

УДК 551.35:550.834.8(261)

## ЗАПАДНО-ШПИЦБЕРГЕНСКАЯ КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ОКРАИНА: ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ

© 2015 г. Г. С. Казанин, Г. А. Тарасов, Т. Я. Федухина,  
В. В. Шлыкова, академик РАН Г. Г. Матишов

Поступило 16.07.2014 г.

DOI: 10.7868/S086956521502019X

Шпицбергенская континентальная окраина характеризуется сложным геологическим строением. На протяжении всей истории своего геологического развития регион претерпел неоднократные тектоно-магматические активизации [1–3], выразившиеся в складчатости, магматизме, рифтогенезе, осадконакоплении, эрозии [4–8], изменении климатических условий [9, 10]. Последствия этих глобальных процессов, сформировавших современный облик Шпицбергенской окраины, находят свое отражение в физических полях и материалах сейсморазведки МОВ ОГТ, позволяющих судить о глубинном строении региона, изучить строение осадочного чехла, восстанавливать историю развития и оценивать перспективы нефтегазоносности [11–13].

В основу нашей работы положены материалы профильных комплексных геофизических наблюдений МАГЭ, включающие 24-кратную сейсморазведку МОВ ОГТ, гидромагнитные измерения, надводную гравиразведку, сейсмоакустическое профилирование, сейсморазведку МПВ, донный пробоотбор на отдельных участках. Всего отработано 109 профилей МОВ ОГТ общей длиной 16 462 км и 8 профилей КМПВ – 3440 км (рис. 1). В работе также использованы данные гравиметрических, магнитометрических съемок масштаба 1 : 1 000 000 на юге и востоке района, а южнее о-ов Короля Карла – комплексные исследования (МОВ ОГТ, гравиразведка, магниторазведка, донное опробование) масштаба 1 : 200 000.

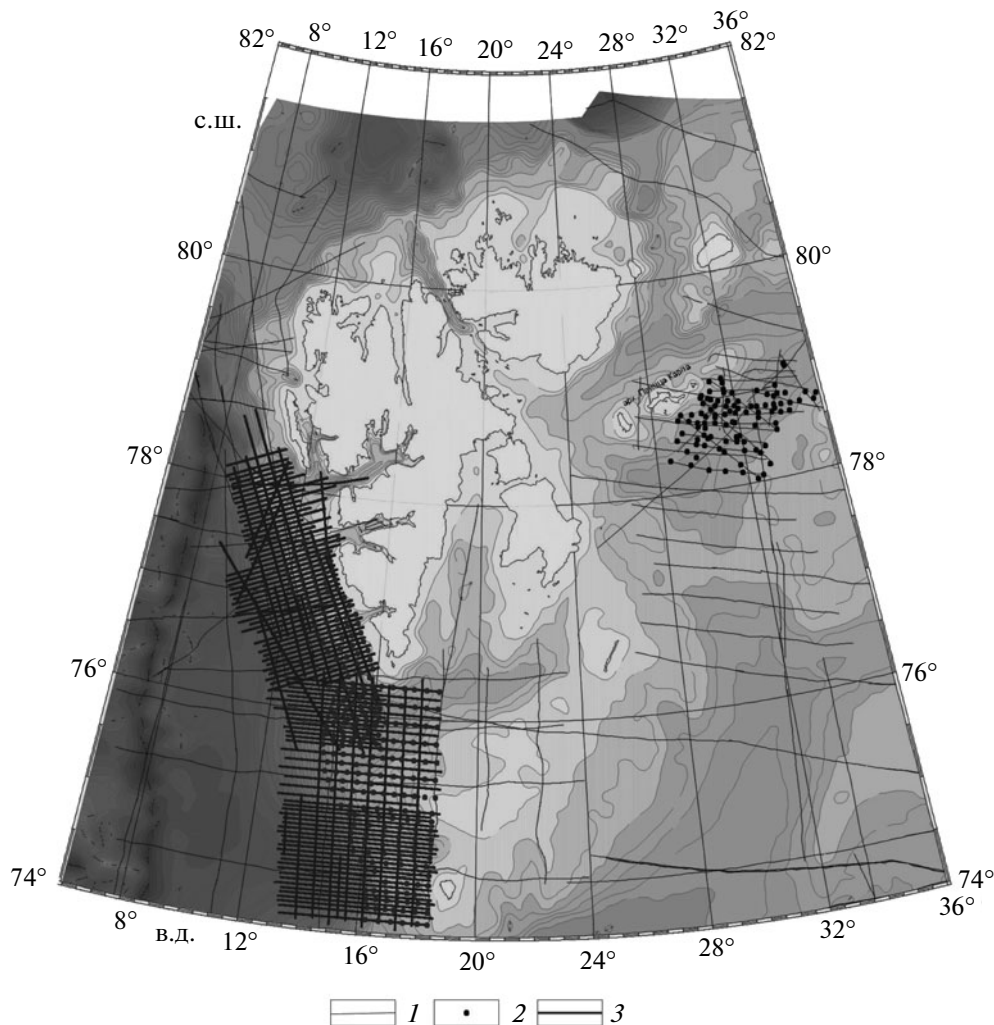
Комплексная интерпретация геофизических данных позволила выяснить общий тектонический план юго-западного сектора Шпицбергенской континентальной окраины.

