

Вестник Московского университета. Серия 4: Геология: Научный журнал. №6/2007.
С. 42-46. / Тевелев А.В., Шатагин Н.Н., Шариф Д. и др.; Учредитель: МГУ; Гл.ред.
Д.Ю.Пущаровский. - М.: МГУ, 2007. - 64с. - Указатель авторов и статей за 2007 г. в №6.
- Журнал, выходит 1 раз в 2 месяца, основан в ноябре 1946.

УДК 552.578(262.81)

Корреляция геолого-геофизических параметров вдоль оси Срединно-Атлантического хребта и преддуговые обстановки на его восточном фланге

Соколов Н.С.

Введение. Современный уровень геолого-геофизической изученности Атлантического океана самими различными методами позволяет анализировать его территорию на глобальном и частично региональном масштабных уровнях, считая покрытие этой территории полным и равномерным. Накопленный набор данных представляет разные компоненты единой системы и позволяет решать разнообразные задачи о строении литосферы Атлантики и Срединно-Атлантического хребта (САХ), как зоны наращивания молодой океанической коры. Анализ данных на большой площади и вдоль оси САХ показывает наличие взаимосвязанной системы фактов, не все из которых объяснимы с точки зрения ставшей классической геодинамической модели океана. Данная работа посвящена описанию упомянутой системы фактов вдоль САХ и их корреляции с некоторыми площадными данными. Модификация геодинамической теории проводиться не будет.

Используемые материалы. В работах [1-3] проводился анализ неоднородностей литосферы Атлантического океана по 10 геолого-геофизическим параметрам. Была проведена классификация этих неоднородностей методом кластерного анализа, при котором определялись различные устойчивые сочетания параметров (кластеры), незаметные при обычном визуальном анализе. Для определения типов литосферы были выбраны следующие параметры: мощность осадочного чехла, тепловой поток, рельеф дна, гравитационная аномалия Буге, изостазия, томография по поверхностным волнам Лява, продольным и поперечным волнам, аномальное магнитное поле (в аналитическом виде), плотность суммарного сейсмического момента (количество выделившейся сейсмической энергии на единицу площади). Все данные, выбранные для описания литосферы Атлантики, имеют равномерное покрытие изучаемой площади. Расчеты проводились для матриц с параметризацией $1^\circ \times 1^\circ$ дуговой градус. Не рассматривались свойства литосферы на прилегающих континентах и в областях проявления субдукции (море Скоша, Карибский бассейн).

Основные результаты проведенной классификации литосферы Атлантики представляют собой 15 устойчивых сочетаний использованных параметров (кластеров), значения которых приведены в таблице.

Таблица.

Абсолютные значения центров кластеров и стандартные отклонения значений кластера в многомерном пространстве используемых параметров

