

**В.В. Гордиенко, Л.Я. Гордиенко**

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев

## **О РТ-УСЛОВИЯХ В МАНТИЙНЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ОЧАГАХ ПОД АТЛАНТИЧЕСКИМ ОКЕАНОМ**

---

*Рассмотрены геологические и геофизические факты, указывающие на океанизацию земной коры Атлантики. Проведено исследование РТ-параметров очагов магм в мантии океана. Они составляют около 20 км и 12 800 °С, 45 км и 12 900 °С, 65 км и 13 000 °С, 90 км и 14 000 °С. Перегретое и частично расплавленное мантийное вещество поступало на эти уровни с глубины около 200 км, где температура достигала 1600–16500 °С. Результаты согласуются с адвекционно-полиморфной гипотезой глубинных процессов.*

**Ключевые слова:** мантия океанов, глубинные процессы, источники магм, РТ-параметры

### **Введение**

Статья посвящена результатам исследований, продолжающих начатые в работе [4], с целью получения новых данных для последующего конструирования схемы тепломассопереноса в тектоносфере океанов. Поэтому в ней не будут рассматриваться используемые методики расчетов параметров очагов, достаточно полно приведенные в публикации [4]. Единственное исключение упомянуто ниже. С другой стороны, данные по Атлантике позволяют более подробно, чем в [4], остановиться на проблеме возникновения океанов, только опосредованно связанной с рассматриваемым вопросом. Поэтому в предлагаемую статью включен соответствующий раздел.

Прогнозные глубины кровель очагов, отвечающие используемой авторами адвекционно-полиморфной гипотезе (АПГ) процессов в тектоносфере Земли [3], составляют около 50, 70, 100, 150 и 200 км; температуры: 1200, 1300, 1350–1400, 1500–1550 и 1600–1650 °С. Глубины заметно меньше 50 км считаются относящимися к промежуточным приповерхностным очагам, где магма из более глубоких источников может накапливаться перед извержением. Глубина 70 км рассматривается как производная от глубины 50 км: она достигалась в процессе остывания (в том числе — и за счет

© В.В. ГОРДИЕНКО, Л.Я. ГОРДИЕНКО, 2013

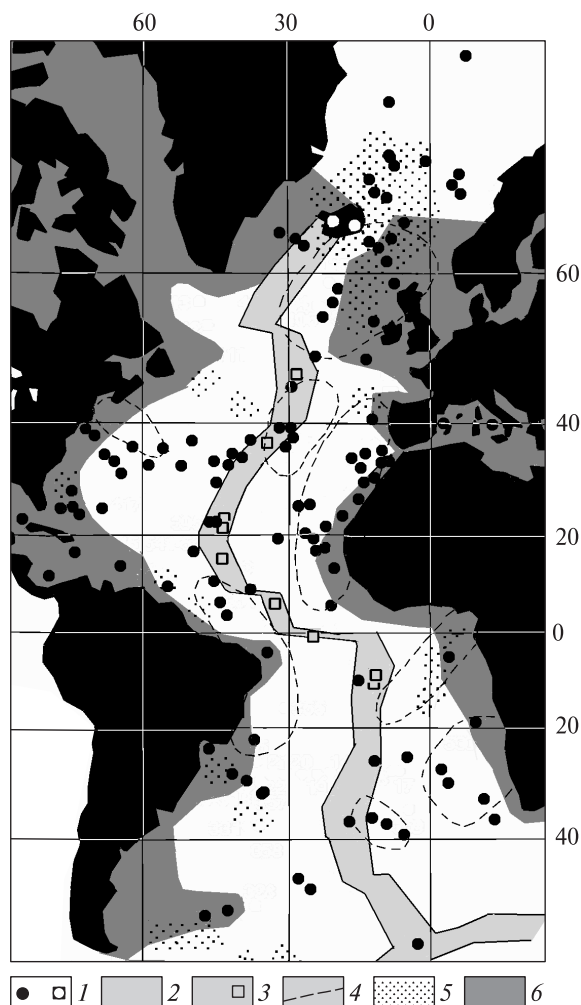


Рис. 1. Схема расположения пунктов отбора проб магматических пород дна Атлантического океана по [6, 7, 8, 13—15, 25—28, 30—33, 34, 37, 39 и др.]. 1 — пункты отбора проб; 2 — осевая зона Срединно-Атлантического хребта (САХ) по [1]; 3 — участки САХ, где встречены древние породы фундамента по [18, 23 и др.]; 4 — районы, сохраняющие специфический состав вулканитов на протяжении нескольких этапов магматической активности по [7]; 5 — районы недавней суши по [31]; 6 — шельф, материковый склон и подножье по [24]

выноса перегретого вещества) астенолита (кванта тектонического действия — КТД [3]) мощностью около 60 км, кровля которого первоначально остановилась на 40—50 км.

Кроме сведений по Атлантическому океану анализируются и данные по части Арктического (Северного Ледовитого). В этом случае речь идет о достаточно формальном отделении материала, полученного в пунктах северо-восточнее Фареро-Исландского порога, от остального массива. Имеющаяся в литературе информация о магматических породах островов Арктического океана целиком относится к районам с континентальной корой и поэтому в данной работе не используется.

В пределах собственно Атлантики собранные данные не позволяют в достаточной мере характеризовать магматизм немногочисленных островных дуг. Поэтому районы западного и восточного средиземноморий (СМ), т.е. Средиземного моря и Карибского моря с Мексиканским заливом, отнесены к «прибрежным» зонам океана (к которым отнесены шельф, материковые склоны и подножия материков) (рис. 1). В центре океана выделена осевая область Срединно-Атлантического хребта [1], к которой приурочена большая часть собранных данных. Районы между нею и прибрежной зоной рассматривались как единое целое.

**Об океанизации.** Перечислим кратко данные, сумма которых доказывает, что Атлантический океан не образовался в результате спрединга, как это предусматривает гипотеза тектоники плит (ГТП).

