

С.П. Левашов^{1,2}, Н.А. Якимчук^{1,2}, И.Н. Корчагин³, Ю.М. Пищаный¹,
В.Г. Бахмутов³, В.Д. Соловьев³, Д.Н. Божежа²

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
СКОПЛЕНИЙ ГАЗОГИДРАТОВ В СТРУКТУРАХ ДНА ЗАПАДНОЙ АНТАРКТИКИ
(ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЕЗОННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ
17-й УКРАИНСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ, 2012 г.)

Представлены результаты геоэлектрических и дистанционных исследований скоплений газогидратов в районе Антарктического полуострова, полученные во время сезонных работ 17-й Украинской антарктической экспедиции (март 2012 г.). В районе станции “Академик Вернадский” впервые обнаружены три аномальные зоны типа “залежь газогидратов”. Определены параметры двух аномально поляризованных пластов газогидратов мощностью от 100 до 500 м, залегающих на материковом склоне Южных Шетландских островов. Показано, что возможные запасы газогидратов в районе островов значительно (на 25–30 %) превышают подсчитанные ранее. Это позволяет относить изученный участок к одному из перспективных скоплений газогидратов в Антарктике.

Ключевые слова: Западная Антарктика, газогидраты, дистанционные исследования, геоэлектрические методы.

Введение. Геолого-геофизические исследования районов континентальной окраины Антарктического полуострова, перспективных с точки зрения формирования важнейших видов полезных ископаемых, являются одним из основных направлений деятельности Национального научного антарктического центра (НАНЦ) Украины в рамках Государственной программы исследований Украины в Антарктике на 2011–2020 гг. Такие исследования выполняются в период сезонных антарктических экспедиций Украины с использованием новейших разработок и технологий, прошедших проверку в различных регионах Украины и мира [4–10, 14, 19].

При проведении сезонных работ прошлых лет (2004, 2006) был выполнен значительный объем геолого-геофизических исследований в Западной Антарктике, в том числе геоэлектрическими методами становления короткоимпульсного поля (СКИП), флюксометрической съемки (ФС) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ). В этих экспедициях была отработана методика проведения геоэлектрических измерений с использованием технологии СКИП–ВЭРЗ в акваториях морей и океанов, а также определены основные принципы их геологической интерпретации. Результаты этих, во многом пионерных исследований подробно рассмотрены в публикациях [6, 14, 19].

Краткие сведения о методике исследований. Используемые в работе геоэлектрические методы базируются на изучении геоэлектрических параметров среды в импульсных неуставившихся геоэлектрических полях, а также исследовании

распределения квазистационарного электрического поля Земли и его спектральных характеристик над залежами углеводородов (УВ) и другими изучаемыми объектами [4–6, 8 и др.]. Экспресс-технология “прямых” поисков и разведки залежей УВ включает методы СКИП, ВЭРЗ и ФС.

Методом СКИП регистрируется процесс становления поля короткого, не более 10 мкс, электрического импульса в малогабаритных дипольных ферритовых антеннах. Над зонами пониженной и повышенной электропроводности пород временные интервалы становления сигналов разной полярности различаются. Поэтому выделение областей, различающихся по временным интервалам становления поля для сигналов разной полярности, дает возможность определять зоны повышенной и пониженной проводимости пород. На участках пониженной проводимости на поверхности раздела земля–воздух отмечается понижение напряженности этого поля, в то время как в зонах повышенной проводимости напряженность поля растет. Следовательно, вдоль поверхности раздела земля – воздух существуют зоны повышенной и пониженной плотности зарядов разных знаков, которые несут соответствующую информацию о геоэлектрических свойствах среды. Съемка этим методом позволяет картировать положительные геоэлектрические аномалии типа “залежь” (АТЗ), характерные для месторождений УВ. Имеющийся на сегодня опыт проведения съемок на известных месторождениях показал, что во всех случаях над ними фиксировалась АТЗ.

В основе метода ВЭРЗ лежит эффект поляризации геоэлектрических неоднородностей раз-

реза в естественном квазиустановившемся электрическом поле Земли E_z . На границах стратиграфических неоднородностей разреза, которые характеризуются аномальными значениями геоэлектрических параметров среды, в электрическом поле Земли формируются зоны поляризации, образующие систему электрических диполей с аналогичной зоной поляризации на границе земля–воздух. На земной поверхности наблюдается суммарное электромагнитное поле, вызванное изменениями естественного электрического потенциала. Это поле можно представить в виде волнового пакета электромагнитных колебаний, в котором половина длины каждой волны пакета отвечает глубине залегания отдельной поляризуемой поверхности. Идентификация (выделение из пакета) и изучение отдельных электромагнитных колебаний дают возможность оценить интервалы глубин залегания аномальных геоэлектрических объектов. На земной поверхности идентификацию и регистрацию отдельных волн пакета, а также определение их характеристик можно осуществлять с помощью подбора резонансной частоты генератора электромагнитных колебаний. Методом ВЭРЗ в точках зондирования выделяются аномально поляризованные пласты (АПП) типа “нефтяной пласт”, “газовый пласт”, “залежь газогидратов” и др., а также устанавливаются глубины их залегания и мощности. Совместное использование методов СКИП и ВЭРЗ позволяет выявлять АТЗ, а также оценивать мощность и глубины залегания АПП.

Для повышения оперативности, расширения возможностей и достоверности решения конкретных поисковых задач разработана новая методика комплексирования методов СКИП и ВЭРЗ с нетрадиционным для классической геофизики методом частотно-резонансной обработки и интерпретации (дешифрирования) данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [7, 9, 10, 14 и др.], который уже прошел практическую апробацию на более чем 100 отдельных поисковых объектах, участках и площадях. Проведенные опытные работы показали, что выявленные и закартированные методом частотно-резонансной обработки спутниковых данных аномальные зоны типа “залежь УВ” достаточно уверенно коррелируются с геоэлектрическими аномальными зонами, закартированными съемкой методом СКИП.

В настоящей статье представлены результаты применения в сезонных работах 17-й Украинской антарктической экспедиции (УАЭ) предложенного комплекса методов для выявления и картирования скоплений газогидратов в структурах континентальной окраины Антарктического полуострова (рис. 1).

