УДК 551.24 +550.831 +553.98

© [1]В.Д. Соловьев, [1]И.Н. Корчагин, [1]В.Г. Бахмутов, [2,3]С.П. Левашов, [2,3]Н.А. Якимчук, [3]Д.Н. Божежа, [3]В.В. Прилуков, 2011

[1]Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев
[2]Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, г. Киев
[3]Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле ИГН НАН Украины, г. Киев

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ШЕЛЬФА АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА НА НЕФТЬ И ГАЗ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

Выполнен анализ данных геофизических исследований, проведенных в 2006–2010 гг. на нефть и газ в пределах Антарктического полуострова, построены глубинные разрезы земной коры структур антарктического шельфа. В районе украинской антарктической станции "Академик Вернадский" по результатам обработки и интерпретации спутниковых данных закартированы аномальные зоны типа "залежь нефти". На континентальной окраине Антарктического полуострова в районе Южных Шетландских островов обнаружены аномальные зоны типа "залежь газовых гидратов". Результаты исследований подтверждают высокие перспективы нефтегазоносности структур дна Западной Антарктики.

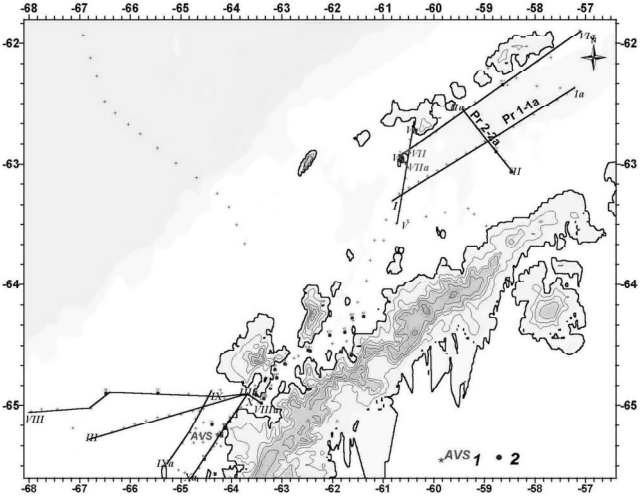
Ключевые слова: геофизические зондирования, углеводороды, континентальная окраина, Западная Антарктика.

Введение. Изучение углеводородного потенциала Антарктиды продолжается уже более 30 лет, и за последние годы выполнен большой объем комплексных геолого-геофизических исследований, целью которых было изучение глубинного строения, геодинамики и определение углеводородного потенциала региона[1–4, 6–10]. В настоящее время на минеральные богатства шестого континента претендует более 20 стран мира – по приблизительным расчетам, углеводородный потенциал шельфовых зон морей Уэдделла и Росса, составляющих лишь часть обширного антарктического шельфа, превышает 50 млрд баррелей нефти, т. е. равен потенциалу месторождений Аляски. Экстремальные природные условия и экономические

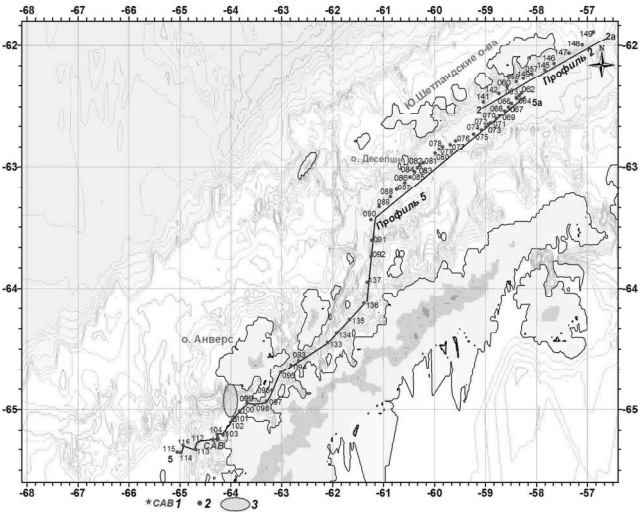
расчеты пока сдерживают поиски и эксплуатацию минеральных ресурсов в Антарктиде, но большая потребность и высокие цены на углеводороды, смягчение климата и прогресс технологии бурения оставляют все меньше надежд на сохранность природных богатств этого уникального континента. Так, в 2007 г. Великобритания заявила о своих правах на часть антарктического материкового шельфа площадью 1 млн км^2, поскольку там могут находиться огромные запасы нефти и газа. США намерены провести через 10 лет пробную добычу нефти на ледяном континенте. Поэтому новый экспериментальный материал о возможных скоплениях нефти и газа вблизи украинской антарктической станции (УАС) "Академик Вернадский" может представлять интерес с точки зрения общей оценки углеводородного потенциала антарктического побережья.