1. Кора Арктического океана по мощности — континентальная (рис. 2). «Океанической» мощностью обладает лишь 8—10 % его площади [11]. К этому типу относится и основная часть коры СМ. В море Скотия зафиксирована

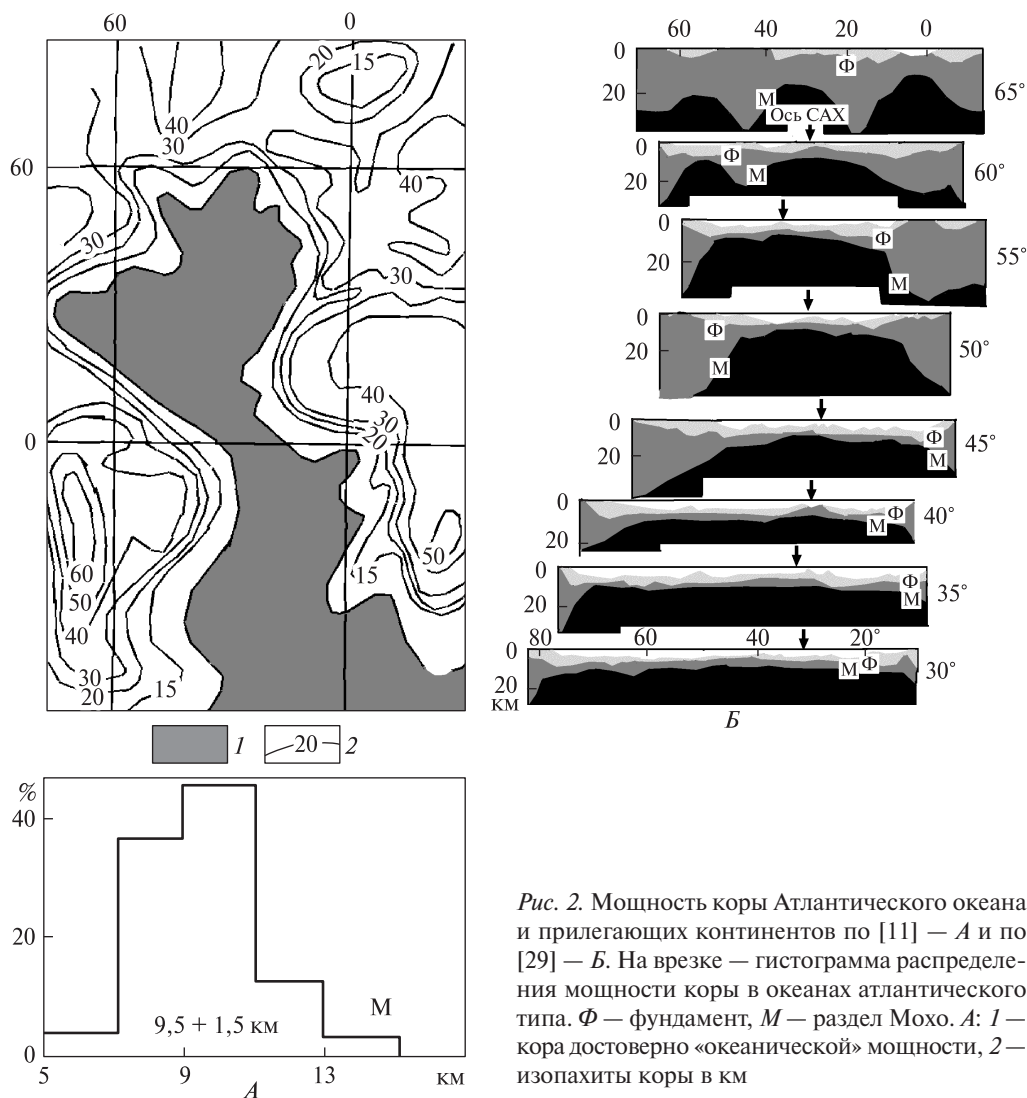


Рис. 2. Мощность коры Атлантического океана и прилегающих континентов по [11] — А и по [29] — Б. На врезке — гистограмма распределения мощности коры в океанах атлантического типа. Ф — фундамент, М — раздел Мохо. А: 1 — кора достоверно «океанической» мощности, 2 — изопахиты коры в км

континентальная кора с породами докембрийского или нижнепалеозойского возраста у поверхности [24].

Очевидно, что раздвигания континентов океанами, в которых зоны спрединга формируют тонкую океаническую кору, не было. И не только в Атлантике [11, 30].

2. Цирконы из лав, поднятых в разных точках осевой линии Срединно-Атлантического хребта, характеризуются возрастом 1–2 млн лет. Но встречаются цирконы гораздо более древних возрастов, подтвержденных изотопным составом гафния, от 457 до 2970 млн лет. Подобные древние цирконы обнаруживались и ранее [10], они могли быть вынесены из древней коры, подстилающей верхний слой. Такая кора обнаружена во многих пунктах на оси САХ и в крупных поперечных разломах (рис. 1) [18, 24 и др.]. Соответствующие данные приведены в табл. 1, где сопоставлены с датировками пород Украинского щита (УЩ) и расчетными возрастами активных событий на континентах (М) по АПГ [3].

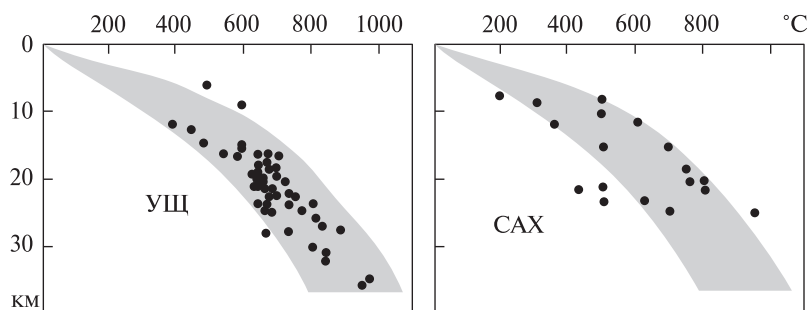


Рис. 3. Условия метаморфизма пород УЩ и САХ по данным, обобщенным в [3]. Серым цветом показан расчетный диапазон условий метаморфизма по АПГ

Очевидно, что все три совокупности датировок отражают близкие последовательности магматических и метаморфических событий. Изученность САХ много меньше, чем УЩ, а фанерозойская активность — больше. Отсутствие нескольких модельных датировок связано с расчетом эволюции одного блока. На щите и хребте датировки собраны на многих блоках, где активные события происходят с некоторыми сдвигами во времени [2].

Приведенная последовательность датировок совершенно не отвечает спредингу, при котором в изучаемом районе должны находиться породы с нулевым возрастом. Даже в базальтах второго слоя САХ, где метаморфизм пород происходил в несколько этапов, фиксируются возрасты 2—3, 27 и около 60 млн лет [24].

Метаморфические породы фундамента САХ возникли в условиях, ничем не отличающихся от обычных для мощной континентальной коры (рис. 3).

3. Распределение мелководных осадков в океане совершенно не соответствует представлениям ГТП — рис. 4 по [21]. Наиболее древние располагаются в центре региона, а не на периферии.