При проведении этих исследований планировалось оценить эффективность комплексирования

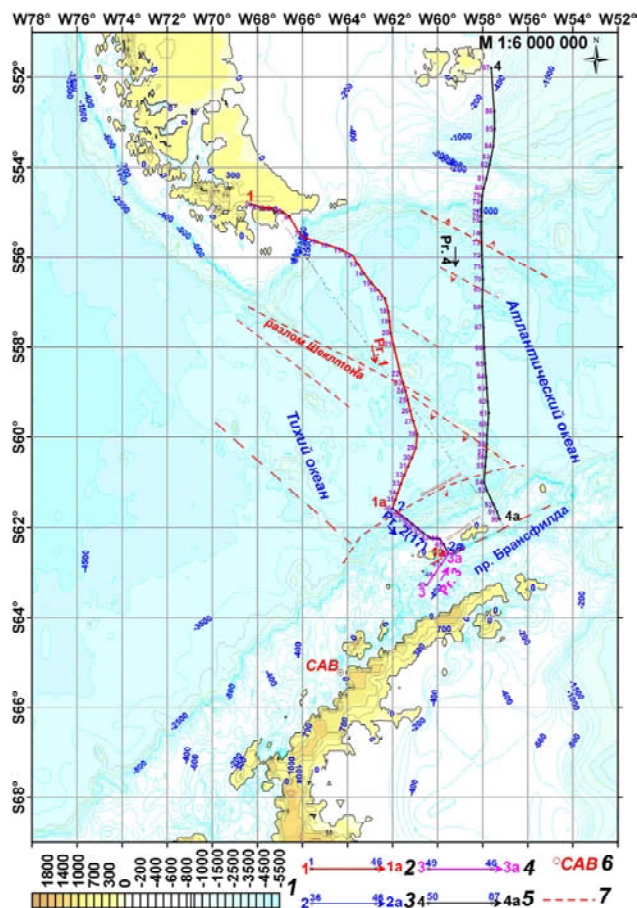


Рис. 1. Расположение профилей вертикального электрорезонансного зондирования в районе пролива Дрейка, Южных Шетландских и Фолклендских островов: 1 – шкала глубин и высот, м; 2–5 – профили зондирования по ходу судна; 6 – украинская антарктическая станция “Академик Вернадский”; 7 – тектонические нарушения

технологии обработки спутниковых данных с результатами морских геоэлектрических работ для построения детальных глубинных характеристик разрезов, содержащих АПП, что дает возможность реализовать принципиально новый подход к интерпретации геофизических данных, основанный на “вещественной” парадигме проводимых геолого-геофизических работ на важнейшие виды полезных ископаемых [7–10 и др.].

Краткие сведения о скоплениях природных газогидратов. В последние годы многие страны приняли национальные программы по изучению и освоению газогидратных месторождений. Ученые Канады, Великобритании, США, Германии, Норвегии, Японии, Индии, Китая, России и Украины ведут активные исследования в области разведки и разработки безопасных методов промышленного извлечения газа из гидратов, хотя пока общепринятых и экологически безопасных промышленных технологий не существует [1–3, 11–19].

Крупные скопления газогидратов обнаружены в пределах структур континентальных окраин, различающихся глубиной дна, тектоническим по-

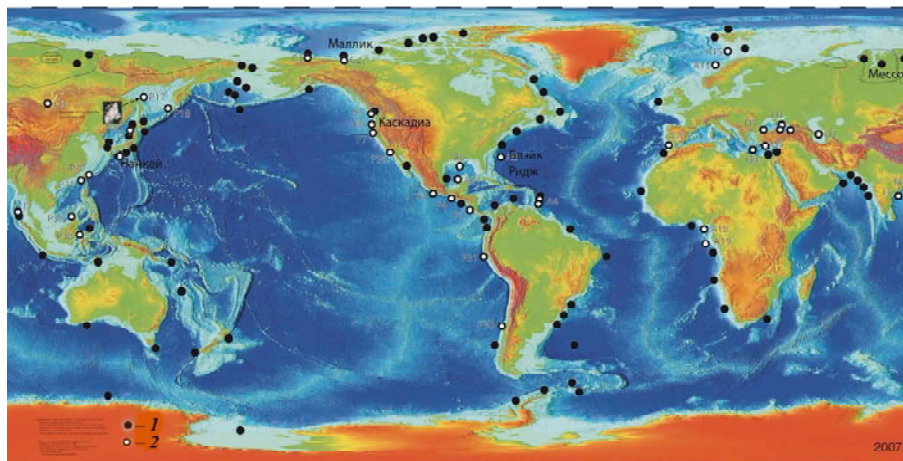


Рис. 2. Схема размещения крупных скоплений и месторождений газогидратов мира, по [17]: 1 – скопления газогидратов, по комплексу геолого-геофизических признаков (BSR-зоны, разрезы скважин); 2 – места извлечения газогидратов

ложением, геодинамическими характеристиками, мощностью осадков и скоростью седиментации. В настоящее время обнаружено более 230 скоплений газогидратов в придонной части осадочной толщи морского дна в различных районах Мирового океана [1, 3, 11–19], в Карибском, Черном, Каспийском, Охотском, Норвежском, Аравийском, Южно-Китайском, Японском и других морях (рис. 2).

К фактически достоверным можно отнести только несколько крупных месторождений, наиболее известное из которых расположено в зоне хребта Блейк (Блейк-Ридж) у юго-восточного побережья США (рис. 2), где в виде единого протяженного поля может содержаться до 60 трлн м³ метана: 65,6 % – метан; 34,4 % – подгидратный газ [13, 15]. Если такое процентное соотношение справедливо для зоны гидратообразования (ЗГО) других месторождений мира, то суммарные запасы метана в донных отложениях Мирового океана и в вечной мерзлоте могут превысить прогнозируемые запасы природного газа известных месторождений мира. Запасы газогидратов в мире составляют не менее $16 \cdot 10^{12}$ м³, при этом около 98 % общих запасов приходится на Мировой океан, а остальные 2 % (около 300 трлн м³) – на приполярные районы материков [3, 13]. Исследования показывают, что скопления газогидратов формируются преимущественно за счет газов глубинного происхождения, а сам процесс имеет дискретный характер и миграционную природу. Предполагается, что существует несколько типов скоплений природных гидратов, сформировавшихся в результате разгрузки флюидов как вблизи дна (или на самом дне), так и значительно ниже поверхности дна, более глубинных [12, 13]. Природные газогидраты сохраняют стабильность в режиме сочетания низкой температуры и высокого давления, которые реализуются в осадочных толщах континентальных окраин Мирового океана. Процессы образования газогидратов оп-

ределяются не только соответствующими термобарическими параметрами, но и наличием путей для миграции достаточного количества газа и воды, химическим составом газов, соленостью вод, наличием коллекторов и покрышек. Для скоплений газогидратов характерны глубины от 0,4 км ниже уровня дна, подошва ЗГО расположена ниже этого уровня на 100–1100 м [1, 3, 11–13, 15]. Косвенно наличие такой гидратной зоны в разрезе достаточно уверенно картируется по данным МОВ–ОГТ, которые определяют положение подошвы ЗГО – сейсмической отражающей границы BSR (Bottom Simulating Reflector), субпараллельной рельефу дна. Ее существование определяется инверсией скоростей на разделе газогидраты – подгидратный газ, где в верхнем слое осадков с газогидратами сейсмическая скорость повышается, а в слое с подгидратным газом резко падает. Перепад скоростей может составить более 300–400 м/с, достигая 1500 м/с в кровле ЗГО [3, 11–13, 15, 18], поскольку амплитуда отражений BSR-зон в значительной мере зависит от степени заполнения осадков газогидратами над границей и газом ниже ее. На глубине 120–200 м обычно наблюдается еще одна граница, которая может быть связана с нижней границей (подошвой) зоны свободного газа [12, 13].