Методика и результаты исследований. Во время выполнения сезонных работ украинских антарктических экспедиций (УАЭ) (в 2004, 2006 г.) в районе УАС "Академик Вернадский", а также в близлежащих акваториях Антарктического полуострова для "прямых" поисков нефти и газа проводились геоэлектрические измерения, включающие методы становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ), которые в 2001–2009 гг. прошли широкую апробацию на многих нефтегазовых месторождениях и перспективных площадях в Украине, Казахстане, России, Болгарии. Проведенные ранее исследования показали, что интерпретация полученных данных позволяет оперативно выявлять и оконтуривать по площади аномалии типа "залежь" (АТЗ), оценивать суммарную мощность аномально поляризованных пластов (АПП) типа "нефтяной пласт", "газовый пласт", "водонасыщенный пласт" и определять глубины их залегания [2, 4, 7, 8].

Всего за время экспедиции 2006 г. выполнено более 150 кондиционных зондирований (рис. 1). По данным зондирований в отдельных точках построены вертикальные разрезы фактического материала и геоэлектрические разрезы глубинного строения земной коры до глубин более 30 км [4, 8]. Во время проведения экспедиции 2006 г. удалось выполнить ограниченный объем исследований побережья Антарктического полуострова вблизи о-ва Анверс с целью поисков скоплений нефти и газа.



а



б

Рис. 1. Схема движения судна в 2004 (*а*) и 2006 гг. (*б*) соответственно 9-й и 11-й украинских антарктических экспедиций в проливе Брансфилда и вблизи о-ва Анверс в регионе Антарктического п-ва: *1* – УАС “Академик Вернадский” (о-в Галиндез); *2* – пункт ВЭРЗ; *3* –положение аномальной зоны типа “залежь углеводородов”

Результаты геоэлектрических исследований, проведенных в районе Антарктического полуострова. Рассмотрим результаты интерпретации материалов геофизических исследований, проведенных на континентальной окраине Антарктиды в 2004 и 2006 гг., где во впадине Палмер, юго-западнее о-ва Анверс, была впервые закартирована АТЗ. Зондированием ВЭРЗ в пределах этой аномалии в интервале глубин до 3500 м выделено несколько АПП типа "залежь углеводородов" (рис. 2) [4, 8, 9].

Впадина Палмер расположена на континентальном (тихоокеанском) шельфе Антарктического полуострова юго-западнее о-ва Анверс и представляет собой типичное внутришельфовое образование, сформированное в центре схождения ледовых палеопотоков, пересекающих весь континентальный шельф на расстоянии более 200 км от побережья полуострова. Впадина состоит из трех вытянутых в северо-восточном направлении углубленных котловин с глубинами дна от 1200 до 1500 м. Ее основные морфологические черты определяются накоплением осадочной толщи постгляциального характера, формирование которой проходило в условиях чередования фаз эрозии и осадконакопления. Осадки котловины расслоены на пять горизонтов, сложенных диатомовыми илами, турбидитами, подводными брекчиями, ледниковыми отложениями общей мощностью больше 200 м. По данным сейсмического профилирования наиболее глубоко расположенная отражающая граница датируется поздним плейстоценом. Породы фундамента представлены мезозойскими и раннекайнозойскими вулканогенными образованиями [9].

Зоны разломов, ограничивающие субкотловины впадины Палмер и влияющие на формирование заполняющей осадочной толщи, лежат на широтном продолжении Южной разломной зоны Анверс – крупного тектонического нарушения, сегментирующего западный фланг срединного хребта пролива Дрейка. Поэтому значительная часть подвижек, зафиксированных в пределах внутреннего шельфа, может быть генетически связана с геодинамическими процессами этой разломной зоны. Профили съемки пересекли шельф Антарктического полуострова, что позволило охарактеризовать структуру земной коры впадины Палмер по данным ВЭРЗ. Глубинное строение земной коры вдоль профилей исследовалось указанным методом в 2004 г. до глубины 6 км, а в 2006 г. (11-я УАЭ) – до 32 км, что позволило получить детальную характеристику горизонтов земной коры.