Геологическое строение изученной территории отражено в физических полях, прежде

де всего – в гравитационном поле. В юго-восточной части площади, охватывающей северо-западный фрагмент Западно-Арктической платформы, наблюдается спокойное положительное гравитационное поле, которое отражает такое же спокойное поведение границы Мохо. Она залегает здесь на глубинах 27–29 км (рис. 2а). Далее на запад начинается зона возмущенного гравитационного поля. Здесь интенсивность аномалий Буге ( $\sigma$  2.67 г/см<sup>3</sup>) в сторону океана возрастает до 160 мГл. Это закономерно, поскольку мощность коры уменьшается в сторону океана. Градиентная зона начинается сразу за внутренней (восточной) границей Норвежско-Шпицбергенской зоны ступеней и протягивается с юга на север до параллели 76° с.ш., далее она несколько отклоняется к западу и расходуется на две ветви. Одна ветвь приближается к побережью Шпицбергена, пересекает внешнюю границу Норвежско-Шпицбергенской зоны ступеней и следует в пределах ступени Принца Карла. Вторая ветвь проходит в северо-западном направлении вдоль периокеанического прогиба. Между этими ветвями 40-километровая область относительного понижения интенсивности гравитационного поля. Анализ зависимости региональных аномалий гравитационного поля от глубины залегания мантии, полученных по данным МПВ (рис. 2б, в), показывает, что поверхность Мохо на рассматриваемой площади выглядит так, как показано на рис. 2г. В южной части района исследований под ступенью Кнёлегга–Хорнсунн граница Мохо круто поднимается с 27 до уровня 16 км и далее в сторону хребта под Поморским прогибом она остается практически на том же уровне. Исходя из этого, границу между океанической и переходной кораи можно провести вдоль 16-го меридиана. Тем не менее на тектонической карте (рис. 3) она проведена на 80 км западнее, где заканчивается присутствие блоков континентального фундамента, опознаваемого сейсморазведкой по динамической выразительности отражений. Предполагается, что такое аномальное утонение коры в переходной зоне, фик-

*Морская арктическая геологоразведочная экспедиция,  
Мурманск*

*Мурманский морской биологический институт  
Кольского научного центра Российской Академии наук*



**Рис. 1.** Схема расположения комплексных геолого-геофизических профилей МАГЭ. 1 – комплексные геофизические профили 1973–1987 гг., 2 – станции донного опробования, 3 – комплексные геофизические профили 2007–2013 гг.