При сейсмических исследованиях эффективность поисков и картирования BSR-зон часто ограничена разрешающей способностью применяемой сейсмической аппаратуры. Дополнительные сложности интерпретации сейсмических данных возникают в районах активных многофазных тектонических преобразований структур, подвергшихся воздействию глубинных флюидов [12, 18]. Зависимость процесса формирования BSR-границы от многих факторов приводит к тому, что на многих континентальных окраинах выявленные скопления газогидратов не имеют четко выраженного раздела на подошве ЗГО [3, 11–13].

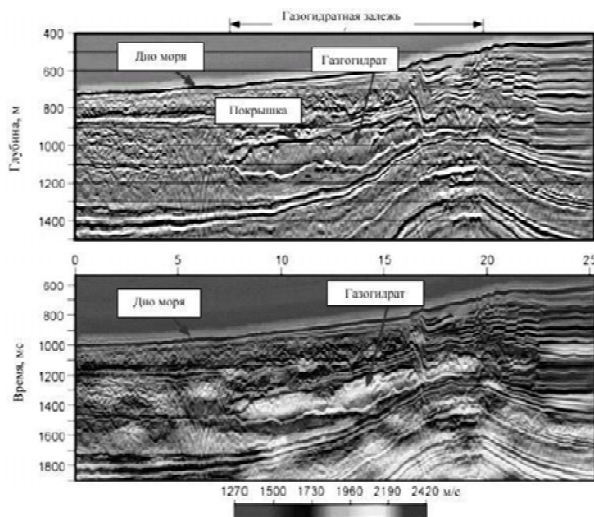


Рис. 3. Пример обнаружения залежи газогидратов по результатам сейсмических (3D сеймика) исследований, по [11]

Следует также отметить, что сам факт обнаружения BSR-границы не дает однозначного ответа на вопрос о степени гидратонасыщения вышележащих осадочных пород и о наличии значительных скоплений газогидратов в этой зоне, а свидетельствует прежде всего о возможной перспективности района на газогидраты [11–13]. При выполнении сейсмических работ высокого разрешения (3D сеймика) удастся определить положение в разрезе и мощность гидратонасыщенных пород (рис. 3), а также концентрацию гидрата во вмещающих породах, что дает возможность оценить ресурсы газа в залежи [11].

Использование геоэлектрических и дистанционных методов для обнаружения и изучения скоплений природных газогидратов в различных регионах. Длительное и многоэтапное формирование структур материковой окраины Антарктического полуострова в условиях региональной тектонической активизации могло способствовать образованию в этом районе многих видов полезных ископаемых, в том числе скоплений газогидратов. В настоящее время скопления газогидратов по косвенным признакам выявлены в четырех районах антарктической окраины (море Росса, море Дюрвиля, море Уэдделла, пролив Дрейка), наиболее крупными и изученными из которых являются скопления газогидратов вблизи Южных Шетландских островов в проливе Дрейка. Площадь этих потенциально газогидратоносных участков побережья Антарктиды составляет около 1/5 части общей площади всех участков Мирового океана, перспективных на газогидраты [1, 12, 13, 17].

При проведении геоэлектрических исследований методом ВЭРЗ в пределах ранее закартированных спутниковых аномалий типа “залежь га-

зогидратов” удастся получить независимые данные для определения параметров аномального пласта и его положения в разрезе, поскольку объектом поиска является определенное вещество (в данном случае газогидраты), а не сопутствующие аномалии и признаки (BSR-границы).

Мессояхское месторождение (Западная Сибирь, Россия). Для проверки правильности определения параметров обработки спутниковых данных с целью выделения аномальных зон типа “залежь газогидратов” была проведена обработка материалов зондирования со спутников района расположения Мессояхского месторождения газогидратов и газа, где за последние (до 2004 г.) годы добыто более 12 млрд м³ газа, при этом доля гидратного газа составила 53,5, а свободного (подгидратного) 46,5 % [2, 3, 12, 15]. Выполненные оценки запасов газогидратов в зонах многолетней мерзлоты (криолитозоне) показали, что они почти на 2 порядка меньше, чем в морях и океанах. Более того, наличие значительных запасов природных газогидратов на Мессояхском месторождении, длительное время считавшимся единственным в мире примером, где добыча газа осуществлялась из природных гидратов, до сих пор окончательно не доказано [2].

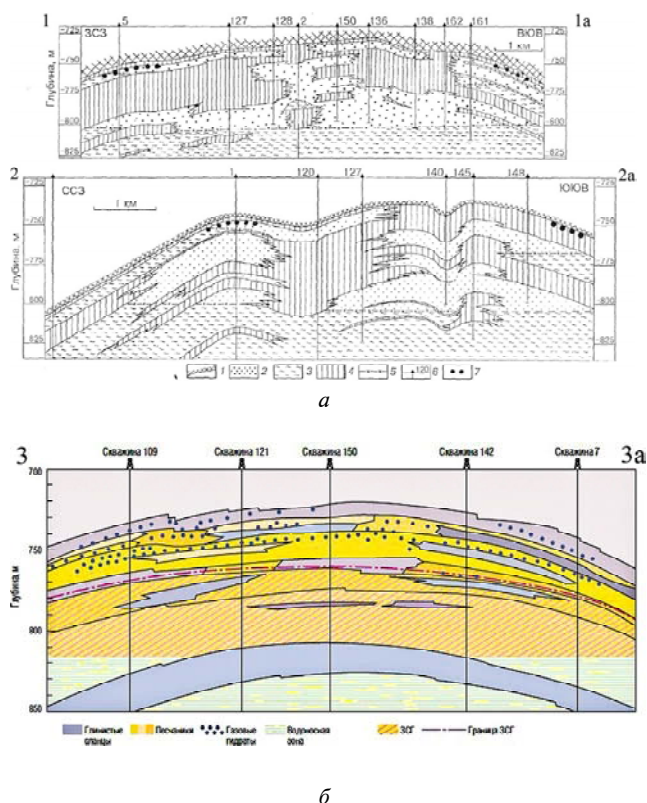


Рис. 4. Схематические разрезы сеноманской (долганская свита) продуктивной толщи Мессояхского месторождения вдоль профилей 1–1а, 2–2а (а) и 3–3а (б), по [2, 3]: 1 – туронская покрывка; 2 – газоносный коллектор; 3 – водоносный коллектор; 4 – переслаивающиеся породы-коллекторы; 5 – контакт газ–вода; 6 – скважина и ее номер; 7 – предполагаемая газогидратоносная зона. Схематизированное положение профилей 1–1а, 2–2а и 3–3а показано на рис. 5

Залежи природных газогидратов на указанном месторождении [2, 3, 12] установлены в сводовой ловушке сеноманской терригенной продуктивной толщи (долганская свита) на глубине 800–900 м (рис. 4). Существует несколько гипотез о строении долганской залежи:

- 1) залежь долганской свиты чисто газовая, подстилается подошвенной водой;
- 2) в кровле находятся залежи газогидратов, а в подошве газовая часть залежи подстилается водой;
- 3) газовая залежь пласта имеет маломощную оторочку тяжелой нефти;
- 4) в кровле залежи находятся отложения гидратов, а подошвенная часть имеет нефтяную оторочку.