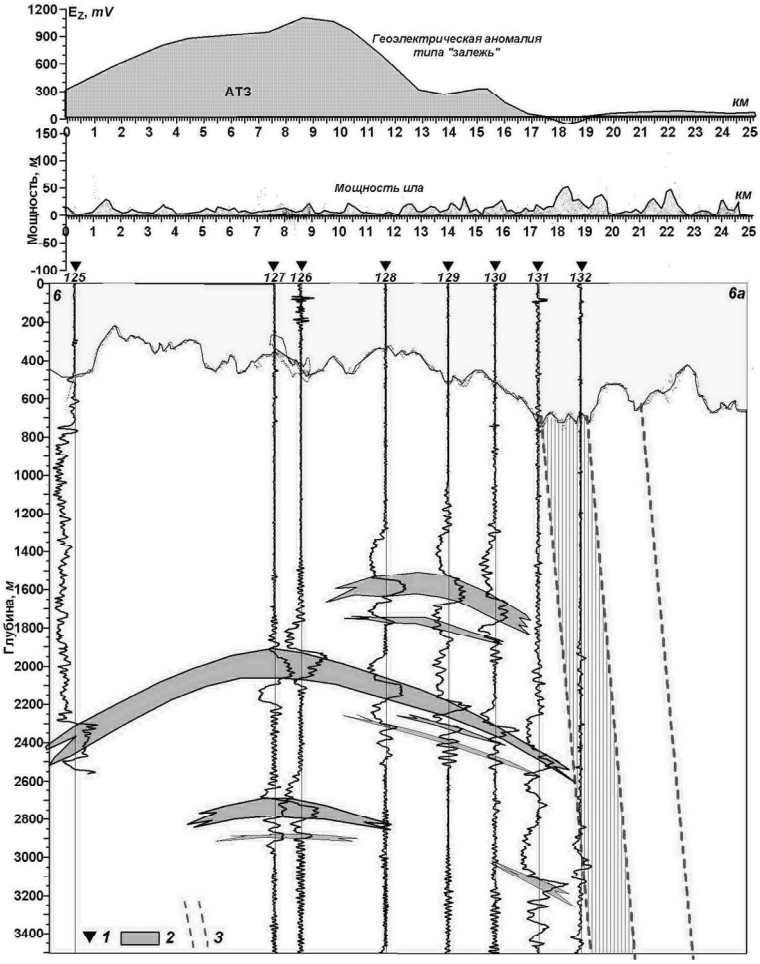


Рис. 2. Результаты зондирования ВЭРЗ над аномальной зоной типа "залежь углеводородов" в регионе Антарктического п-ва: *1* – пункты ВЭРЗ; *2* – участки АПП типа "залежь углеводородов"; *3* – зона нарушения

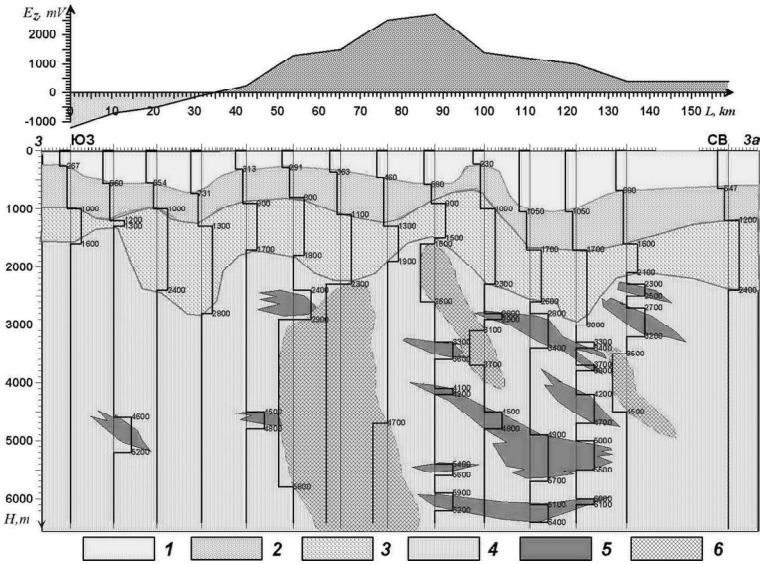


Рис. 3. Вертикальный разрез вдоль профиля 3–3а (III–IIIа на рис. 1, *а*) по данным ВЭРЗ в котловине Палмер (2004): *1* – вода; *2* – граница дна и первый осадочный слой пониженного геоэлектрического сопротивления; *3* – второй осадочный слой повышенного геоэлектрического сопротивления; *4* – породы фундамента; *5* – зоны даек (породы повышенной поляризации и геоэлектрического сопротивления в фундаменте); *6* – зоны дробления (породы пониженного геоэлектрического сопротивления в фундаменте)

Сложная структура средней части континентального шельфа выявлена по данным ВЭРЗ вдоль профиля 3–3а (рис. 3). В верхней части разреза здесь закартированы многочисленные зоны дробления и даек, что свидетельствует о сложной истории формирования фундамента и большой насыщенности его вулканогенными образованиями разной протяженности и глубинности. На участке профиля 3–3а, расположенном южнее наиболее глубокой котловины впадины Палмер, выявлены многочисленные включения зон дробления и даек в тело ненарушенного фундамента (ПК 85–145, рис. 3).

Закономерности глубинного строения участков континентального шельфа, выявленные по данным ВЭРЗ в 2004 г., подтверждены материалами зондирования вдоль профиля 5 во время работ 2006 г. (рис. 4). Были выявлены глубинные неоднородности разреза не только в верхней части земной коры (на глубинах до 6 км), но и на глубинах 10–12 и 16–18 км.