| | Аномалия Буге (мГал) | | Тепловой поток (mW/M ²) | | Изостазия (мГал) | | Томография по волнам Лява (%) | | Томография по Р-волнам (%) | | Сейсмический момент [J/km ²]·10 ⁺¹³ | | Осадочный чехол (м) | | Томография по S-волнам (%) | | Рельеф (м) | | Модуль градиента АМП (нТл/км) | |
|--------|----------------------|-------|-------------------------------------|-------|------------------|-------|-------------------------------|-------|----------------------------|-------|--|-------|---------------------|-------|----------------------------|-------|------------|-------|-------------------------------|-------|
| | Кластер | Центр | σ | Центр | σ | Центр | σ | Центр | σ | Центр | σ | Центр | σ | Центр | σ | Центр | σ | Центр | σ | Центр |
| No. 1 | 283 | 70 | 57 | 16 | 53 | 29 | 4.28 | 2.10 | 0.05 | 0.09 | 2.91 | 20.23 | 699 | 773 | 0.35 | 1.41 | -3493 | 985 | 0.099 | 0.053 |
| No. 2 | 323 | 36 | 67 | 12 | -2 | 13 | 4.67 | 1.67 | 0.03 | 0.08 | 1.35 | 15.18 | 392 | 381 | -1.18 | 0.93 | -4336 | 541 | 0.068 | 0.039 |
| No. 3 | 367 | 42 | 52 | 13 | -41 | 18 | 4.10 | 2.70 | 0.10 | 0.15 | 0.05 | 0.69 | 788 | 733 | 0.47 | 1.20 | -5190 | 534 | 0.082 | 0.045 |
| No. 4 | 56 | 49 | 61 | 20 | 18 | 20 | -0.35 | 2.58 | 0.04 | 0.19 | 0.86 | 17.18 | 2041 | 1164 | 1.13 | 1.31 | -561 | 640 | 0.129 | 0.063 |
| No. 5 | 210 | 73 | 222 | 36 | 13 | 18 | 3.67 | 2.11 | -0.14 | 0.36 | 19.41 | 73.27 | 204 | 263 | -3.62 | 1.83 | -2457 | 1104 | 0.114 | 0.127 |
| No. 6 | 363 | 32 | 50 | 11 | -6 | 13 | 5.15 | 1.88 | 0.05 | 0.07 | 0.18 | 3.68 | 685 | 574 | 1.44 | 0.91 | -5012 | 476 | 0.074 | 0.039 |
| No. 7 | 264 | 39 | 43 | 19 | 8 | 14 | 2.51 | 1.39 | 0.00 | 0.07 | 6.26 | 27.79 | 153 | 174 | -3.35 | 0.80 | -3426 | 632 | 0.049 | 0.034 |
| No. 8 | 152 | 75 | 74 | 28 | 3 | 14 | 1.29 | 1.98 | -0.48 | 0.19 | 10.15 | 75.77 | 568 | 523 | -3.90 | 1.51 | -1643 | 1049 | 0.218 | 0.068 |
| No. 9 | 261 | 66 | 51 | 14 | -12 | 19 | 2.03 | 2.48 | 0.06 | 0.15 | 1.06 | 22.93 | 3273 | 1079 | 1.60 | 1.09 | -3747 | 909 | 0.083 | 0.041 |
| No. 10 | 255 | 56 | 130 | 24 | 7 | 16 | 3.73 | 1.85 | -0.03 | 0.14 | 9.62 | 49.12 | 251 | 309 | -2.78 | 1.10 | -3226 | 850 | 0.071 | 0.047 |
| No. 11 | 336 | 37 | 52 | 12 | -6 | 12 | 3.77 | 1.82 | 0.03 | 0.06 | 0.04 | 0.44 | 203 | 287 | -1.18 | 1.00 | -4595 | 521 | 0.054 | 0.033 |
| No. 12 | 229 | 89 | 54 | 21 | -3 | 19 | 2.69 | 2.04 | 0.08 | 0.17 | 1.24 | 24.41 | 1780 | 1056 | 0.25 | 1.44 | -2984 | 1250 | 0.272 | 0.074 |
| No. 13 | 99 | 65 | 52 | 17 | 19 | 25 | 1.07 | 2.43 | 0.05 | 0.13 | 0.08 | 0.56 | 6491 | 1605 | 1.93 | 0.96 | -1317 | 990 | 0.167 | 0.092 |
| No. 14 | 202 | 56 | 108 | 33 | -2 | 22 | 2.89 | 1.42 | 1.09 | 0.25 | 9.96 | 31.59 | 1084 | 865 | 0.59 | 1.31 | -2349 | 782 | 0.168 | 0.072 |
| No. 15 | 57 | 54 | 73 | 29 | 2 | 27 | 0.74 | 1.05 | 0.90 | 0.29 | 0.27 | 1.12 | 6040 | 1888 | 1.54 | 0.73 | -542 | 518 | 0.198 | 0.058 |

Полученные типы формируют 4 основные тектонические группы:

1 группа САХ (2, 5, 7, 10, 11, 8, 14, выделено серым цветом);

2 группа глубоководных котловин (6, 12);

3 группа континентальных окраин (4, 9, 13, 15);

4 группа наложенных явлений (1, 3).

В данной работе рассматривается корреляция группы кластеров САХ с другими геолого-геофизическими параметрами вдоль оси хребта.