Считается, что для подтверждения или опровержения наличия гидратов в газовой залежи и нефтяной оторочки необходим комплекс дополнительных исследований, включающий бурение и отбор керн из предположительно гидратонасыщенной части и дополнительные исследования по выявлению нефтяной оторочки [2].

Описание Мессояхского месторождения приведено не только с целью получения надежного эталона для выделения аномалии типа “залежь газогидратов” по данным метода частотно-резонансной обработки данных ДЗЗ, но и для возможного подтверждения одной из гипотез строения терригенной толщи осадков, содержащей скопления газогидратов (рис. 4, б).

Результаты обработки спутниковых данных для четырех известных месторождений УВ этого района представлены на рис. 5. Аномальные зоны типа “залежь газогидратов” обнаружены только в пределах двух месторождений УВ – Мессояхском и Южно-Соленинском. Отметим, что в южной части района обследования при обработке спутниковых данных обнаружены и закартированы аномальные зоны типа “залежь газогидратов” (Мессояхское месторождение) и “залежь газа” (Южно- и Северо-Соленинское месторождения), а в северной части – аномальные зоны типа “залежь газа” и “залежь нефти” (Пеляткинское месторождение). Кроме этих аномальных зон, пространственно совпадающих с известными и в основном выработанными месторождениями, в северо-восточной части района выявлена еще одна небольшая аномальная зона типа “залежь газа” (рис. 5). По интенсивности аномальных откликов можно судить о вероятном распределении относительного пластового давления в пределах выявленных месторождений. Согласно данным о распределении спутниковых аномалий, в рассматриваемом районе сохраняются перспективы продолжения добычи газа в известных месторождениях и вновь выявленных участках. Эти результаты

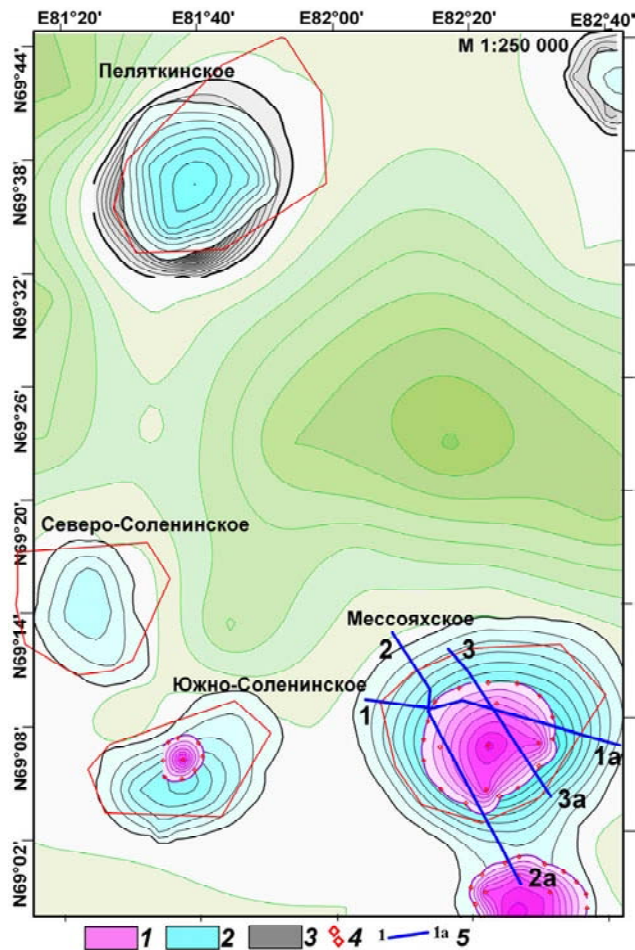


Рис. 5. Карта зон скопления углеводородов, построенная по результатам обработки и интерпретации данных ДЗЗ в районе Мессояхского газогидратного месторождения: 1 – зона газогидратных отложений; 2 – зона газовых залежей; 3 – зона залежей нефти; 4 – пункты регистрации аномальных откликов от газогидратной залежи; 5 – профиль через месторождение

принципиально согласуются с предложенными схемами строения долганской свиты по данным бурения (рис. 4, б), поскольку особенности разрезов объясняются расположением скважин и их удаленностью от центральной зоны месторождения, где, по данным частотно-резонансного метода обработки и интерпретации данных ДЗЗ, вероятность обнаружения скоплений газогидратов наиболее высокая. Вместе с тем природа скоплений газогидратов остается неопределенной. Можно также предполагать, что спутниковые данные косвенно подтверждают гипотезу о том, что в кровле находятся скопления газогидратов, а нефтяная оторочка в подошвенной части долганской свиты отсутствует [2, 12].

Месторождения Мексиканского залива. В Мексиканском заливе, в рамках 2-летней (2009–2010) программы исследований, были обнаружены многочисленные скопления газогидратов и планируется их промышленная добыча. Запасы газогидратного газа в Мексиканском заливе могут достигать 600 трлн м³, однако слишком высокие