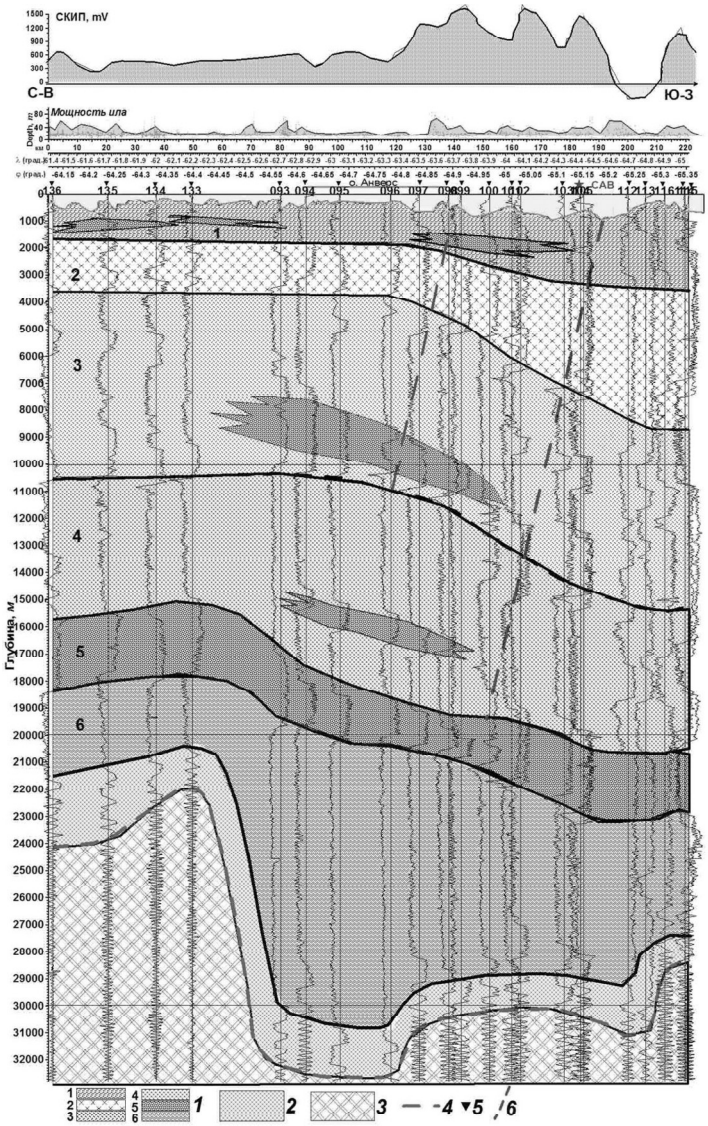


Рис. 4. Результаты геоэлектрических исследований методами СКИП и ВЭРЗ (изменение поля СКИП и диаграммы ВЭРЗ) и схематическая модель глубинного строения земной коры вдоль профиля 5 в районе УАС “Академик Вернадский”: *1* – комплекс эффузивных и кристаллических пород; *2* – породы переходного слоя “кора–мантия”; *3* – породы верхней мантии; *4* – граница Мохо; *5* – пункты ВЭРЗ; *6* – тектонические нарушения. Положение профиля см. на рис. 1, *б*

Важнейшая особенность построенного глубинного разреза – усложнение его структуры вследствие включения многочисленных комплексов эффузивных и кристаллических пород, а также пород переходного слоя "кора–мантия" переменной мощности. Усложнение разреза здесь сопровождается увеличением мощности земной коры до 30–31 км вблизи о-ва Анверс.

На глубинном разрезе (рис. 4) по результатам работ ВЭРЗ была выявлена крупная зона тектонических нарушений, объединенных в глубинный разлом, вытянутый вдоль побережья полуострова. Вполне вероятно, что этот разлом имеет древнее заложение и длительную историю формирования, на что указывают особенности глубинных разрезов по полученным профилям [3, 9]. Зафиксирована также значительная локальная неоднородность глубинного строения и степени насыщения земной коры континентального шельфа Антарктического полуострова эффузивными и интрузивными образованиями. Отмеченные принципиальные особенности глубинного разреза земной коры впадины Палмер достаточно благоприятны для возможного формирования скоплений углеводородов. Как показал опыт изучения углеводородного потенциала Антарктики, залежи нефти и газа могут быть приурочены к крупным зонам тектонических разломов и разрывных нарушений, а также рифтогенным структурам в мощных осадочных толщах материковой окраины Антарктиды, где реализуются глубинные условия для генерации и неорганического синтеза широкого спектра углеводородов. На формирование скоплений углеводородов может также влиять наличие в Антарктиде покровного оледенения и подледниковой дренажной сети, что может способствовать движению жидкостей и газов в породах коры к краям ледникового покрова и участкам антарктического шельфа [1].