Очевидно, что океанизация началась с центра современной Атлантики и только через 100 млн лет достигла ее окраин. В центральной части практически по всей протяженности океана тянется широкая полоса меловых базальтов, захватывающая САХ [16, 31]. Она не могла бы сохраниться в этом месте при расши-

Таблица 1. Сравнение датировок расчетных возрастов активизаций по АПГ, экспериментально установленных возрастов активизаций УЩ и САХ в млн лет

М	УЩ	САХ	М	УЩ	САХ	М	УЩ	САХ
2650	2660	2630	2000	2000	2000	790	770	780
2600	2600	2580		1950		600	650	650
2550	2550		1850	1880	1860		500	510
2500	2500	2490	1800	1800		400	370	340
2400	2430	2420	1750	1750	1730		250	250
2350	2340			1690	1670	200	180	160
2280	2290			1580	1590			120
2240	2240		1480	1500	1500		70	70
2200	2200		1350	1350	1370			40
2150	2150		1250	1230				20
2120	2110		1100	1100	990	5	5	1—3
2060	2060		950	900	840			

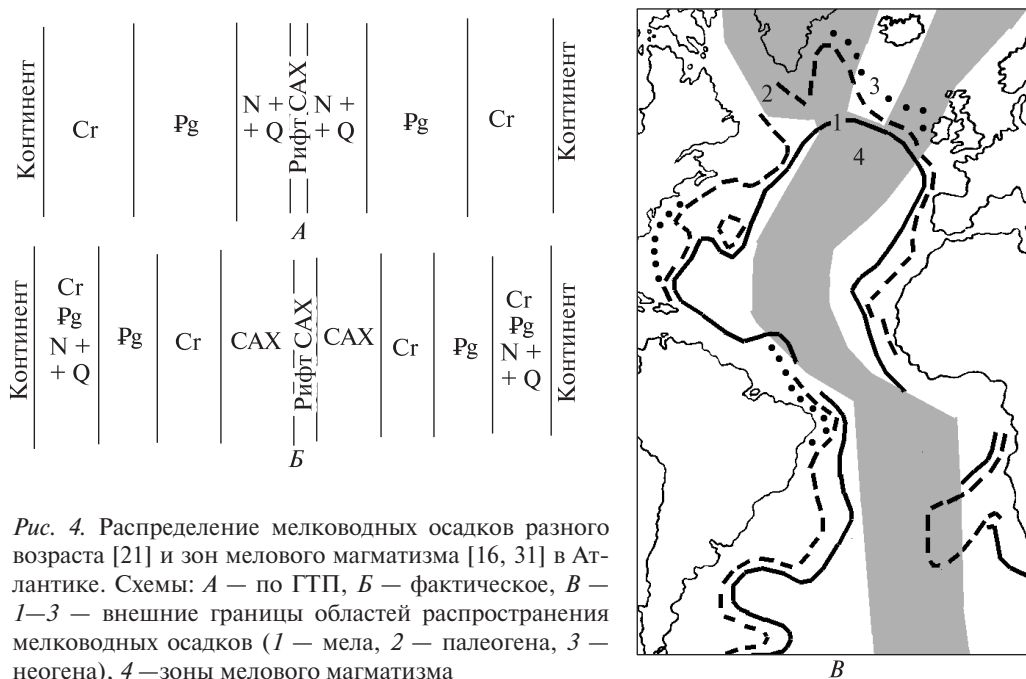


Рис. 4. Распределение мелководных осадков разного возраста [21] и зон мелового магматизма [16, 31] в Атлантике. Схемы: А — по ГТП, Б — фактическое, В — 1—3 — внешние границы областей распространения мелководных осадков (1 — мела, 2 — палеогена, 3 — неогена), 4 — зоны мелового магматизма

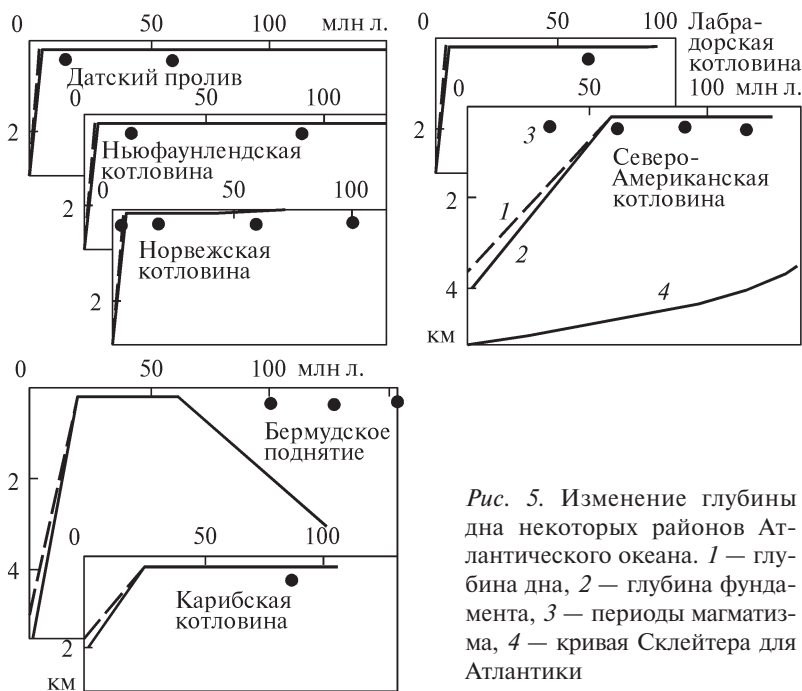


Рис. 5. Изменение глубины дна некоторых районов Атлантического океана. 1 — глубина дна, 2 — глубина фундамента, 3 — периоды магматизма, 4 — кривая Склейтера для Атлантики

рении дна в послемеловое время. Это проявление магматизма, в процессе которого произошли базификация и опускание коры [31]. По составу и распространённости он близок к траппам континентальных платформ.

О том же говорит сравнение датировок пород по разные стороны оси рифтовой долины САХ на расстоянии 5 и 6 км [23]. Порода с возрастом 3,5 млн лет при

принятой скорости спрединга 2,8 см/год должна находиться в 100 км от его оси, фактически она в пяти км. Порода с возрастом 20 млн лет должна бы находиться в 560 км в противоположную сторону от оси долины, а не в 6 км.

3. В океане распространены районы, где по различным признакам обнаружена недавняя суша — см. рис. 1 [31 и др.]. Ее погружение (увеличение глубины дна и кристаллического фундамента) происходило в виде внезапного обрушения, а не в соответствии с «кривой Склейтера» по мере остывания плиты,двигающейся от САХ к континентам [21] — рис. 5.

В океане выявлены магматические провинции, породы которых обладают специфическим составом вулканитов на протяжении нескольких этапов активности. Автор публикации [7] считает этот факт несовместимым с перемешиванием вещества верхней мантии при конвекции, подразумеваемой гипотезой тектоники плит.