сируемое мощной гравитационной аномалией (Хорнсуннский гравитационный максимум) можно объяснить мантийным плюмом. В [14] предложена обдукционная модель пассивных континентальных окраин, объясняющая гравитационные максимумы на краю континентов. Она заключается в следующем. С остыванием периферии мантийного купола (плюма) этот блок претерпел эклогизацию и начал погружаться в мантию, причем низ погружался быстрее, чем верх. В образовавшиеся трещины отрыва интродуцируются и протрудуются новые порции базит-гипербазитового материала.

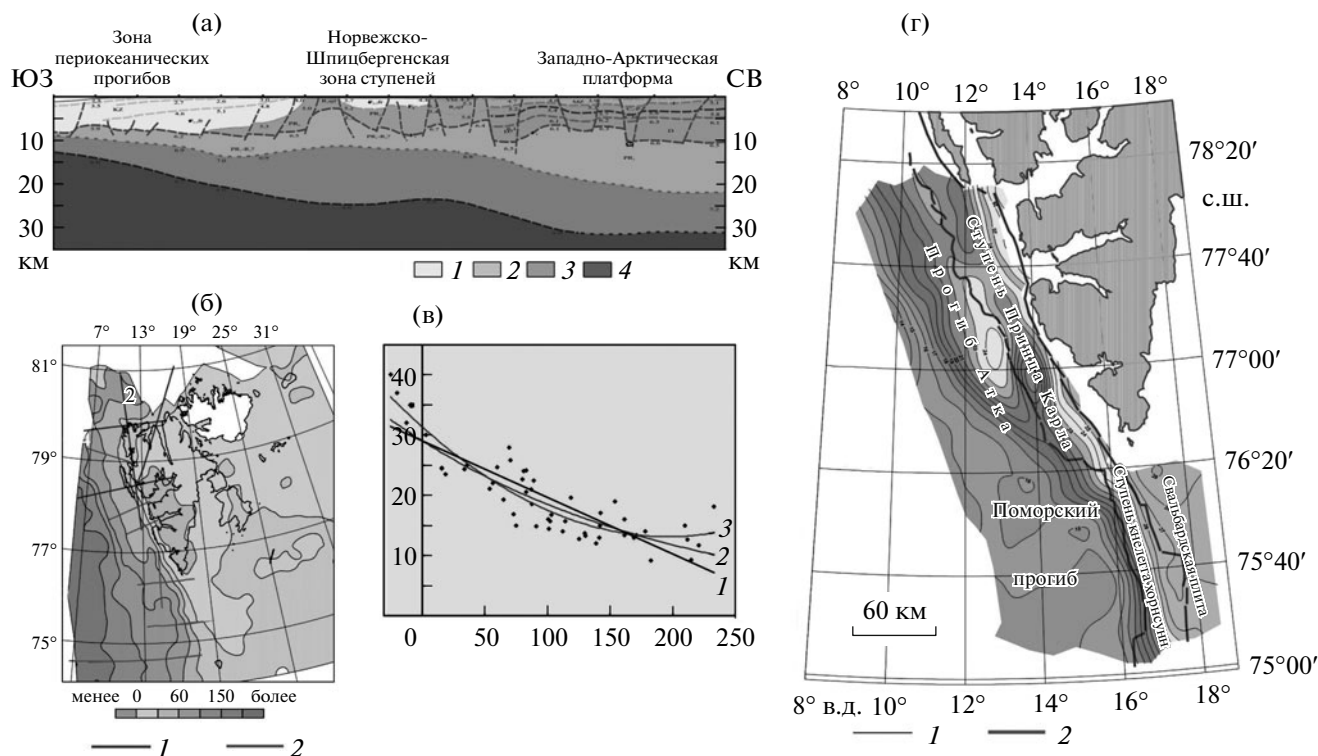
Влияние диапира ощущается и в веерообразном рисунке поперечных разломов. Локальное поднятие мантии вызвало некоторое растяжение и расколы коры. На южной периферии диапира разломы юго-западного простирания, в центральной области – близширотного, в северной

части поворачиваются в северо-западном направлении.