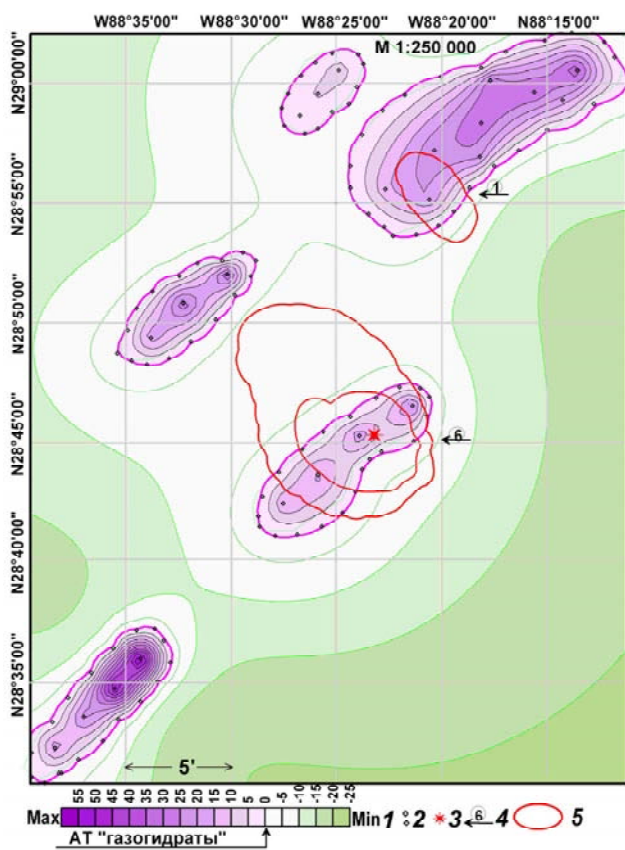
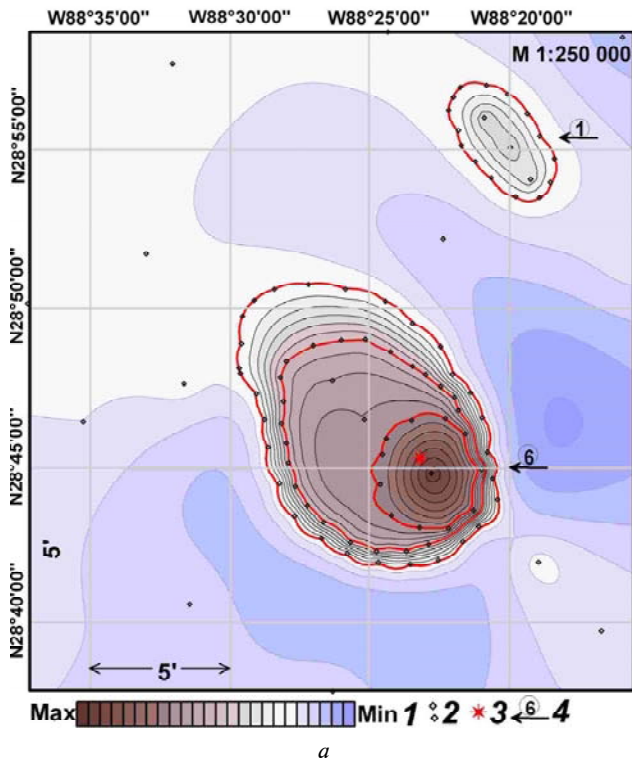


Рис. 6. Карты аномалий типа “нефтяная залежь” (а) и “газогидратные отложения” (б) в районе аварийной скважины “Deerwater Horizon” в Мексиканском заливе, построенные по результатам обработки данных ДЗЗ: 1 – шкалы относительных значений пластового давления (а) и интенсивности значений аномального отклика (б); 2 – точки регистрации аномального отклика; 3 – положение скважины; 4 – относительная величина пластового давления в аномальной зоне; 5 – контур аномальной зоны типа “нефтяная залежь”

затраты и риски, связанные с их разработкой, являются причинами переноса сроков будущего освоения этих ресурсов [15].

Приведем пример изучения перспектив нефтегазоносности и возможного учета рисков нефтедобычи [19] для одного из локальных участков Мексиканского залива (рис. 6).

Считается, что даже небольшие подвижки пород в районе скопления газогидратов могут привести к быстрой фазовой трансформации водно-метановой смеси и образованию газового пузыря. Именно такое высвобождение большого количества газа, по мнению ряда экспертов, в прошлом привело к разрушению добывающих платформ в Каспийском море.

На исследуемой площади располагалась буровая платформа “Deerwater Horizon”, где весной 2010 г. произошла авария с выбросом в море около 5 млн баррелей нефти, что дает основание отнести ее к крупнейшим экологическим катастрофам нашего времени. По одной из версий специалистов-нефтяников, причиной гибели платформы “Deerwater Horizon” также стал взрыв гигантского пузыря метана. Рассмотрение результатов обработки спутниковых данных показало (рис. 6, б), что непосредственно в районе расположения буровой платформы закартированы аномалии типа “нефтяная залежь” с высоким уровнем пластового давления и “газогидратные отложения” с высокой интенсивностью аномального отклика (рис. 6, б). Такое сочетание аномальных зон значительно повышает технологические риски при выполнении буровых работ в этом месте.

Скопления газогидратов вблизи о-ва Анверс (континентальная окраина Антарктического полуострова). При проведении сезонных работ 17-й УАЭ была выполнена геоэлектрическая съемка в режиме “поиск газогидратных аномалий” вдоль двух профилей (рис. 7, 8) вблизи о-ва Анверс (район УАС “Академик Вернадский”).

Выявленные восточнее острова аномальные зоны типа “залежь газогидратов” (Gh-1, Gh-2) были изучены методом ВЭРЗ, что позволило определить параметры этих скоплений (рис. 8). Залежь газогидратов Gh-1 сформирована на глубине 1000–1040 м в виде пласта переменной (от 4 до 20 м) мощности. Его длина достигает 4,5 км. Залежь газогидратов Gh-2 сформирована на глубине 1000–1040 м в виде пласта переменной (от 4 до 20 м) мощности и длиной более 4 км. Обе аномальные зоны обнаружены в проливе, где глубина дна не превышает 200 м. Авторам неизвестны какие-либо данные о находках газогидратов или их поисках в этом районе. Еще одна аномальная зона типа “залежь газогидратов” выделена по данным ДЗЗ северо-восточнее аномалии Gh-2. По размерам эта аномалия подобна аномалии Gh-2. Работы

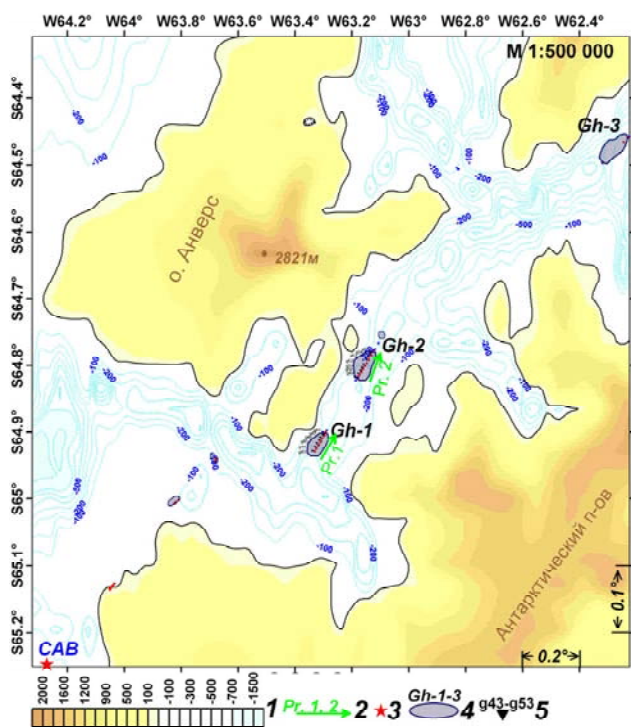
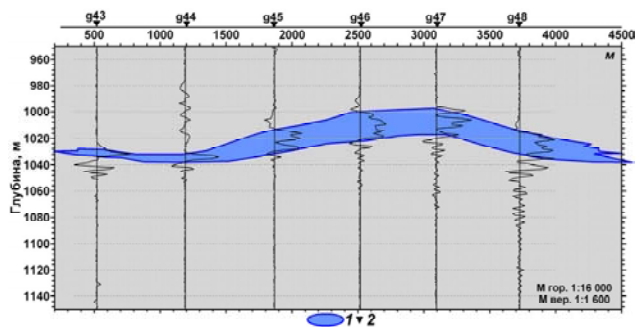