Результаты корреляции данных. Опираясь на опыт работы [4], в которой был установлен факт корреляции гравитационных аномалий Фая и Буге вдоль оси САХ с характеристиками продуктивности базальтового магматизма и типами базальтов, начнем описание характеристик САХ именно с этих аномалий (рис. 1 А, Б). Для построения профилей этих аномалий использовались данные спутниковой альtimетрии [5], данные по рельефу дна [6] и рассчитанные по ним аномалии Буге [7]. Значения гравитационной аномалии Фая, которые в основном пропорциональны рельефу, показывают положительные аномалии в области Исландского и Азорского плюмов, а также в области горячей точке Буве (~54° ю.ш.), что прекрасно коррелируется с повышенной продуктивностью магматизма в районе плюмов под САХ, а также с проявлением характерной глубинной базальтовой ассоциации [8] – «плюмовой». Области холодной и более жесткой литосферы характеризуются пониженным и более дифференцированным значением аномалии Фая, которые занимают практически всю центральную и в значительной степени южную Атлантику. Аномалия Буге в основном отражает положение границы М, и является практически зеркальным отображением аномалии Фая. Это говорит о том, что области повышенной продуктивности базальтового магматизма обладают также повышенной мощностью коры вдоль САХ, залегающей на вязком мантийном субстрате в области плюмов, а также являются

областями, где работает изостатический механизм, уравновешивающий нагрузки коры на мантию архимедовыми силами выталкивания.

На Рис. 1.В вдоль САХ показано распределение литосферных типов (кластеров) группы 1 (см. Таблицу). Главными кластерами оси САХ являются кластеры 5, 10 и 7. Кластер 5 является проявлением экстремальных значений теплового потока и томографии, свойственных областям плюмов. Он характеризует наиболее прогретые участки САХ с наиболее глубинным магматизмом и повышенным фоном низкоамплитудной сейсмичности. Последнее происходит из-за того, что в областях литосферы с пониженной вязкостью сильные напряжения не накапливаются, и происходит частая разрядка тектонической энергии в слабых сейсмических событиях. Кластер 10 имеет сходную интерпретацию, но представляет менее контрастные значения тех же параметров. Его положение на САХ обрамляет участки проявления плюмов по расположению кластера 5 и показывает наличие слабопрогретых локальных участков САХ, которые по своему масштабу не могут быть названы плюмами. К числу кластеров с экстремальными плюмовыми значениями должен быть отнесен также кластер 8, проявленный в районе Исландии. Кластер 7 показывает участки САХ со значениями параметров, противоположными плюмовым областям, и маркирует проявления холодной и жесткой литосферы вдоль хребта, что хорошо согласуется с общей картиной по гравитационным аномалиям (см. Рис.1 А,Б). Кластеры 2, 11, 14 представляют собой переходные сочетания параметров между САХ и котловинами, изредка подступающие к оси САХ. Их проявления на САХ весьма редки. Кластер 1 хоть и относится к группе наложенных явлений котловин, все равно по своим значением является переходным типом, сопоставимым с кластерами 2, 11, 14.

На Рис. 1.Г приведено распределение основных ассоциаций базальтов по данным [8]: 1 – «плюмовая», отличающаяся продуктивным магматизмом и глубоким положением магматических очагов (до 700 км); 2 –«спрединговая», менее продуктивная, образующая тонкую кору, вплоть до ее отсутствия (зоны «сухого спрединга») в условиях холодной и жесткой литосферы. Проявления данных ассоциаций на оси САХ полностью коррелируется с положением геофизических аномалий, подчеркивающих указанные свойства базальтовых ассоциаций. Спрединговый тип развит практически повсеместно, но максимальная его плотность приходится на холодный блок центральной Атлантики. Плюмовый тип развит главным образом в районе Исландии, Азорских островов и горячей точки Буве, хотя отдельные его проявления совпадают с положением неконтрастного кластера 10 (см. Рис.1.В).