4. Тепловой поток (ТП) в океанах (в том числе — в Атлантическом) совершенно не соответствует предполагаемому по ГТП. На оси всех СОХ, как и в континентальных гидротермальных районах, тепловой поток высокий и резко изменчивый, нормализующийся на небольшом расстоянии за их границами. Сравнение с расчетными величинами тут не имеет смысла при реальной изученности параметра. Вне этой узкой зоны ТП меняется менее значительно и, в целом, не закономерно по отношению к оси хребта (табл. 2).

Для расчета ТП по ГПТ необходимо знать «скорость разрастания дна океана», которая обычно устанавливается по расстоянию между полосовыми магнитными аномалиями. К настоящему времени этот метод (сам по себе основанный на целом ряде никем не доказанных допущений) дискредитирован полностью. Можно согласиться, что «... апелляция к впечатляющим совпадениям «независимых» определений возраста литосферы по данным магнитной съемки и глубоководного бурения иллюзорна. На самом деле эти совпадения определены технологией идентификации аномалий, основанной на увязке магнитных профилей со

**Таблица 2. Средний тепловой поток на склонах срединных хребтов и в котловинах океанов (в мВт/м<sup>2</sup>) по [19]**

Геотраверс	Зап. склон	Вост. склон	Зап. котловина	Вост. котловина
Атлантический океан				
45°с.ш.	52 (18)	58 (16)		
Канаро-Багамский	50 (31)	44 (28)	52 (231)	46 (76)
19°с.ш.	40 (21)	43 (6)		
2°с.ш.	55 (17)	51 (6)	54 (13)	59 (33)
Анголо-Бразильский	61 (76)	41 (67)	60 (63)	50 (49)
31°ю.ш.	39 (13)	34 (8)	32 (4)	56 (8)
Тихий океан				
12°с.ш.	115 (11)	106 (15)	58 (27)	58 (35)
0°	74 (29)	36 (29)		
15°ю.ш.	46 (28)	122 (105)	54 (73)	79 (108)
Индийский океан				
6°ю.ш.	49 (19)	76 (4)		
10°ю.ш.	40 (33)	46 (7)		

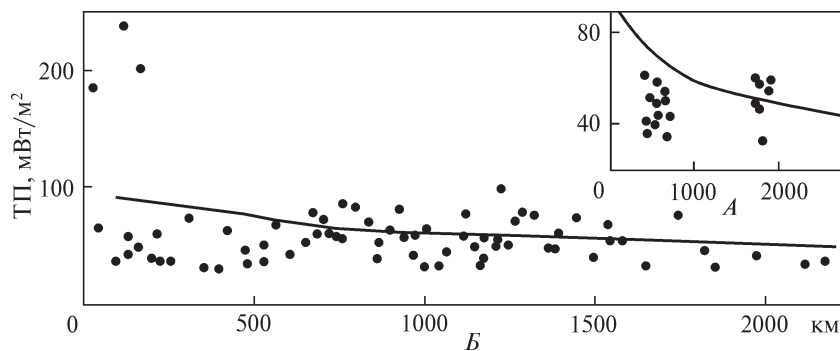


Рис. 6. Расчетный по ГТП (линия) и экспериментальный (точки) ТП в Атлантическом океане. Расстояния от оси САХ. А — для средних значений в районах океана, Б — для Анголо-Бразильского геотраверса

скважинными реперами и устранении возникающих расхождений посредством корреляции датировок и (или) перенумерации аномалий.

В условности оценок «магнитного возраста» убеждает также сопоставление различных аномалийных шкал между собой, демонстрирующее деформации стандартной последовательности инверсий: сдвиг, сжатие и растяжение, превосходящие длительность идентичных магнитных эпох. Уподобляя аномалийную шкалу «эталонной линейке», приходится признать, что определение магнитного возраста литосферы — это измерение с резиновым эталоном со всеми вытекающими отсюда последствиями» [5, с. 28].

Отметим также, что отождествление возраста литосферы с возрастом вулканитов верхних слоев коры само по себе нелепо.

Для образования магнитных аномалий источниками в верхнем слое тонкой океанической коры необходимы намагниченности слагающих его пород 10–20 А/м. Реальные измеренные величины — 2–3 А/м, часто встречается смена знака намагниченности по разрезу. По результатам интерпретации аномалий их источники располагаются в интервале глубин около 15–45 км, т.е. под океанической корой. Очевидно, что эти объекты находятся на обычном для континентальной коры месте — в преимущественно основных средней и нижней ее частях, которые наименее значительно изменены базификацией.

Поэтому определим «скорость разрастания дна океана» по ширине зоны океанической коры в Атлантике и ее возрасту (т.е. допустим, что разрастание реально и началось в юре). Отсутствие «субдукции» в переходных зонах атлантического типа гарантирует полноту информации о количестве образовавшейся коры. Скорость составит около 1,5 см/год, близкие (но гораздо менее достоверные) величины получаются для частей Индийского океана и территории между Атлантическим и Индийским океанами, между Австралией и Антарктидой, где можно представить перемещение плит без их поглощения в зонах субдукции. Соответствующий расчетный ТП, сопоставленный с наблюдаемым, представлен на рис. 6.

В целом не вызывает сомнений несоответствие представлений ГПТ всей совокупности геолого-геофизических данных по региону. Вполне вероятной выглядит образование Атлантики путем океанизации континентальной коры. Скорее всего, речь может идти о преобразовании коры, в которой относительное количество основных пород существенно больше, чем в типичной континентальной [3].

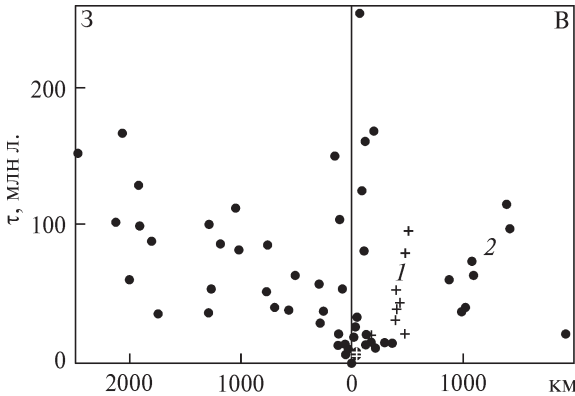


Рис. 7. Датировка магматических пород Атлантики. Расстояния — от оси САХ. 1 — Арктический океан, 2 — собственно Атлантический океан (без СМ)

**Параметры очагов магматизма.** Для Атлантического океана создана база данных, включающая результаты анализов около 1200 образцов пород. Они разделены на группы в соответствии с приведенной выше схемой районирования.