Второй мантийный диапир проходит чуть севернее, на широте зал. Хорнсунн. В плане он имеет значительно меньшие размеры, а в тектоническом отношении приурочен не к периокеаническому прогибу.

Система глубинных долгоживущих разломов, являющихся западной границей Баренцевоморского шельфа, четко делит район на три геотектонических блока: Западно-Арктическую платформу (северо-западный фрагмент), Норвежско-Шпицбергенскую зону ступеней, зону периокеанических прогибов. Названные блоки выделены по кровле гетерогенного фундамента.

В Западно-Арктической платформе выделены следующие тектонические единицы: орогенная система Западного Шпицбергена, западная часть прогиба Зюйдкап, северо-западная часть поднятия Стаппен. Глубина залегания кристаллическо-



**Рис. 2.** Определение мощности земной коры по данным гравиразведки и сейсморазведки МПВ-ГСЗ. а – разрез по профилю МПВ-ГСЗ (1 – осадочный чехол, 2 – “гранито-гнейсовый” слой, 3 – “базальтовый” слой, 4 – верхняя мантия); б – схема региональной составляющей аномалий Буге (1 – профили МПВ МАГЭ, 2 – ГСЗ (Czuba, 1991 г.); в – графики уравнений регрессии: 1 – линейной ( $h = -0.094\Delta g + 29.101$ ), 2 – квадратичной ( $h = 0.0005\Delta g^2 - 0.1865\Delta g + 31.424$ ), 3 – кубической ( $h = 29.09e^{-0.0045\Delta g}$ ); г – схема рельефа границы Мохо (1 – изогипсы границы Мохо, 2 – границы надпорядковых структур).

го фундамента по гравимагнитным данным изменяется от 5 до 10 км в восточном направлении.