Проведенные исследования подтверждают наличие общих благоприятных предпосылок формирования залежей углеводородов в данном секторе материковой окраины Антарктического полуострова. Поэтому очевидна необходимость более широкого применения метода ВЭРЗ для детального изучения структуры осадочного чехла и неоднородностей кристаллического фундамента структур региона, а также выявления и локального картирования скоплений углеводородов на антарктическом шельфе.

Оценка перспектив нефтегазоносности региона по спутниковым данным. Новые возможности картирования залежей полезных ископаемых открываются при использовании специальной методики об-

работки и дешифрирования (интерпретации) спутниковых данных для поисков и разведки скоплений нефти и газа. Методика основана на выделении и обработке резонансных частот электромагнитного поля, характерных для каждого реперного типа углеводорода или интегральных спектров для соединений углеводородов [2].

С этой целью был исследован участок антарктического шельфа в районе расположения УАС "Академик Вернадский", где в 2006 г. с борта судна была обнаружена аномалия типа "залежь углеводородов". Результаты обработки и интерпретации спутниковых данных этого участка показаны на рис. 5. Четыре относительно крупные аномальные зоны типа "залежь нефти" выявлены и оконтурены в пределах обследованного сегмента Антарктического шельфа.

Отметим, что ранее закартированная по данным метода СКИП (в 2006 г.) профильная геоэлектрическая аномалия типа "залежь углеводородов" (см. рис. 2) полностью попадает в одну из аномальных зон (рис. 5), выделенных по результатам обработки и интерпретации спут-

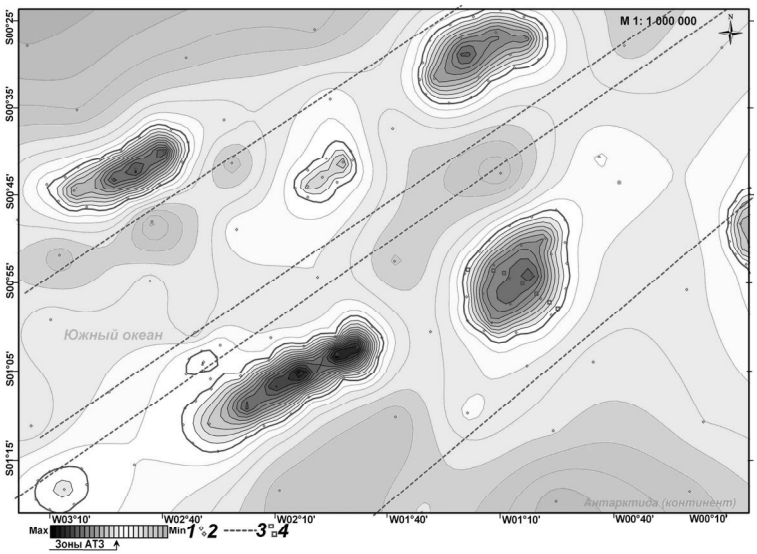


Рис. 5. Карта аномальных зон типа "залежь нефти" в Антарктическом регионе (условные координаты, район УАС "Академик Вернадский"), выделенных по результатам специальной обработки и интерпретации спутниковых данных: *1* – шкала интенсивности аномального отклика; *2* – пункты определения значений аномального отклика; *3* – прогнозируемые тектонические нарушения; *4* – пункты регистрации аномалий типа "залежь" методами СКИП и ВЭРЗ с борта судна в 2006 г.

никовых данных. Небольшой фрагмент скорее всего крупной аномальной зоны обнаружен на восточной границе участка обследования – она полностью не оконтурена.

Аномалия небольших размеров закартирована дополнительно практически в центре участка. Таким образом, полученные результаты интерпретации спутниковых данных позволили отнести ранее выделенную аномалию АТЗ к аномальной зоне типа "залежь нефти". Аномалии типа "залежь газа" на исследованном участке не обнаружены.

Результаты изучения скоплений газогидратов на континентальной окраине Антарктического полуострова (район Южных Шетландских островов). Дефицит традиционных энергоносителей заставляет проявлять научный и практический интерес к нетрадиционным источникам сырья, в том числе к залежам газогидратов. Поэтому становится актуальной проблема выделения газогидратоносных толщ на различных участках континентальной окраины Антарктиды, где для наличия газогидратов и формирования их залежей имеются все необходимые термобарические условия, что доказано их обнаружением в районе Южных Шетландских островов [6, 10]. Следует отметить, что важную роль играют не только исследования скоплений газогидратов как энергетического сырья, но и оценка их возможного совместного (с нефтью и газом) накопления, а также определение их вклада в общий углеводородный баланс региона [1].