Кроме базальтоидных образований встречена небольшая по объему (первые десятки образцов) группа специфических магматических пород преимущественно ультраосновного состава. Они установлены в Атлантике на всем пространстве за исключением СМ. Обнаружение этих пород на САХ и секущих его разломах стало возможным благодаря распространению здесь глубоких трогов, отсутствующих в Тихом океане. В Атлантике встречены обогащенные и обедненные калием разновидности, представленные фойдитами, щелочными оливиновыми базальтами, пикритами, породами, близкими по составу к меймечитам и коматиитам. Их химизм согласно [8, 36] отвечает глубинам магматических очагов 140 и 190 км. Оценки температур по концентрациям  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  [17, 22] — около  $1450 \pm 100$  °С и  $1650 \pm 70$  °С соответственно. Оценки этих параметров для пикритов и коматиитов (меймечитов) в континентальных регионах (в частности, в Гренландии, Норвегии, Северной Америке, СМ) [22] —  $145 \pm 7$  км и  $1410 \pm 20$  °С,  $200 \pm 10$  км и  $1660 \pm 90$  °С соответственно.

По данным [31] глубинные источники магм океанов располагаются на 150—240 км. Температура в них превышает 1500 °С [38].

В пределах Атлантики (во всех трех ее зонах за исключением СМ) изучены образцы щелочных пород сравнительно небольшой глубинности [8]. Они не рассматриваются ниже вместе с другими образованиями, так как не известно их количество в каждой из частей океана. Тем не менее можно констатировать, что их состав указывает на повсеместное распространение глубин очагов около 90 км и 45—50 км с температурами 1240—1300 и 1300 °С соответственно.

Возраст пород океана [18, 23, 20, 31, 34 и др.] (вне упомянутых выше датировок древнего фундамента) образует заметно разделяющиеся группы (рис. 7).

Распределение периодов магматизма Атлантики вне САХ по времени представляет рис. 8. Конечно, использованных сведений мало, не вызывает сомнений широтная сегментация океана. Т.е. достоверность выделения наиболее характерных периодов активизации котловин и прибрежных регионов невелика, при поступлении новых данных последовательность может быть изменена.

По данным [31] в центральной части Атлантического океана можно выделить этапы магматизма: 1. Пермо-триас — габброиды, гипербазиты. 2. Верхняя



юра — платобазальты, сходные с сибирскими траппами. 3. Ранний мел — мелководные базальты, близкие по составу к континентальным. Т.е. кроме триады магматических событий, приуроченных примерно к последним 100 млн лет, имеется еще одна в пределах временного интервала 250—130 млн лет назад.

Можно предположить, что процесс океанизации произошел в центральной полосе современного океана, составляющей около половины его ширины, 250—130 млн лет назад, затем повторился на периферийных частях, а на месте старой океанизированной коры в центре начался (около 30 млн лет назад) процесс активизации уже на океанической коре. Этот возраст примерно согласуется с началом развития многих континентальных рифтов.

Ниже при рассмотрении параметров магматических очагов использованы данные из работ [6, 7, 8, 13—15, 25—28, 30—33, 34, 37, 39 и др.].

*СОХ и впадины Арктики.* Перед началом исследований предполагалось, что параметры очагов в недрах Арктического океана могут отличаться от таковых в собственно Атлантике. Поэтому были рассмотрены отдельно две небольшие выборки результатов анализов, полученные на продолжении Срединно-Атлантического хребта севернее Исландии и в окружающих впадинах. В последнем случае часть результатов относится к районам, южнее признанным прибрежными зонами океана, а не собственно впадинами.

В каждом из районов рассмотрены данные примерно по 90 образцам (рис. 9). Гистограммы распределений глубин очагов позволяют с полной определенностью установить значения параметра для верхнего из них: 45 км ( $T = 1300 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и 55 км ( $T = 1250 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Менее достоверны сведения о глубинах кровель очагов, располагавшихся ниже.

Эти объекты более заметны при рассмотрении данных по отдельным фрагментам изучаемых районов. Можно допустить существование под СОХ очага с глубиной кровли около 80 км и температурой  $1350 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$ , под впадинами — 70 км ( $1300 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и 100 км с той же температурой.

*Срединно-Атлантический хребет.* Здесь сосредоточена основная часть данных, рассмотрены результаты анализа около 660 образцов (рис. 10).

В САХ по данным [6] очаги выплавления магм толеитовых базальтов располагаются в северной (севернее  $36^\circ$  с.ш.) и южной (южнее  $25^\circ$  ю. ш.) частях на глубинах 30—40 км, в центральной части — на 15—25 км. Тем самым подтверждается высказанное в [4] предположение об ограниченной мощности очагов магматизма. По данным [35] при адиабатическом подъеме глубинного вещества мантии образуется зона расплава мощностью около 7 км. Температуры гомогенизации расплавных включений в минералах толеитов составляют 1300 и 1250  $^\circ\text{C}$ . Отмечено также формирование магматических камер на глубинах в первые километры.

По данным [31] магматический очаг лав САХ расположен на глубине 35—55 км и имеет температуру 950—1150  $^\circ\text{C}$ . Другие авторы приводят несколько отличающиеся цифры:  $50 \pm 7$  км

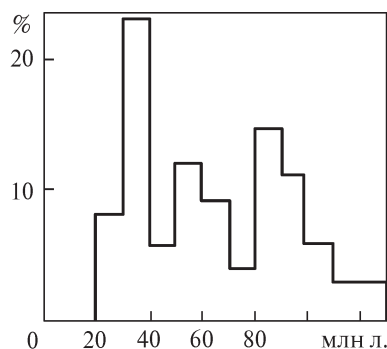


Рис. 8. Гистограмма распределения возраста магматизма Атлантики вне САХ

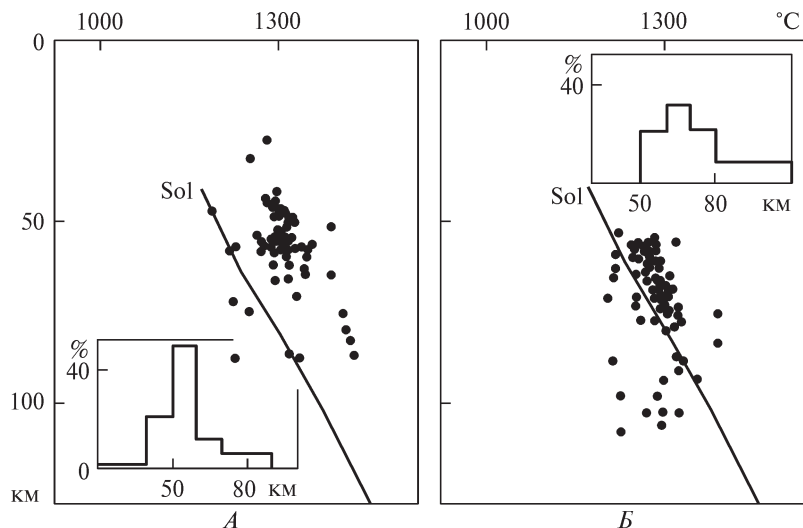


Рис. 9. Глубины кровель и температуры магматических очагов в мантии СОХ (А) и впадин (Б) Арктического океана. Sol — температура солидуса пород верхней мантии ( $T_c = 1013 + 3,914 H - 0,0037 H^2$ , где  $H$  — глубина в км [3])