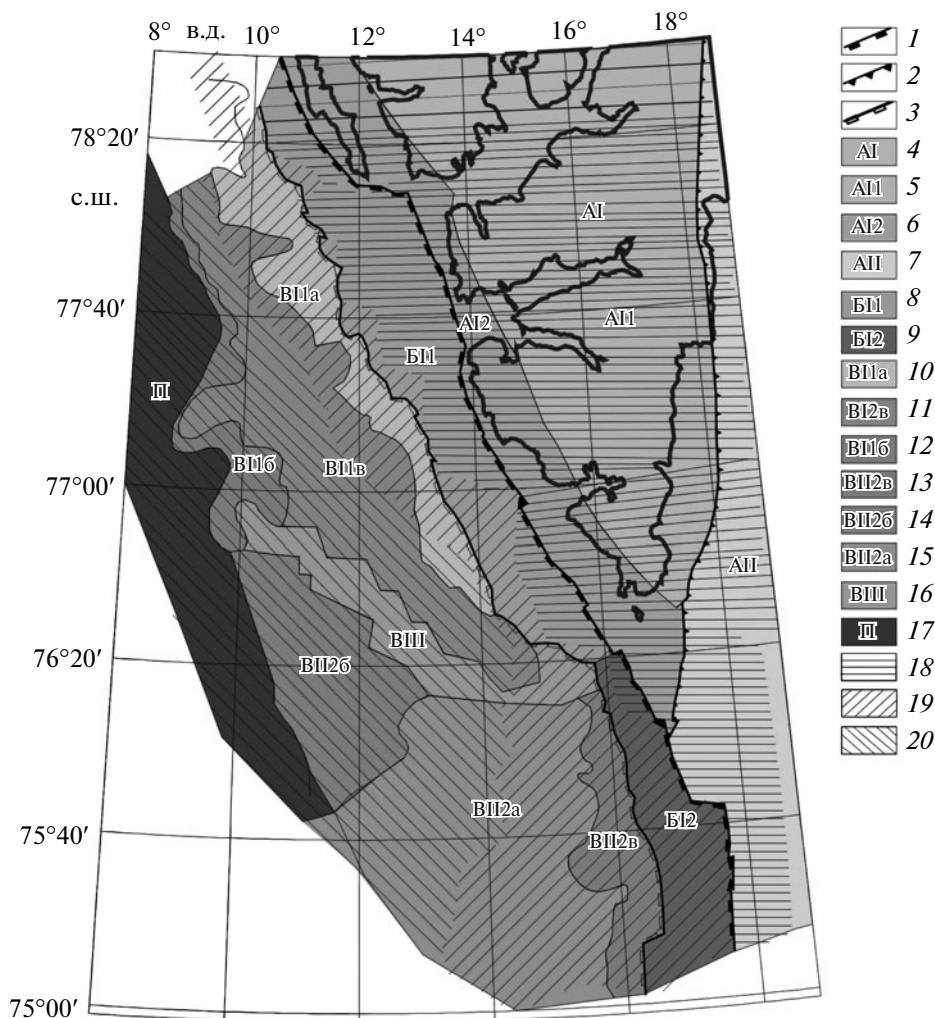
Норвежско-Шпицбергенская зона ступеней – область деструкции континентальной коры, ограниченная с запада и востока крупными региональными сбросами северо-северо-западного простирания (разломная зона Хорнсунн). В физических полях она выглядит как линейная зона положительных локальных аномалий шириной 15–20 км, вытянутых в северо-западном направлении. В пределах этой зоны многочисленные разрывные нарушения формируют систему грабенов и горстов, сегментированную сдвигами деформациями. В рамках рассматриваемой площади Норвежско-Шпицбергенская зона ступеней разделена на две части: ступень Принца Карла на севере и ступень Кнёлегга–Хорнсунн на юге.

Мощность коры в границах ступени Принца Карла уменьшается в западном направлении с 25 до 20 км, при этом на долю нижней части (базитовой) коры приходится 9–13 км. Выше залегает нижнепротерозойский (карельский или более древний) кристаллический фундамент. Кровля его зафиксирована на всех рядовых профилях, пересекающих ступень Принца Карла в крест про-

стиранию, на глубинах от 4 км на поднятых блоках до 13 км в прогибах.

Осадочный чехол представлен кайнозойскими и позднепалеозойско-мезозойскими отложениями. Кайнозойские комплексы отложений полностью заполняют глубоководный Норвежско-Гренландский океанический бассейн, переходную зону континент–океан, представленную периокеаническими прогибами. Максимальная мощность кайнозоя 10–12 км. Сложный рисунок сейсмозаписи в складчато-блоковом сооружении был интерпретирован с привлечением трансформант-гравитационного поля.

В результате интерпретации волнового поля временных разрезов выделено 15 региональных несогласий, характеризующих основные седиментационные этапы формирования осадочного чехла и ограничивающие крупные сейсмостратиграфические комплексы (ССК)  $\Phi_0$ ,  $\Phi_k$ , Фок, I(P<sub>2</sub>), Б(Т<sub>3</sub>), R9, R8, R7a, R7, R6, R5, R5a, R4, R3, R2, R1. В пределах ССК выделены сейсмостратиграфические подкомплексы (ССПК) и сейсмтолщи. В строении позднепалеозойско-мезозойского осадочного чехла участвуют три комплекса:



**Рис. 3.** Схема тектонического районирования Западно-Шпицбергенской континентальной окраины.

1–3 границы: 1 – Западно-Арктической платформы, 2 – мегаблоков Западно-Арктической платформы, 3 – Норвежско-Шпицбергенской зоны ступеней; 4–7 – Западно-Арктическая платформа: 4 – Западно-Шпицбергенский ороген, 5 – Плато Шпицберген, 6 – горст западного побережья, 7 – Свальбардская плита; 8, 9 – Норвежско-Шпицбергенская зона ступеней: 8 – ступень Принца Карла, 9 – ступень Кнёлегга-Хорнсуун; 10–16 – зона периокеанических прогибов: 10–12 – прогиб Атка (10 – Исфьордовская присклоновая ступень, 11 – Аткинская впадина, 12 – присклоновая ступень хребта Книповича); 13–16 – Поморский прогиб (13 – Западно-Медвежинская шельфовая ступень, 14 – подсклоновая ступень хребта Книповича, 15 – Поморский прогиб, 16 – Серкапская седловина); 17 – моноклираль хребта Книповича; 18–20 – тип земной коры: 18 – континентальная, 19 – переходная, 20 – океаническая.

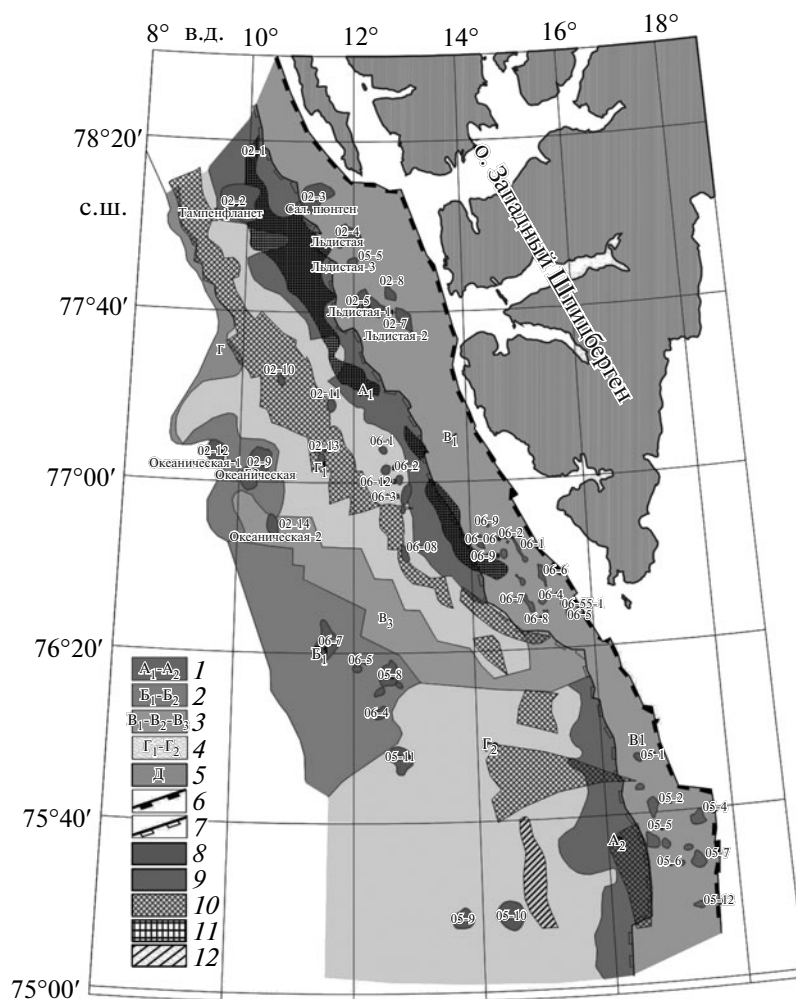
каменноугольно-пермский, триасовый, верхнеюрско-меловой.

Разрез кайнозойского осадочного чехла начинается с олигоцен-нижнемиоценовых(?) отложений. Поверхность R8, ограничивающая в кровле олигоцен-нижнемиоценовый комплекс, носит признаки эрозионно-тектонического характера. В подошве комплекс ограничен поверхностью гетерогенного фундамента (Фк, Фок).