Согласно данным многоканальных сейсмических исследований, на континентальной окраине Антарктиды в районе Южных Шетландских островов отражающие границы – BSR (Bottom Simulating Reflectors) распространены достаточно широко, что указывает на наличие в регионе больших объемов газовых гидратов. Для оценки общего объема газовых гидратов в исследуемом районе использовались следующие параметры: общая длина BSR-границ, выявленных на сейсмических профилях, – 145 км; мощность – 350 м; ширина осадков, содержащих газовые гидраты – 15 км; средний объем концентрации газогидратов – 6,3 %. При предположении, что газовые гидраты существуют только там, где наблюдаются BSR-границы, общий объем газовых гидратов в этом районе оценивается примерно в $4{,}8 \cdot 10^{10}$ м^3 ($7{,}7 \cdot 10^{12}$ м^3 метана при стандартных температуре и давлении) [1].

Для исследованных участков распространения зон BSR были обработаны и проинтерпретированы спутниковые данные. Для выбора опти-

мальных параметров их обработки и выделения аномальных зон типа "залежь газогидратов" в Антарктике были привлечены и проинтерпретированы материалы зондирования со спутников района расположения Мессояхского месторождения газогидратов, открытого в 1967 г. на юго-востоке Западной Сибири (Россия). Карта-схема расположения этих месторождений приведена в работе [5]. Результаты обработки для четырех известных месторождений УВ этого района показаны на рис. 6.

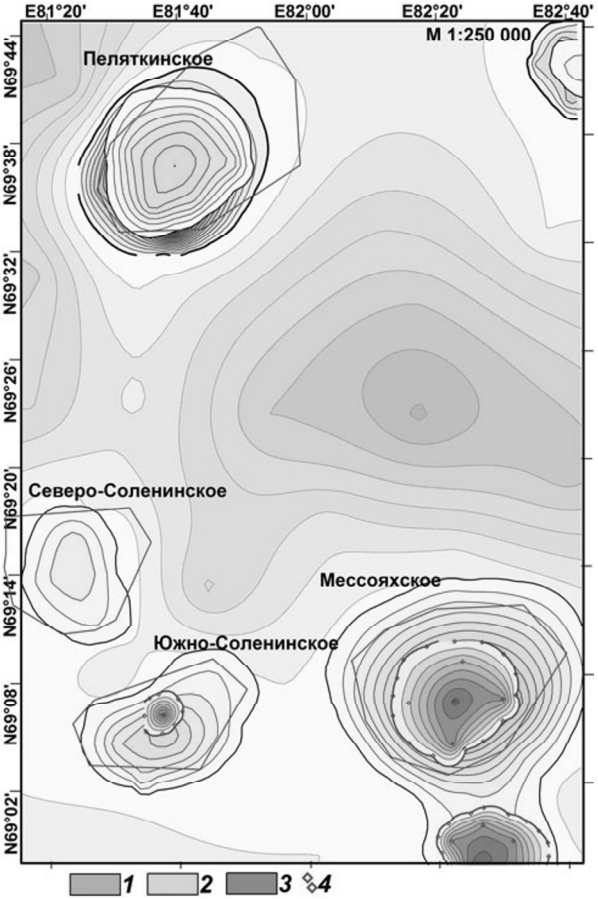


Рис. 6. Карта зон скопления углеводородов, построенная по результатам специальной обработки спутниковых данных в районе газогидратного месторождения Мессояхское (Западная Сибирь, Россия): *1* – зона газогидратных отложений; *2* – зона газовых залежей; *3* – зона залежей нефти; *4* – пункты регистрации аномальных откликов от газогидратной залежи

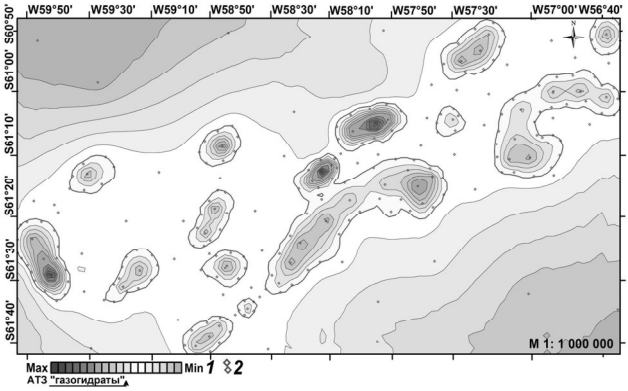


Рис. 7. Карта аномальных зон типа “отложения газогидратов”, построенная по результатам специальной обработки спутниковых данных (район Антарктического полуострова): *1* – шкала интенсивности аномального отклика; *2* – пункты определения значений аномального отклика

Аномальные зоны типа “залежь газогидратов” обнаружены и закартированы только в пределах двух месторождений углеводородов, причем при тех же параметрах обработки и интерпретации спутниковых данных, что и в Антарктическом регионе. Отметим, что в южной части месторождения в процессе обработки спутниковых данных обнаружены и закартированы аномальные зоны типа “залежь газогидратов” и “залежь газа”, а в северной части – аномальные зоны типа “залежь газа” и “залежь нефти”.