Рис. 7. Контуры геоэлектрических аномальных зон типа “залежь газогидратов” на шельфе Антарктического полуострова в районе УАС “Академик Вернадский”: 1 – шкала абсолютных отметок глубин и высот, м; 2 – линии вертикальных геоэлектрических разрезов; 3 – УАС “Академик Вернадский”; 4 – аномальные зоны типа “залежь газогидратов”; 5 – пункт ВЭРЗ

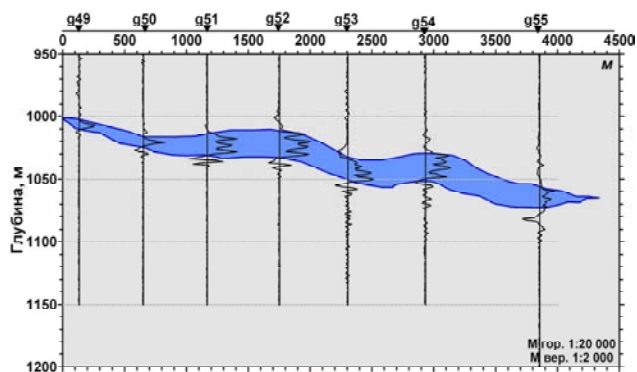
методом ВЭРЗ на ней не проводились, поэтому положение залежи в разрезе не определено.

Подсчитанные запасы газогидратов (с учетом их средней концентрации 6,3 % [16, 18]) для этих трех аномалий невелики, они не превышают $3,0 \cdot 10^6$ м³ метана (при стандартных температуре и давлении).

Геоэлектрические и дистанционные исследования в районе Южных Шетландских островов. На обширных участках континентальной окраины Антарктического полуострова для существования газогидратов и формирования их залежей имеются все необходимые термобарические условия, что доказано их обнаружением в четырех разных районах антарктического побережья, в том числе в районе Южных Шетландских островов. Здесь, на Южно-Шетландской континентальной окраине севернее о-ва Кинг-Джордж, масштабными сейсмическими работами [16, 18] выявлена обширная область развития BSR-зон, соотносимых с формированием скоплений газогидратов. Особенности положения зон контролируются геологическими структурами побережья, а наиболее благоприятные условия для их формирования установлены в северо-восточном секторе Южно-Шетландского побережья, где развита сеть многочисленных активных разломов, что



а



б

Рис. 8. Вертикальный разрез вдоль геоэлектрических аномальных зон типа “залежь газогидратов” (Gh-1, Gh-2) на шельфе Антарктического полуострова в районе УАС “Академик Вернадский” (по результатам сезонных работ XVII Украинской антарктической экспедиции, 2012 г.): а – профиль 1; б – профиль 2; 1 – зона аномально поляризованных пластов типа “залежь газогидратов”; 2 – пункт ВЭРЗ. Положение профилей показано на рис. 7

способствовало миграции газа с больших глубин. Результаты проведенных в этом районе сейсмических исследований указывают на наличие больших скоплений газогидратов (на глубине 1000–4800 м), где общий объем метана составляет примерно $7,7 \cdot 10^{12}$ м³ (при стандартных температуре и давлении) [16, 18].

Для участков распространения зон BSR на континентальной окраине вблизи Южных Шетландских островов были проинтерпретированы спутниковые данные с различными вариантами параметров обработки, что позволило выделить несколько новых аномальных зон типа “залежь газогидратов” (рис. 9), располагающихся как вблизи зоны разломов Шеклтона (восточная часть участка), так и на значительном расстоянии от нее (57°–59° з. д.).

Во время проведения сезонных работ 2012 г. для части известных аномалий типа “залежь газогидратов”, приуроченных к материковому склону островов, были выполнены геоэлектрические зондирования на 33 пунктах ВЭРЗ (рис. 9) в пределах двух аномальных зон, выявленных по спутниковым данным в районе, где ранее были обнаружены BSR-зоны [16, 18, 19]. По результатам этих исследований определены пара-

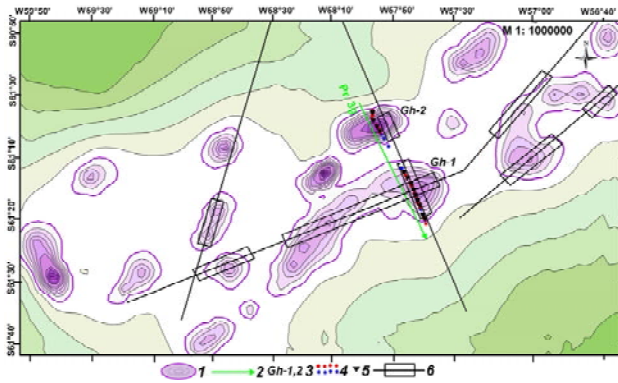


Рис. 9. Карта геоэлектрических аномальных зон типа “залежь газогидратов” на материковом склоне вблизи Южных Шетландских островов (по результатам обработки и дешифрирования данных ДЗЗ и сезонных работ XVII Украинской антарктической экспедиции, март 2012 г.): 1 – аномальная зона; 2 – профиль зондирования ВЭРЗ; 3 – аномальные зоны, зарегистрированные морской геоэлектрической съемкой; 4 – точки съемки методом СК ИП (красные – положительные значения, синие – отрицательные); 5 – пункт ВЭРЗ; 6 – участки газогидратных залежей (зоны BSR) вдоль сейсмических профилей, по данным [16, 18]