Средне-верхнемиоценовый(?) комплекс (R8–R7a) установлен в Поморском прогибе и южной части прогиба Атка. В волновом поле вблизи зон выклинивания регистрируются высокоамплитудные

отражения, которые могут свидетельствовать о наличии в разрезе мощных песчаных пачек. Верхнеплиоценовые отложения (R7a–R6) представлены повсеместно в пределах зоны периокеанических прогибов.

В строении эоплейстоценовой толщи выделены нижнеэоплейстоценовый и верхнеэоплейстоценовый ССК (R6–R5 и R5–R4). Перспективы нефтегазоносности рассматриваемого интервала разреза могут быть связаны с пачками песчаников, залегающих в ундаформных частях клиноформных тел. Здесь также присутствуют аномалии сейсмической записи типа “яркое пятно”.



**Рис. 4.** Схема перспективности Западно-Шпицбергенской континентальной окраины на залежи углеводородов.

1–5 – плотность прогнозных ресурсов УВ по категории  $D_2$ , тыс. т у.т. км<sup>2</sup>: 1 – высокоперспективные (7–10), 2 – перспективные (5–7), 3 – перспективные (3–5), 4 – низкоперспективные (1–3), 5 – бесперспективные (менее 1); 6, 7 – границы: 6 – Западно-Арктической платформы, 7 – Норвежно-Шпицбергенской зоны ступеней; 8 – локальные поднятия в кайнозойском осадочном чехле; 9 – локальные поднятия в палеозой-мезозойском осадочном чехле; 10 – литолого-стратиграфические ловушки УВ; 11 – тектонически-экранированные ловушки УВ; 12 – аномалии сейсмической записи типа “яркое пятно”.

Верхняя часть осадочного чехла между горизонтами R4–дно подробно изучена методами сейсмоакустики. Четвертичные отложения в пределах акватории развиты преимущественно на глубинах более 80–100 м. Насчитывается до 6 клиноформ, наращивающих шельф и отражающих трансгрессивно-регрессивный характер осадконакопления.

В недислоцированном кайнозойском осадочном чехле выявлены 31 антиклинальное поднятие общей площадью 1472 км<sup>2</sup> и ловушки неструктурного типа. В дислоцированном палеозойско-мезозойском осадочном комплексе Саффолкского грабена выявлено 13 локальных структур общей площадью 174 км<sup>2</sup> (рис. 4).

Наиболее перспективны ловушки, приуроченные к Исфьордовской присклоновой ступени и Западно-Медвежинской шельфовой ступени, а также неструктурные ловушки, расположенные в пределах Норвежно-Шпицбергенской зоны ступеней. Здесь по данным геохимических исследований вдоль бровки шельфа выявлена зона повышенного содержания углеводородных газов, имеющих эпигенетическую природу, что позволяет предположить миграцию углеводородов на этих участках из более глубоких горизонтов. Локальные антиклинальные структуры, выделенные в палеозой-мезозойских комплексах Саффолкского грабена в отношении перспективности следует оценивать осторожно. С одной стороны, скважины Шпицбергена показали, что способные гене-

ризовать углеводороды отложения находятся в диапазоне от рифея до палеогена [13], с другой стороны, вследствие многочисленных тектонических нарушений ловушки Саффолкского грабена могут утратить залежь. Довольно высокие перспективы намечаются в пределах Гренландской и Западно-Шпицбергенской подсклоновых ступеней.

Наличие коллекторов отмечено в следующих сейсмокомплексах.

Олигоцен – нижнемиоценовый ССК (Фк, Фок) характеризуется развитием в своей геологической истории регрессивных и трансгрессивных этапов седиментации. Отсюда возможно формирование не только коллекторов, но и покрышек.