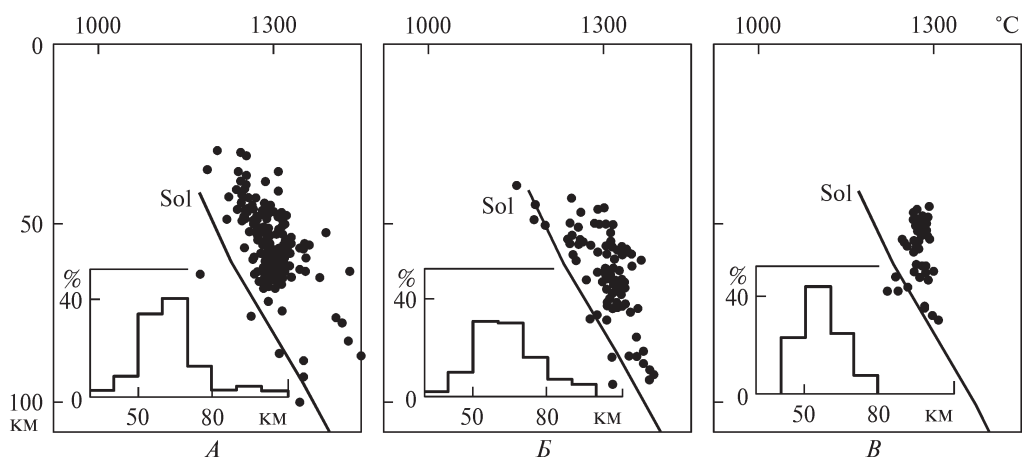


Рис. 10. Глубины кровель и температуры магматических очагов в мантии центральной (А), северной (Б) и южной (Б) частей САХ

и  $1350 \pm 50$  °C [25, 39]. По [15] в южной Атлантике основные значения глубин плавления соответствуют 40–80 км, а температур — около 1310–1470 °C. Эти данные лучше согласуются с двумя очагами с глубинами кровель около 40 и 70 км.

Согласно [40], под «нормальным САХ» глубокая камера частичного плавления находилась на 60–70 км, под северной частью — 80 км, под Исландией — 100 км с дополнением верхним («финальным») очагом на 50 км. По [35] среднему составу базальтов MOR САХ отвечает температура очага 1280 °C. Глубина — несколько больше 50 км. Материал по САХ был разделен на три неравные части: основное количество определений РТ-параметров выполнено для центра хребта (между 40° с.ш. и 20° ю.ш.), гораздо меньшее — севернее и южнее этих условных границ.

Рис. 11. Глубины кровель и температуры магматических очагов в мантии впадин Атлантики (см. рис. 1)

Во всех трех районах выделены глубины кровель очагов 45 и 65 км, в которых температуры близки к  $1300 \pm 30$  °С. В центральной и северной частях обнаружены еще очаги на глубинах 85—90 и 90 км с температурами около  $1400 \pm 40$  °С. Отметим, что установленные параметры существенно не отличаются от выявленных предшествующими исследованиями, особенно, если учесть их реальные погрешности.

**Впадины Атлантики.** В этих регионах изучено около 130 образцов. Породы расположенных во впадинах островов (Канарских, Св. Елены, Тристан-да-Кунья), представленные преимущественно анкарамитами, происходят из малоглубинных очагов —  $H = 15 \pm 3$  км и  $T = 1300 \pm 30$  °С [14].

Несмотря на существенные отличия возрастов магматических активизаций впадин от возрастов пород САХ (см. выше), глубины очагов и температуры в них оказываются фактически теми же, что и под хребтом: 45, 65 и 100 км,  $1300 \pm 30$  (в первых двух случаях) и  $1400 \pm 40$  °С (рис. 11). Учитывая совпадение параметров глубинных источников (с кровлями примерно на 150 и 200 км) можно считать, что процессы океанизации коры и повторной активизации уже океанизированной коры протекают сходным образом. Примерно за 130 млн лет в верхней мантии САХ успевает накопиться количество тепла, достаточное для активного процесса с энергетическими затратами порядка  $0,8—1,0 \cdot 10^{14}$  Дж/м<sup>2</sup> [3] при одновременном поддержании фонового теплового потока, на что необходимо еще больше энергии (около  $1,5 \cdot 10^{14}$  Дж/м<sup>2</sup>).

Суммарная радиогенная теплогенерация в верхней мантии, способная произвести такое количество тепла, оказывается очень значительной — 0,10—