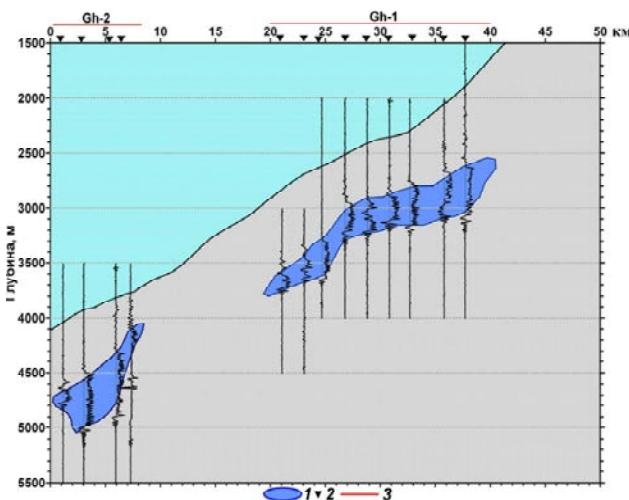


Рис. 10. Вертикальный разрез вдоль геоэлектрических аномальных зон типа “залежь газогидратов” (Gh-1, Gh-2) на материковом склоне вблизи Южных Шетландских островов: 1 – зона аномально поляризованных пластов типа “залежь газогидратов”; 2 – пункт ВЭРЗ; 3 – положение аномальных зон, см. рис. 9. Горизонтальный масштаб 1 : 200 000, вертикальный – 1 : 32 000

метры двух АПП мощностью от 100 до 500 м, залегающих на глубине от 2500 до 5000 м при глубинах дна от 2000 до 4000 м (рис. 10). Разрыв аномальных зон вдоль профиля наблюдений (пк 5–18, рис. 10) можно объяснить наличием ранее выявленной по сейсмическим данным зоны разломов, секущей склон желоба [16]. Кроме того, отсутствие АПП на этом участке профиля (см. рис. 9) подтверждается и результатами сейсмических работ вдоль части профиля KSL93-6 [16], где отсутствует BSR-зона и его положение совпадает с положением профиля ВЭРЗ. Сравнение

данных, полученных разными методами, позволяет утверждать, что глубина АПП типа “залежь газогидратов” в зоне Gh-1 (рис. 10) и положение BSR-зоны, определенное в этом же месте по данным сейсмических исследований, практически совпадают, как и средние мощности газогидратных толщ (350 м), полученные этими методами [16]. Отметим, что закартированные скопления газогидратов по своему положению в разрезе (см. рис. 8, 10) достаточно подобны выявленным по данным 3D сейсмике залежам газогидратов (см. рис. 3).

Наличие ряда “спутниковых” аномальных зон (см. рис. 9), выходящих за пределы обнаруженных ранее с помощью сейсмических методов BSR-зон [16–19], показывает, что запасы газогидратов (при условии прямой связи этих зон с формированием скоплений газогидратов) данного участка континентальной окраины Антарктического полуострова значительно (на 25–30 %) превышают подсчитанные ранее [16, 18]. Это позволяет относить регион к одному из перспективных для дальнейшего изучения участков обширных скоплений газогидратов в Антарктике.

Выводы. Результаты выполненных экспериментальных исследований в сезонных работах украинских антарктических экспедиций 2004, 2006 и 2012 гг., а также многолетний практический опыт применения мобильных геофизических технологий для поисков горючих и рудных полезных ископаемых дают возможность констатировать следующее.

1. Показана эффективность комплексирования новой инновационной технологии обработки данных ДЗЗ с результатами геоэлектрических работ для изучения скоплений газогидратов и построения детальных глубинных характеристик разрезов, содержащих АПП типа “залежь газогидратов”. Важным преимуществом предложенной технологии является возможность обнаружения скоплений газогидратов в районах со слабо выраженными BSR-границами, а также получение на качественном уровне сведений о пластовом давлении в продуктивных горизонтах.
2. Приведенные примеры поиска по спутниковым данным и оценки углеводородных (газогидратных) скоплений в различных регионах указывают на необходимость применения этой технологии, особенно на ранних стадиях исследований, поскольку появляется возможность не только выделить участки, перспективные на различные виды полезных ископаемых, но и в первом приближении оценить возможные риски при их разведке и промышленной разработке.

3. В районе станции “Академик Вернадский” (восточнее о-ва Анверс) впервые обнаружены три аномальные зоны типа “залежь газогидратов”. По данным ВЭРЗ небольшие скопления газогидратов расположены на глубине 1000–1040 м в виде пластов переменной (от 4 до 20 м) мощности длиной до 4,5 км.
4. Для аномалий типа “залежь газогидратов”, приуроченных к материковому склону Южных Шетландских островов, определены параметры двух АПП газогидратов мощностью от 100 до 500 м, залегающих на глубине от 2500 до 5000 м при глубинах дна от 2000 до 4000 м.
5. Возможные запасы газогидратов в районе Южных Шетландских островов значительно (на 25–30 %) превышают подсчитанные ранее. Это позволяет относить изученный участок к одному из перспективных мест обширных скоплений газогидратов в Антарктике и подтверждает высокий углеводородный потенциал региона.

Благодарности. Авторы выражают благодарность руководству Национального научного антарктического центра Украины за предоставленную возможность для широкой апробации новых мобильных технологий геофизических исследований в районе украинской антарктической станции “Академик Вернадский” и акваториях Антарктического полуострова.

1. *Анфилатова Э.А.* Аналитический обзор современных зарубежных данных по проблеме распространения газогидратов в акваториях мира [Electron. resource] / Э.А. Анфилатова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2008. – № 3. – Access: http://www.ngtp.ru/rub/9/44_2008.pdf
2. *Даровских С.В.* Промыслово-геологические особенности Мессояхского газогидратного месторождения / С.В. Даровских, И.В. Крохалев, Н.В. Филатов, С.Ф. Мулявин, А.Д. Плетнева, Н.А. Промзелева [Electron. resource] // Вестник недропользователя Ханты-Мансийского автономного округа. – 2007. – Вып. 18. – Access: <http://www.oilnews.ru/magazine/2007-18-11.html>; <http://www.neftgaz.ru/science/view/433>.
3. *Коллет Т.С.* Растущий интерес к газовым гидратам / Т.С. Коллет, Р. Льюис, У. Такаши // Нефть. обозрение. – 2001. – Т. 6, № 2. – С. 38–53. – Access: http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/russia01/aut01/p26_37.ashx
4. *Левашов С.П.* Технологія прямих пошуків та розвідки покладів вуглеводнів геоелектричними методами: результати, можливості та перспективи / С.П. Левашов, М.А. Якимчук, І.М. Корчагін // Геолог України. – 2003. – № 3–4. – С. 60–70.
5. *Левашов С.П.* Экспресс-технология “прямых” поисков и разведки скоплений углеводородов геоэлектрическими методами: результаты практического применения в 2001–2005 гг. / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук,