На рис.1.Д показано распределение трансформных разломов по точкам их пересечения оси САХ. Размер вертикального символа, обозначающего положение пересечения, нормирован по длине трансформного разлома по обоим пассивным частям. Анализ этого графика показывает отсутствие связи плотности встречаемости трансформов с планетарной кривизной вдоль субмеридионального направления. Более обоснованной выглядит связь с наличием в литосфере САХ холодных и горячих блоков. В области проявления плюмов длина и плотность разломов падают практически до нуля. В области холодных блоков (центр и юг Атлантики) наблюдается резкое усиление и частоты и длины разломов, причем наиболее ярко эта ситуация иллюстрируется по зонам Романш и Агульяс. Хорошо видно, что эти концентрации тяготеют к местам на САХ, где частота проявлений плюмовых ассоциаций базальтов понижена. Вместе с тем надо отметить, что данная связь разломов с жесткостью блоков САХ не отменяет влияние планетарной кривизны, как одного из факторов формирующих эту трещинноватость. Корреляция пассивных частей разломов со свойствами САХ говорит о явлении наследования свойств литосферы в течении длительного (до 150 млн лет) времени по мере ее наращивания в зоне спрединга.

На Рис.1Е показано положение относительно САХ наиболее любопытного геодинамического кластера 3. Он характерен тем что представляет собой сочетание параметров, свойственное преддуговым зонам, в частности Тихого океана – максимальное значение аномалии Буге и минимальное значение изостатической аномалии. Данный кластер проявлен в виде субширотных зон в котловинах океана. На рисунке показано положение литосферы этого типа к востоку от хребта относительно САХ. Распространение этой группы наблюдается не только в преддуговых областях моря Скоша и Карибского бассейна. Обнаружено широкое площадное распространение этого типа литосферы по всей Атлантике включая зоны проявления плюмов. Тем не менее в южной Атлантике эти зоны более или менее уверенно коррелируются с концентрациями трансформных разломов. Давать теоретическое объяснение этим фактам в данной работе не предусмотрено.

Проиллюстрируем реальность существования преддуговых обстановок в виде широтных зон в Атлантике несколькими субмеридиональными сейсмическими профилями, положение которых на восточной периферии Атлантического океана относительно оси САХ показано на Рис.1.Ж. Приведенные профили совпадают с проявлением кластера 3. Сами профили показаны на рисунке 2. Все они расположены в зоне котловин восточной окраины Атлантического океана. На каждом профиле отмечаются характерные надвиговые деформации осадочного чехла или верхней части консолидированной океанической коры, имеющие субмеридиональный азимут падения. Рис. 2А [9] показывает пересечение Азоро-Гибралтарского порога в восточной его части, где наличие надвигов и структур субмеридионального сжатия доказано множеством исследований. Отметим, что в середине порога сжатие переходит в сдвиг а по мере приближении к САХ – в растяжение. Рис. 2Б [10] показывает наличие надвиговых плоскостей в районе исследований по программе Канаро-Багамского геотраверса. Рис. 2В показывает наличие надвиговых структур в области конвергенции пассивной восточной части разлома $15^{\circ}20'$ с пассивными частями более южных разломов в районе уступа Кабо-Верде. Приведенные фрагменты показывают реальность существования крупномасштабного субмеридионального перемещения блоков литосферы Атлантики друг относительно друга.

Выводы. Сопоставление геолого-геофизических характеристик вдоль оси САХ и некоторых площадных характеристик Атлантики в целом показывает следующее.

1. Геофизические (аномалии Фая и Буге), геологические (типы базальтовых ассоциаций – плюмовая и спрединговая), морфологические (параметры трансформных разломов) и комбинированные (кластерные сочетания геолого-геофизических параметров) характеристики образуют взаимозависимую и непротиворечивую комбинацию фактов, которая реализована вдоль оси САХ и может быть распространена на периферийные области океана.
2. Вся совокупность фактов имеет четкую геодинамическую интерпретацию в терминах сочетания холодной и жесткой литосферы с одной стороны и прогретой и вязкой с другой, по которому соответствующим образом распределяются проявления связанных с геодинамическими обстановками типов магматизма, сейсмичности, теплового потока и других характерных параметров.
3. Концентрация и длина трансформных разломов тяготеет к сегментации САХ, проводимой по указанным выше свойствам жесткости и температурного состояния литосферы, ассоциированного с глубинной динамикой и магматизмом в большей степени, чем с планетарной кривизной.
4. Наличие субширотных сегментов литосферы Атлантики, имеющих преддуговые характеристики по данным кластерного анализа, подтверждается наличием

