTINENTAL MARGINS OF THE WORLD OCEAN

V.D. Soloviev¹, S.P. Levashov^{2,3}, N.A. Yakymchuk^{2,3}, I.N. Korchagin¹, D.N. Bozhezha²

¹Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, 32, Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine, e-mail: korchagin.i.n@gmail.com

²Institute of Applied Problems of Ecology, Geophysics and Geochemistry, 1, Laboratory Lane, Kyiv, 01133, Ukraine

³Management and Marketing Center of the Institute of Geological Science, NAS of Ukraine, 1, Laboratory Lane, Kyiv, 01133, Ukraine

Purpose. The study aims to apply frequency resonance technology of RS data processing for detecting hydrocarbon accumulations (gas hydrates, gas) within the local areas of the structures of the Antarctic Peninsula continental margins (Western Antarctica) and the northern continental margin in the South China Sea; to improve the methodology of prospecting for hydrocarbons in offshore.

Design/methodology/approach. Mobile direct-prospecting technology includes frequency-resonance method of remote sensing data (satellite images) processing and interpretation and ground-based geoelectric methods of forming a short-pulsed electromagnetic field (FSPEF (SKIP)), and vertical electric-resonance sounding (VERS). Separate methods of technology can be used at various stages of prospecting - reconnaissance (assessment of oil and gas prospects of large search blocks), detailed (evaluation of predicted oil and gas resources within individual, local anomalous zones), field (ground-based surveys by the SKIP and VERS methods with the aim of clarifying the projected hydrocarbon resources and the optimal locations selection for prospecting and exploratory wells).

Findings. As a result of the experimental studies, the anomalous zones of the “gas hydrate” type in the areas of BSR-reflections distribution have been localized. At the Shenhu area, four anomalous zones of the “gas” type were identified. The results of frequency-resonance processing application of remote sensing data can be refined after the researches by field geoelectric methods of forming a short-pulsed electromagnetic field (FSPEF) and vertical electric-resonance sounding (VERS).

Practical value /implications. Additional arguments have been obtained to determine the possible mechanism for the formation of identified hydrocarbon accumulations as part of the global process of meso-Cenozoic accumulation of hydrocarbons occurring within the continental margins of the World Ocean as a result of a large-scale degassing of the Earth. Mobile and direct-prospecting technology (frequency-resonance method of satellite images processing and geoelectrical methods of SKIP and VERS), in combination with traditional geophysical methods (seismic, in the first place), can be used to search for hydrocarbons accumulations (oil, gas, gas hydrates) in offshore.

Keywords: frequency-resonance processing of satellite images, anomaly of the reservoir type, gas hydrates, gas “pipes”, continental margins, Western Antarctica, South China Sea

References:

1. Bogdanov Yu.A. Modeling of the velocity of elastic wave propagation on the basis of geopolariton sounding data traces. Actual problems of geo-environment and sounding systems. Materials of the III International Scientific Conference. Kiev, 2017. pp. 27-28. [in Russian].
2. Dmitrievsky A.N., Valyaev B.M. Hydrocarbon degassing through the ocean floor: localized manifestations, scale, significance. Degassing of the Earth and the genesis of hydrocarbon fluids and deposits. Moscow: GEOS, 2002. pp. 7-36. [in Russian].
3. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. Frequency-resonance principle, mobile geoelectric technology: new paradigm of geophysical investigations. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2012, vol. 34, no. 4, pp. 166-176 [in Russian].
4. Makogon Yu.F. Gas hydrates. History of study and prospects for development. *Geology and minerals of the World Ocean*. 2010, 2 (20). pp. 5-21. [in Russian].
5. Berndt C. Focused fluid flow in passive continental margins. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2005, 363(1837), pp. 2855-2871.
6. Geletti R., Busetti M. A double bottom simulating reflector in the western Ross Sea, Antarctica. *Journ Geoph Res.* 2011. 116.-B04101. doi:10.1029/ 2010JB007864, 2011
7. Jin Y.K., Lee M., Kim Y. et al. Gas hydrate volume estimations on the South Shetland continental margin, Antarctic Peninsula. *Antarctic Science*. 2003. 15, 2. pp. 271-282. DOI: 10.1017/S0954102003001275
8. Kutcherov, V. G., Krayushkin V.A. Deep-seated abiogenic origin of petroleum: From geological assessment to physical theory. *Rev. Geophys.*, 2010, 48, RG 1001, doi:10.1029/2008RG000270. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008RG000270/pdf> 23]
9. Levashov, S.P. Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., and Bozhezha D.N. Application of mobile and direct-prospecting technology of remote sensing data frequency-resonance processing for the vertical channels of deep fluids migration detection. *NCGT Journal*, vol. 5, no. 1, March 2017, pp. 48-91.
10. Liu, C.L., Ye, Y.G., Meng, Q.G., et al., 2012. The characteristics of gas hydrates recovered from Shenhu Area in the South China Sea. *Marine Geology*, 307-310, 22-27. DOI: [10.1016/j.margeo.2012.03.004].
11. Loreto M.F., Tinivella U., Accaino F. et al. Offshore Antarctic Peninsula Gas Hydrate Reservoir Characterization by Geophysical Data Analysis. *Energies*. 2011, 4, 39-56. DOI: [10.3390/en4010039].
12. Matsumoto R., Ryu B.J., Lee S.R., et al. Occurrence and exploration of gas hydrate in the marginal seas and continental margin of the Asia and Oceania region. *Marine and Petroleum Geology*, 28 (2011), 1751-1767. DOI: [10.1016/j.marpetgeo.2011.09.009].
13. Soloviev V.D., Levashov S.P., Yakymchuk N.A. et al. The experience of integrated mobile technologies used for deep hydrocarbon accumulation prospecting and geophysical mapping at the Western Antarctic bottom structures. *Geophysical Journal*, 2017, 39, 1, 123-143. (in Russian)
14. Su M., Yang R., Wang H. et al. Gas hydrates distribution in the Shenhu area, northern South China Sea: comparisons between the eight drilling sites with gas hydrate petroleum system. *Geologica Acta*, vol. 14, N 2, 2016, 79-100.
15. Sun Y., Wu S., Dong D. et al. Gas hydrates associated with gas chimneys in fine-grained sediments of the northern South China Sea. *Marine Geology*, 2012, 311-314, pp. 32-39.
16. Sun Q., Wu S., Cartwright J. Shallow gas and focused fluid flow systems in the Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea. *Marine Geology*, 2012, 315-318, pp. 1-14.
17. Yang R., Su M., Qiao S. Migration of methane associated with gas hydrates of the Shenhu Area, northern slope of South China Sea. *Mar. Geophys. Res.* (2015) 36: 253. <https://doi.org/10.1007/s11001-015-9249-9>.
18. Yu X., Wang J., Liang J. et al. Depositional characteristics and accumulation model of gas hydrates in northern South China Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 2014, 56, pp. 74-86.

Received 16/11/2017