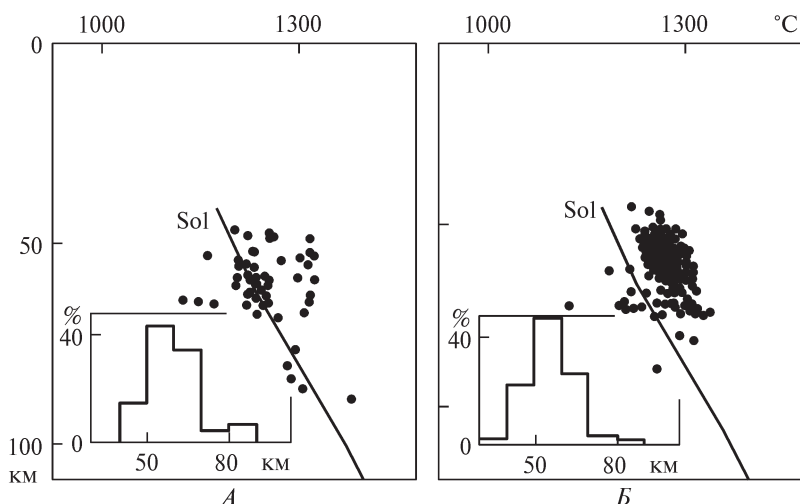
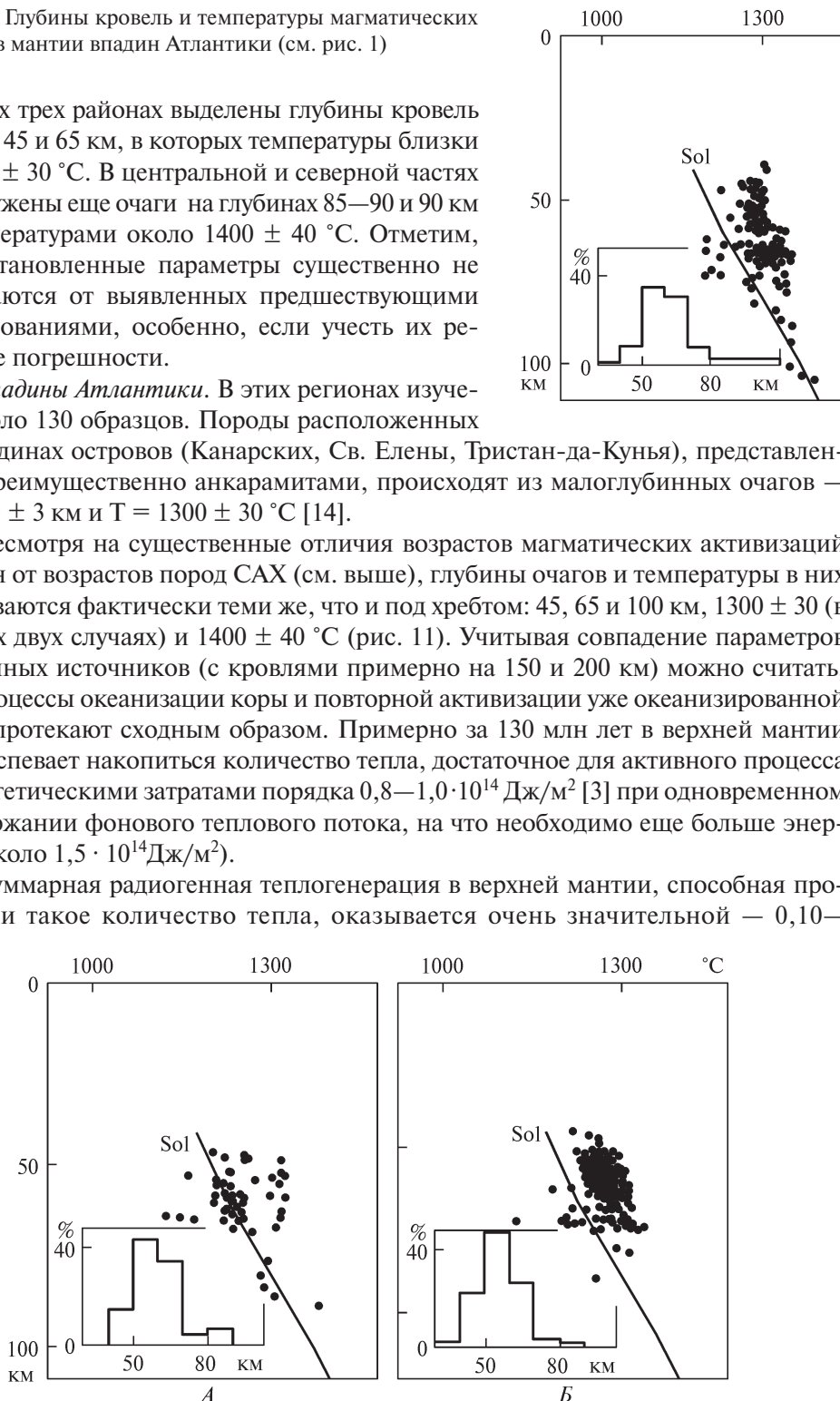


Рис. 12. Глубины кровель и температуры магматических очагов в мантии СМ (А) и прибрежных регионов (Б) Атлантики (см. рис. 1)

0,13 мкВт/м<sup>3</sup>. Эта величина в 3 раза больше теплогенерации в платформенной мантии, примерно в 2 раза превосходит этот параметр в верхней мантии фанерозойской геосинклинали. Но если учесть погружение в мантию вещества океанизированной континентальной коры с высокой теплогенерацией, можно получить сопоставимую с требуемой величину.

*Прибрежные регионы Атлантики.* В этих районах изучено около 200 образцов. Здесь есть смысл рассмотреть отдельно данные СМ и собственно прибрежий (рис. 12).

Датировки пород СМ Америк, Европы и Африки, естественно, отличаются от датировок других прибрежных районов Атлантики. Здесь формируются новые задуговые моря и другие молодые структуры на не до конца океанизированной коре. В тропе Валенсии получено несколько значений около 20 млн лет. В Тирренском бассейне — 7 млн лет. В центре Карибского моря магматизм происходил во временном интервале от 100 до 1 млн лет назад [34].

Датировки магматических пород прибрежных частей океана приведены выше (рис. 7), их возраст исчисляется многими десятками млн лет, наиболее молодые возникли в последние 20—30 млн лет.

Параметры очагов магматизма этих регионов не отличаются от рассмотренных выше. Уверенно выделяются глубины 45 и 65 км с температурами  $1250 \pm 50$  °С в СМ и  $1300 \pm 30$  °С в прибрежных регионах. В СМ можно предположить существование очага на глубине около 85 км с температурой  $1300 \pm 50$  °С.

## Обсуждение результатов

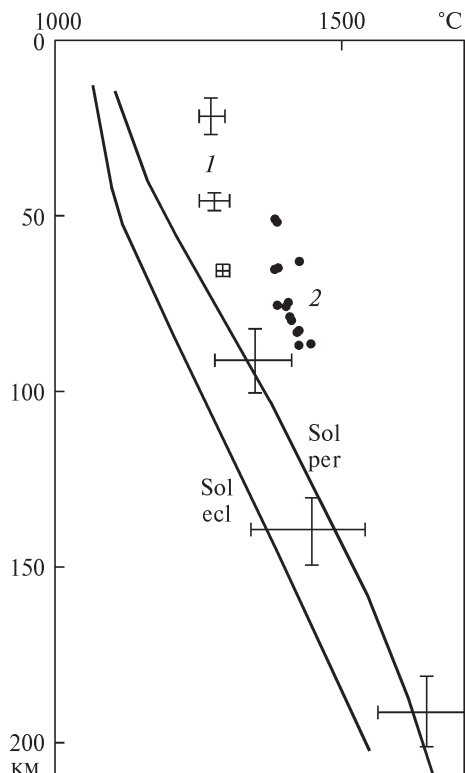
Сводка полученных результатов (использованы и литературные данные, перечисленные выше) обнаруживает, что параметры очагов плавления на разных глубинах довольно близки к субсолидусным (рис. 13). Заметно выше только температуры в приповерхностном, явно вторичном, очаге, откуда, вероятно, извержения происходят сразу после поступления сюда расплава из очагов, расположенных ниже. В остальных случаях магматизм охватывает достаточно большой период времени, чтобы температуры после вторжения на данную глубину перегретых масс успели приблизиться к  $T$  солидуса. И из этих очагов поступают на поверхность лавы, состав которых отвечает повышенным температурам в очаге. Но большая часть характеризуется меньшими значениями  $T$ .