Плиоценовый ССК (R7a–R6) характеризуется несколькими этапами регрессий и трансгрессий. Нижнеэоплейстоценовый ССК (R6–R5), состоящий из двух подкомплексов, претерпел регрессивную и трансгрессивную фазы. На регрессивном этапе сформировался комплекс R6–R5a, в котором с большой долей вероятности можно ожидать формирование коллекторских толщ. Трансгрессивная фаза седиментации (R5a–R5) должна обеспечить формирование флюидоупоров.

Таким образом, проведенные комплексные геофизические работы и последующие их обработка и интерпретация дают основания для оптимистической оценки Шпицбергенской континентальной окраины в отношении нефтегазоносности. Этому способствуют следующие факторы: большая мощность осадочного чехла, большая скорость накопления осадков, наличие ловушек углеводородов структурного и неструктурного типов, прогнозируемые коллекторы и покрышки в осадочном разрезе, признаки газогидратов в верхней части осадочного чехла, присутствие мантийных диапиров, которые могут служить катализаторами для созревания углеводородов.

Следовательно, комплексный характер исследований позволяет осветить широкий спектр вопросов, связанных с геологическим строением Шпицбергенской континентальной окраины, начиная с глубинных горизонтов коры в целом и заканчивая четвертичными. Проведено тектониче-

ское районирование, расчленен осадочный чехол, выявлены потенциальные объекты, перспективные на залежи углеводородов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Krasilshchikov A.A., Kubansky A.P., Ohta Y.* // Polar Res. 1995. V. 14. № 1. P. 55–68.
2. *Шунилов Э.В., Тарасов Г.А.* Региональная геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Западно-Арктического шельфа России. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. 305 с.
3. *Faleide J.I., Tsikalas F., Breivik A.J., Mjelde R., Ritzmann O., Engen O., Wilson J., Eldholm O.* // Episodes. 2008. V. 31. № 1. P. 1–10.
4. *Solheim A., Andersen E.S., Elverhoi A., Fiedler A.* // Global & Planet. Change. 1996. № 12. P. 135–148.
5. *Forsberg C.F., Solheim A., Elverhoi A., Jansen E., Channel J.E.T., Andersen E.S.* In: Proc. ODP. Sci. Results. College Station (TX), 1999. V. 162. P. 233–246.
6. *Гусев Е.А., Рекант П.В., Мусатов Е.Е., Шкарубо С.И.* В сб.: Комплексные исследования природы Шпицбергена. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. В. 3. С. 85–91.
7. *Захаренко В.С., Тарасов Г.А., Парамонова М.С., Прокопина М.В., Шлыкова В.В.* Разведка и охрана недр. 2007. № 9. С. 30–31.
8. *Knies J., Mattingsdal R., Fabian K., Grosfeld R., Baranwal S., Husum K., Schepper S., Vogt C., Andersen N., Mathiessen J., Andreassen K., Jokat W., Nam S., Gaina C.* // Earth and Sci. Planet. Lett. 2014. № 387. P. 132–144.
9. *Alexanderson H., Ingólfsson Ó., Murray A.S., Dudek J.* // Boreas. 2013. V. 42. P. 532–543.
10. *Landvik Jon Y., Alexanderson H., Henriksen M., Ingólfsson Ó.* // Quatern. Sci. Rev. 2014. V. 92. P. 258–268.
11. *Czuba W., Grad M., Guterch A.* // Polish Polar Res. 1999. V. 20. № 2. P. 131–148.
12. *Казанин Г.С., Кириллова-Покровская Т.А., Тарасов Г.А., Федухина Т.Я., Шлыкова В.В.* В сб.: Комплексные исследования природы Шпицбергена. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. В. 6. С. 65–75.
13. *Верба М.Л.* // Нефтегаз. геология. Теория и практика. 2007. С. 1–22. www.ngtpr.ru.
14. *Погребницкий Ю.Е., Горячев Ю.В., Трухалев А.И.* В сб.: Мировой океан. М., 2001. В. 3. С. 44–48.