В процессе интерпретации данных по участку континентальной окраины вблизи Южно-Шетландских островов были опробованы различные варианты параметров обработки, что позволило выделить и закартировать несколько аномальных зон типа “залежь газогидратов” (рис. 7).

Контуры выделенных аномальных зон (рис. 8) совмещены со схемой отработанных сейсмических профилей и выделенных по сейсмическим данным зонами наличия BSR-границ на участке антарктического побережья вблизи Южно-Шетландских островов [6].

Выделенные аномальные зоны типа “залежь газогидратов” удовлетворительно коррелируют с зонами BSR, установленными по сейсмическим данным. Необходимо отметить, что наиболее полное их соответствие установлено для ранее выделенных по профилям съемки высокоамплитудных зон BSR. Несколько спутниковых аномалий типа “залежь газогидратов” выделены либо в местах, не охваченных сейсмическими

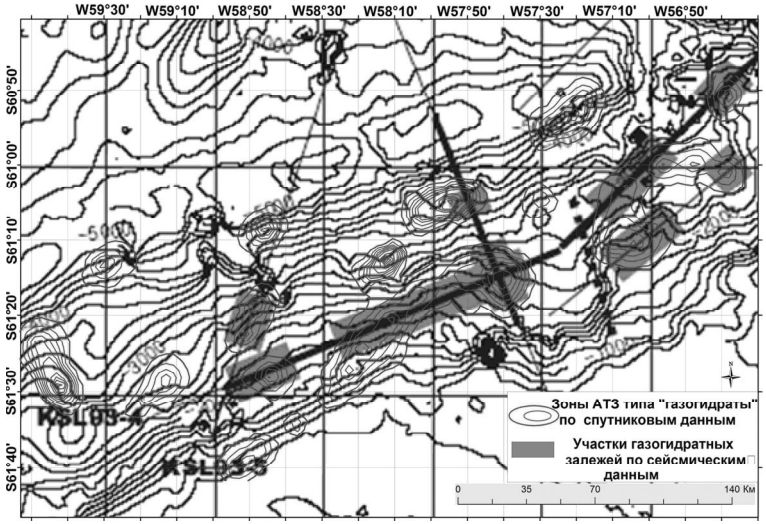


Рис. 8. Карта аномальных зон типа “залежь газогидратов”, построенная по результатам специальной обработки спутниковых данных (район Южно-Шетландских островов вблизи Антарктического полуострова)

исследованиями, либо там, где ранее были выделены слабоамплитудные BSR-зоны (рис. 8).

По результатам обработки и дешифрирования спутниковых данных аномальные зоны другого типа (“залежь газа” и “залежь нефти”) в пределах обследованного участка не обнаружены.

Выводы. Полученные результаты в Антарктике и Мессояхском месторождении газовых гидратов и газа (Россия) свидетельствуют о том, что оригинальная технология обработки и дешифрирования спутниковых данных позволяет оперативно обнаруживать и картировать в первом приближении аномальные зоны типа “залежь нефти” и (или) “залежь газа”, а также “залежь газовых гидратов”, которые в большинстве случаев обусловлены крупными и средними месторождениями углеводородов. Аналогичные результаты получены при обработке спутниковых данных в районах крупных и средних месторождений УВ в других нефте- и газоносных регионах мира – Шебелинское газоконденсатное месторождение (Днепровско-Донецкая впадина, Украина), Субботинское нефтегазовое месторождение (Прикерченский шельф, Украина), нефтяные месторождения Тенгиз, Терен-Узюк, Кошкимбет, Каратон (Прикаспийский регион, Республика Казахстан), Тажигали (Каспийский шельф,

Республика Казахстан), гигантское Ромашкинское нефтяное месторождение (Татарстан, Россия), крупнейшее Ванкорское нефтегазовое месторождение (Красноярский край, Россия), гигантские газовые месторождения Довлетабад-Донмез и Южный Иолотань (Туркменистан), нефтяное месторождение Зуунбанан (пустыня Гоби, Монголия) и др.