- И.Н. Корчагин // Геоинформатика. – 2006. – № 1. – С. 31–43.
6. *Левашов С.П.* Геоэлектрические исследования во время проведения сезонных работ 11-ой Украинской антарктической экспедиции / С.П. Левашов, В.Г. Бахмутов, И.Н. Корчагин, Ю.М. Пищаный, Н.А. Якимчук // Там само. – 2006. – № 2. – С. 24–33.
7. *Левашов С.П.* Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазоносности разведочных площадей, труднодоступных и удаленных территорий, лицензионных блоков / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Там само. – 2010. – № 3. – С. 22–43.
8. *Левашов С.П.* Оперативное решение практических задач приповерхностной геофизики: от применения неклассических геоэлектрических методов до новой парадигмы геофизических исследований / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Там само. – 2011. – № 1. – С. 22–31.
9. *Левашов С.П.* Оценка относительных значений пластового давления флюидов в коллекторах: результаты проведенных экспериментов и перспективы практического применения / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Там само. – 2011. – № 2. – С. 19–35.
10. *Левашов С.П.* Методические аспекты применения технологии обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли при проведении поисковых работ на нефть и газ в акваториях / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, А.И. Самсонов, Д.Н. Божежа // Там само. – 2012. – № 1. – С. 5–16.
11. *Макогон Ю.Ф.* Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы / Ю.Ф. Макогон // Рос. хим. журн. – 2003. – Т. 47, № 3. – С. 70–79.
12. *Макогон Ю.Ф.* Газогидраты. История изучения и перспективы освоения / Ю.Ф. Макогон // Геология и полез. ископаемые Мир. океана. – 2010. – № 2 (20). – С. 5–21.
13. *Матвеева Т.В.* Геологический контроль скоплений газовых гидратов на хребте Блейк-Аутер, Северная Атлантика / Т.В. Матвеева, В.А. Соловьев // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 43, № 7. – С. 662–671.
14. *Соловьев В.Д.* Новые данные о перспективности шельфа Антарктического полуострова на нефть и газ (по результатам геофизических исследований) / В.Д. Соловьев, И.Н. Корчагин, В.Г. Бахмутов, С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, Д.Н. Божежа, В.В. Прилуков // Теоретические и прикладные аспекты геоинформатики. – Киев, 2011. – С. 33–47.
15. *Шнюков Е.Ф.* В трех шагах от субмаринной добычи газогидратов / Е.Ф. Шнюков, П.Ф. Гожик, В.А. Краюшкин // Геология и полез. ископаемые Мир. океана. – 2007. – № 2. – Киев. – С. 32–51.
16. *Jin Y.K.* Gas hydrate volume estimations on the South Shetland continental margin, Antarctic Peninsula / Y.K. Jin, M.W. Lee, Y. Kim, S.H. Nam and K.J. Kim // Antarctic Science. – 2003. – Vol. 15, N 2. – P. 271–282. – DOI: 10.1017/S0954102003001275

17. *Kvenvolden K.A., Lorenson T.D.* The global occurrence of natural gas hydrate, in *Natural Gas Hydrates, Occurrence, Distribution, and Detection // Geophysical Monograph / Eds C.K. Paull, W.P. Dillon.* – Washington, DC, USA: Amer. Geophys. Union, 2001. – Vol. 124. – P. 3–18.
18. *Tinivella U.* Gas hydrate and free gas distribution from inversion of seismic data on the South Shetland margin (Antarctica) / *U. Tinivella, F. Accaino, A. Camerlenghi // Marine Geophys. Researches.* – 2002. – Vol. 23. – P. 109–123.
19. *Solovyov V.D.* Gas Hydrates Accumulations on the South Shetland Continental Margin: New Detection Possibilities / *V.D. Solovyov, V.G. Bakhmutov, I.N. Korchagin, S.P. Levashov, N.A. Yakymchuk, D.N. Bozhezha // Hindawi Publishing Corporation. J. Geol. Research.* – 2011. – Article ID 514082. – 8 p. – doi:10.1155/2011/514082.

¹Інститут прикладних проблем екології, геофізики і геохімії, Київ, Україна

Поступила в редакцію 18.06.2012 г.

²Центр менеджмента і маркетинга в області наук о Земле ІГН НАН України, Київ, Україна

³Інститут геофізики ім. С.І. Субботина НАН України, Київ, Україна

С.П. Левашов, М.А. Якимчук, І.М. Корчагін, Ю.М. Піщаний, В.Г. Бахмутов, В.Д. Соловйов, Д.М. Божежа

ГЕОЕЛЕКТРИЧНІ ТА ДИСТАНЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СКУПЧЕНЬ ГАЗОГІДРАТІВ У СТРУКТУРАХ ДНА ЗАХІДНОЇ АНТАРКТИКИ (ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СЕЗОННИХ ГЕОФІЗИЧНИХ РОБІТ 17-ї УКРАЇНСЬКОЇ АНТАРКТИЧНОЇ ЕКСПЕДИЦІЇ, 2012 Р.)

Наведено результати геоелектричних і дистанційних досліджень скупчень газогідратів у районі Антарктичного півострова, які отримано під час сезонних робіт 17-ї Української антарктичної експедиції (березень 2012 р.). У районі української антарктичної станції “Академік Вернадський” вперше виявлено три аномальні зони типу “поклад газогідратів”. Визначено параметри двох аномально поляризованих пластів газогідратів потужністю від 100 до 500 м, що залягають на материковому схилі Південних Шетландських островів. Показано, що можливі запаси газогідратів у районі островів значно (на 25–30 %) перевищують підраховані раніше. Це дає змогу вважати вивчену ділянку одною з перспективних районів можливих родовищ газогідратів в Антарктиці.

Ключові слова: Західна Антарктика, газогідрати, дистанційні дослідження, геоелектричні методи.

S.P. Levashov, N.A. Yakymchuk, I.N. Korchagin, Ju.M. Pischany, V.G. Bakhmutov, V.D. Soloviev, D.N. Bozhezha

GEOELECTRIC AND REMOTE SENSING DATA PROCESSING OF GAS HYDRATE ACCUMULATIONS IN THE BOTTOM STRUCTURES OF THE WEST ANTARCTIC REGION DURING SEASONAL GEOPHYSICAL WORKS OF THE 17TH UKRAINIAN ANTARCTIC EXPEDITION, 2012

Given in the paper are the results of geoelectric and remote sensing data processing of gas hydrate accumulations in the bottom structures of the West Antarctic region obtained during seasonal geophysical works of the 17th Ukrainian Antarctic Expedition, March 2012. Three anomalous zones of “gas-hydrate accumulation” type were found in the vicinity of the “Academician Vernadsky” UAS. It was obtained the parameters of two anomalously polarized gas hydrate reservoirs with the capacity from 100 to 500 m that lying on the continental slope of the South Shetland Islands. It is shown that the potential reserves of gas hydrates in the South Shetland Islands region is considerably (25–30 %) higher than previously calculated. That allows considering this region as one of the most promising gas hydrate deposit in Antarctica.

Keywords: West Antarctica region, gas hydrates, remote data processing, geoelectric survey.