надвиговых структур на субмеридиональных сейсмических профилях на восточной глубоководной окраине океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов Н.С. Неоднородность литосферы приэкваториальной Атлантики по геофизическим данным // R-ridge-03. Рабочее совещание российского отделения InterRidge. Москва. 1-3 октября 2003. ГЕОХИ РАН. С. 44.
2. Соколов Н.С., Соколов С.Ю., Дмитриев Л.В. Геодинамическое районирование литосферы центральной Атлантики по данным кластерного анализа геолого-геофизических параметров и данным о локализации главных петрологических типов базальтов // Russian-RIDGE Abstract volume. VII Okeangeologia. St. Petersburg. 6-8 June 2005. P. 25-26.
3. Dmitriev L.V., Sokolov N.S., Sokolov S.Y. Statistical estimation of the geophysical fields and basalt assemblages distribution in the Central Atlantic. // Goldschmidt-2004 (Copenhagen, June 5-11, 2004). Abstract volume. 2004. P. A709
4. Дмитриев Л. В., Соколов С. Ю., Мелсон В. Г., О'Хирн Т. Плюмовая и спрединговая ассоциации базальтов и их отражение в петрологических и геофизических параметрах северной части Срединно-Атлантического хребта. // Российский журнал наук о Земле. 1999. Ноябрь. Т.1. №.6
5. Sandwell D.T., Smith W.H.F. Marine Gravity Anomaly from Geosat and ERS-1 Satellite Altimetry. // J. geophys. Res. 1997. Vol. 102. N B5. p. 10039-10054.
[\(ftp://topex.ucsd.edu/pub/\)](ftp://topex.ucsd.edu/pub/)
- 6.ETOPO5 Set. Global Relief Data CD. 1993. NOAA Product # G01093-CDR-A0001.
7. Мазарович А.О., Соколов С.Ю. Анизотропия внутриплитных деформаций Атлантического океана // Современные проблемы геологии. М.: Наука. 2004. С. 221-250 (Тр.ГИН. В. 565)
8. Дмитриев Л.В., Соколов С.Ю., Плечова А.А. Статистическая оценка вариаций состава и Р-Т условий эволюции базальтов срединно-океанических хребтов и их региональное распределение // Петрология. 2006. Том.14. №3. С.227-247.
9. TORTELLA D., TORNE M., PEREZ-ESTAUN A. Geodynamic Evolution of the Eastern Segment of the Azores-Gibraltar Zone: The Gorringe Bank and the Gulf of Cadiz Region. Marine Geophysical Researches 19: 211–230, 1997.
10. Глубинное строение и эволюция литосферы Центральной Атлантики (Результаты исследований на Канаро-Багамском геотраверсе). Под. Ред С.П. Машенкова и Ю.Е.Погребицкого. СПб: ВНИИОкеангеология, 1998. 299 с.