Результаты применения технологии СКИП–ВЭРЗ в сезонных работах украинских антарктических экспедиций еще раз подтвердили высокую оперативность, мобильность и эффективность этих методов при решении разнообразных геолого-геофизических задач:

1. В акваториях Антарктического п-ва съемкой СКИП впервые закартирована аномалия типа "залежь", а зондированием ВЭРЗ выделены АПП типа "залежь углеводородов".
2. Работы в морских акваториях продемонстрировали высокую эффективность метода ВЭРЗ при изучении глубинного строения земной коры и верхней мантии
3. Результаты применения в Антарктическом регионе специального метода обработки и интерпретации спутниковых данных с целью поисков скоплений УВ подтверждают высокий нефтегазовый потенциал этого региона.
4. Результаты апробации специальной технологии обработки и интерпретации спутниковых данных при поисках углеводородов показали, что:
   а) технология может найти широкое применение при рекогносцировочных обследованиях труднодоступных и удаленных регионов, в том числе и шельфовых зон Арктики и Антарктики;
   б) она может эффективно применяться на различных этапах поисковых работ и использоваться в комплексе с традиционно применяемыми методами поисков и разведки скоплений нефти и газа, а также с неклассическими геофизическими технологиями.

1. *Иванов В.Л.* Геологические предпосылки прогноза нефтегазоносности недр Антарктики // Сов. геология. – 1985. – № 2. – С. 3–14.
2. *Ковалев Н.И., Гох В.А., Солдатова С.В., Лямцева И.В.* Использование дистанционного геоголографического комплекса "Поиск" для обнаружения и оконтуривания углеводородных месторождений // Геоінформатика. – 2009. – № 3. – С. 83–88.
3. *Левашов С.П., Пищаный Ю.М.* Картографические материалы результатов геоэлектрических работ в районе Антарктического полуострова. Материалы IX Укр. Антаркт. экспедиции. – Киев, 2004.
4. *Левашов С.П., Бахмутов В.Г., Корчагин И.Н. и др.* Геоэлектрические исследования во время проведения сезонных работ 11-й Украинской антарктической экспедиции // Геоінформатика. – 2006. – № 2. – С. 24–33.

5. *Промыслово-геологические* особенности Мессояхского газогидратного месторождения. http://www.neftegaz.ru/science/view/433
6. *Jin Y.K., Lee M.W., Kim Y. et al.* Gas hydrate volume estimations on the South Shetland continental margin, Antarctic Peninsula // Antarctic Science. – 2003. – **15**, № 2. – P. 271–282. – DOI: 10.1017/S0954102003001275
7. *Levashov S.P., Yakymchuk M.A., Korchagin I.N. et al.* Electric-resonance sounding method and its application for the ecological, geological-geophysical and engineering-geological investigations // 66th EAGE Conf. & Exhibition. – 2004. – Extended Abstr. P035.
8. *Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. et al.* Drake Passage and Bransfield Strait – new geophysical data and modelling of the crustal structure, in Antarctica // A Keystone in a Changing World – Online Proceed. of the 10th ISAES X / Eds A.K. Cooper, C.R. Raymond et al. – 2007. – USGS Open-File Report 2007. – 1047.
9. *Solovyov V.D., Bakhmutov V.G., Korchagin I.N., Levashov S.P.* Crustal structure of Palmer Deep (West Coast of the Antarctic Peninsula) by geophysical data // Ukr. Antarc. J. – 2009. – № 8. – P. 85–93.
10. *Tinivella U., Accaino F., Camerlenghi A.* Gas hydrate and free gas distribution from inversion of seismic data on the South Shetland margin (Antarctica) // Mar. Geoph. Res. – 2002. – **23**. – P. 109–123.

Нові дані про перспективність шельфу Антарктичного півострова на нафту і газ (за результатами геофізичних досліджень) В.Д. Соловйов, І.М. Корчагін, В.Г. Бахмутов, С.П. Левашов, М.А. Якимчук, Д.М. Божежа, В.В. Прилуков

РЕЗЮМЕ. Наведено результати геофізичних досліджень 2004–2010 рр. на вуглеводні в межах континентального узбережжя Антарктичного півострова та моделі глибинної будови структур антарктичного шельфу. В районі української антарктичної станції "Академік Вернадський" за результатами обробки супутникових даних закартовано аномалії типу "поклад нафти", а поблизу Південношетландських островів – аномалії типу "поклад газогідратів". Результати досліджень підтверджують високий вуглеводневий потенціал структур дна Західної Антарктики.
Ключові слова: геофізичні зондування, вуглеводні, континентальна окраїна, Західна Антарктика.

New data on the oil and gas prospects of Antarctic Peninsula shelf (based on geophysical studies results) V.D. Solovyev, I.N. Korchagin, V.G. Bachmutov, S.P. Levashov, N.A. Yakymchuk, D.N. Bozhezha, V.V. Prilukov

SUMMARY. The results of investigations in 2006–2010 for oil and gas in the Antarctic Peninsular region are given. The anomalous zones of "oil deposit" type were mapped also the Antarctic Peninsula offshore in the region of UAS "Academician Vernadsky". Anomalous zones of "gas hydrate deposit" type were revealed on the South Shetland margin. The investigation results confirm the high oil and gas potential of the West Antarctica region.
Keywords: geophysical sounding, hydrocarbons, continental margin, West Antarctica.