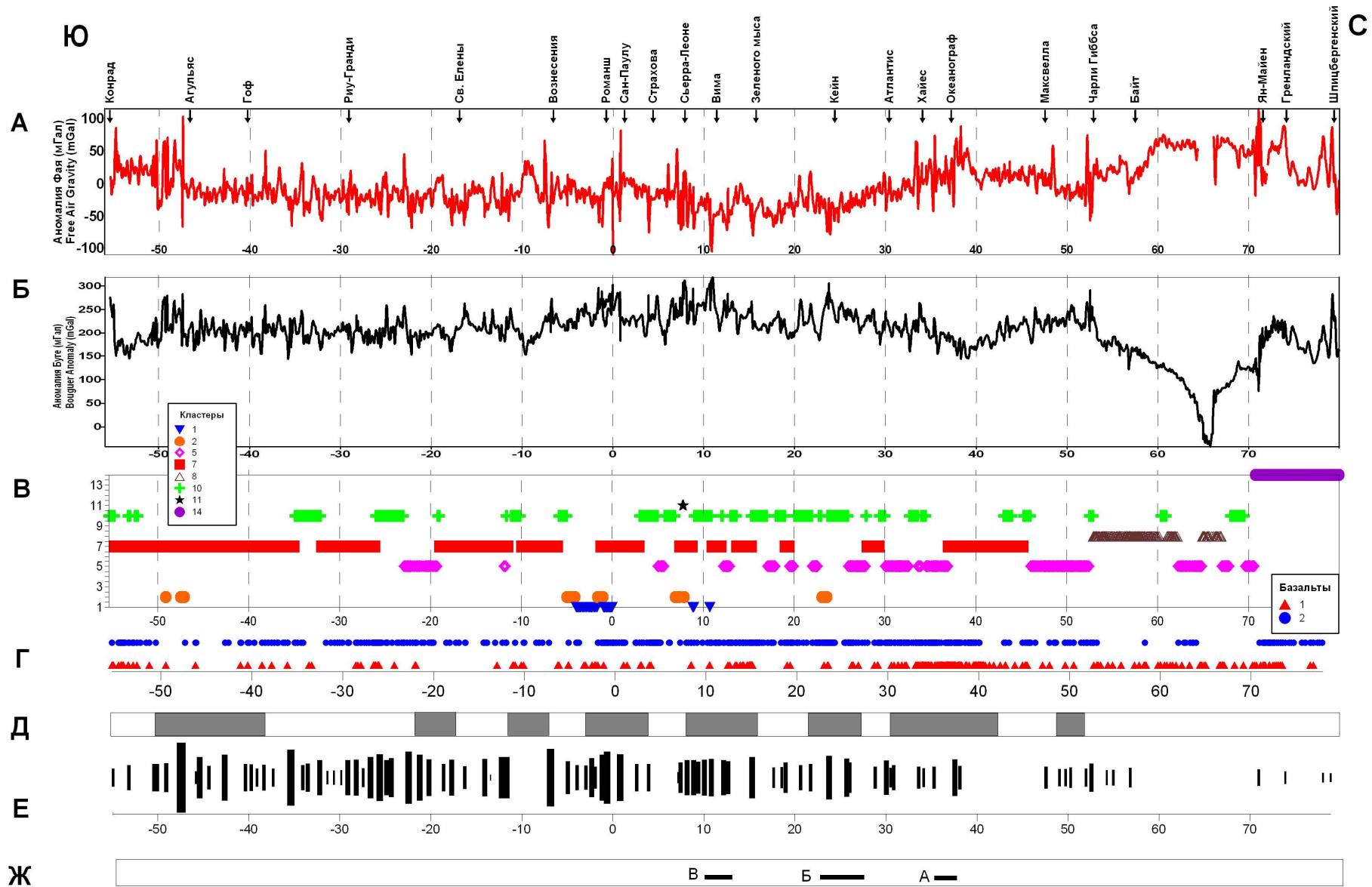


Рис. 1. Схема сопоставления геолого-геофизических параметров вдоль оси САХ (по горизонтальной оси на каждом графике дана широта в градусах).

А – значения аномалии Фая (мГал), стрелками показано местоположение основных трансформных разломов.

Б – значения аномалии Буге (мГал).

В – распределение кластеров осевой группы вдоль САХ. По вертикали отложены номера кластеров, обозначенных разными значками. Параметры кластеров приведены в Таблице.

Г – распределение основных ассоциаций базальтов [8]: 1 – «плюмовая», 2 – «спрединговая»

Д – пересечения осевой зоны САХ трансформными разломами. Размер символа нормирован длиной трансформного разлома по обоим пассивным частям.

Е – положение литосферы преддугового типа на восточной периферии САХ.

Ж – положение сейсмопрофилей А, Б и В рис. 2 на восточной окраине Атлантического океана относительно оси САХ.

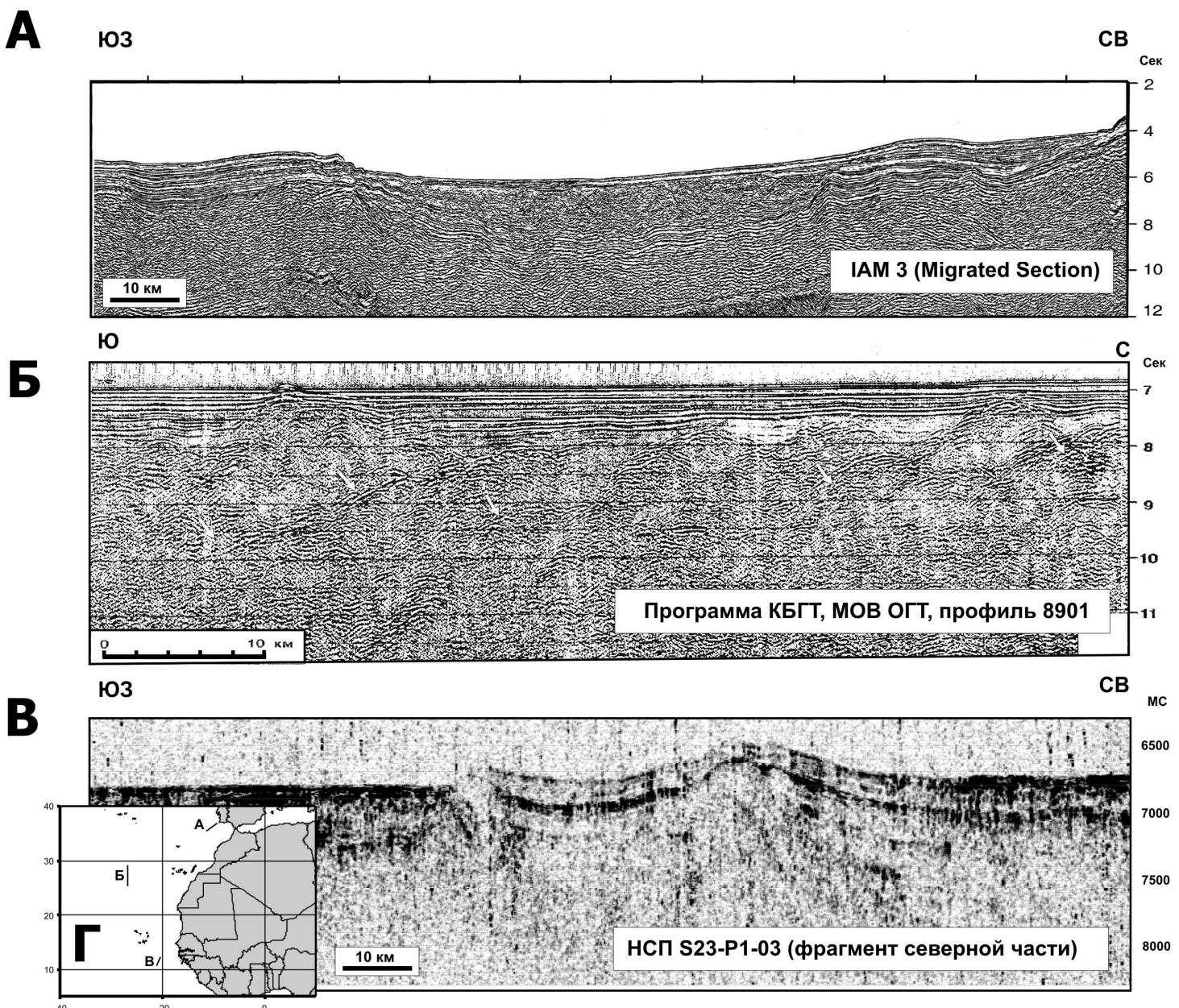


Рис. 2. Сейсмические профили на восточной окраине Атлантического океана.

А – Профиль IAM 3, [9].

Б – Профиль 8901, [10].

В - Профиль S23-P1-03 (фрагмент северной части) по данным 23 рейса НИС “Академик Николай Страхов” (с разрешения Геологического института РАН).

Г – Положение профилей А, Б и В на плане.