Среди известных в Атлантике магматических пород мантийного происхождения представлены и щелочные образования (базаниты и др. с глубинами источников магм 50—70 км), в очагах плавления которых температуры ниже солидуса перидотита. Как упоминалось выше, они довольно широко распространены, но значительная часть из них не представлена в сводке из-за отсутствия сведений о количестве анализов. Возможно, это не-сколько зависило средние расчетные  $T$  на соответствующих глубинах.

Максимальные зафиксированные температуры в некоторых частях океана оказываются на уровне 1400—1450 °С, что может указывать (при учете обычного в такой ситуации охлаждения, заметно превышающего адиабатическое) на подъем частично расплавленных масс с глубин 150—200 км. В исходных очагах можно ожидать  $T$  на уровне около 1600 °С.

В целом следует констатировать вполне удовлетворительное (если учесть реальные погрешности расчета и гипотетических моделей процесса) соответствие

Рис. 13. Средние глубины кровель и температур магматических очагов в мантии Атлантического океана, сопоставленные с условиями плавления. 1 — средние значения параметров в рассмотренных регионах Атлантики, 2 — максимальные расчетные Т на глубинах 50–90 км. Sol per и Solecl — солидусы перидотита и эклогита соответственно. Последний представлен по [12]



полученных результатов параметрам очагов частичного плавления пород мантии, прогнозируемым по представлениям адвекционно-полиморфной гипотезы. Концентрация подавляющего количества очагов мантийного магматизма в интервале глубин 50–100 км и фундаментальные преобразования коры, связанные с функционированием коровых очагов, указанные выше временные интервалы, разделяющие последовательные периоды магматической активности, говорят о близости глубинного тепломассопереноса при океанизации к таковому при рифтогенезе. Тем более, что значительная перестройка коры, ее утонение проявляются во многих континентальных рифтах, а современный рифтогенез СОХ очевиден в океанах. Эти соображения могут быть использованы при построении схемы глубинных процессов в верхней мантии океанов [3], но только на двух последних этапах их геологической истории.

### Заключение

Результаты проведенного анализа обширного комплекса геолого-геофизических данных по Атлантическому океану позволяют с полной определенностью констатировать неприменимость представлений гипотезы тектоники плит к истории геологического развития этого региона — по существу, эталонного в данной гипотезе. Имеющейся информации соответствует океанизация древней земной коры континентальной мощности, происходившая вначале в центре океана, затем — на его периферии.

Период магматизма, базификации и резкого сокращения мощности коры был очень кратким, на что определяющим образом повлияла эклогитизация ее основных пород под влиянием прогрева вторгшихся мантийных выделок и сопровождающих их летучих [9].

Изученные параметры магматических очагов Атлантики оказались близкими к описанным в большинстве ранее опубликованных работ других авторов и существенно не отличаются от установленных в Тихом океане [4]. Глубины кровель и температуры очагов составляют: 20, 45, 65, 90, 140 и 190 км и 1280, 1290,

1300, 1400, 1450 и 1650 °С соответственно. Судя по этим данным, магматизм Атлантики может быть обусловлен тепломассопереносом в верхней мантии в формах и масштабах, предполагаемых адвекционно-полиморфной гипотезой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев С.И. Геолого-тектоническая карта мирового океана. М-б 1: 15 000 000. ВНИИОкеанологии. — 2004.
2. Гордиенко В.В. О докембрийских глубинных процессах в тектоносфере континентов // Геофиз. журнал. — 2009. — 5. — С. 85—102.
3. Гордиенко В.В. Процессы в тектоносфере Земли (Адвекционно-полиморфная гипотеза). — Saarbrücken: LAP. — 2012. — 256 с.
4. Гордиенко В.В., Гордиенко Л.Я. О РТ-условиях в мантийных магматических очагах под Тихим океаном // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2013. — 2. — С. 47—63.
5. Гордин В.М. Об интерпретации аномального магнитного поля океанов по Вайну-Мэттьюзу // Спорные аспекты тектоники плит и возможные альтернативы. — М.: ИФЗ РАН. — 2002. — С. 27—29.
6. Дмитриев Л.В., Соболев А.В., Сущевская Н.М. Условия формирования первичного расплава океанских толеитов и вариации его состава // Геохимия. — 1979. — 2. — С. 163—178.
7. Когарко Л.Н., Асавин А.М. Региональные особенности щелочных первичных магм Атлантического океана // Геохимия. — 2007. — 9. — С. 915—932
8. Когарко Л.Н., Асавин А.М. Калиевый магматизм Мирового океана (на примере Атлантики) // Геохимия. — 2009. — 9. — С. 899—909.
9. Кориковский С.П. Проградные преобразования габбро-норитов при эклогитизации в температурном интервале 600—700 °С // Геология и геофизика. — 2005. — 12. — С. 1355—1366.
10. Костицын Ю.А., Белоусова Е.А., Бортников Н.С., Зингер Т.Ф., Шарков Е.В. U-Pb возраст и изотопный состав Hf цирконов из интрузивных пород осевой зоны Срединно-Атлантического хребта — исследования методом LA-ICP-MS // Тезисы семинара «Геохимия щелочных пород» школы «Щелочной магматизм Земли». — М.: ГЕОХИ, 2008.
11. Кунин Н.Я. Строение литосферы континентов и океанов. — М.: Недра, 1989. — 288 с.
12. Литасов К.Д. Физико-химические условия плавления мантии Земли в присутствии летучих компонентов (по экспериментальным данным). — Автореф. док. геол.-мин. наук. — Новосибирск: ИГМ СО РАН. — 2011. — 35 с.
13. Магматические и метаморфические породы океанической коры / Ред. В.Л. Барсуков, Л.В. Дмитриев. — М.: Наука, 1983. — 248 с.
14. Магматические и метаморфические породы дна океана и их генезис / Ред. О.А. Богатиков, Ю.И. Дмитриев, А.А. Цветков. — М.: Наука, 1983. — 272 с.
15. Мазарович А.О., Симонов В.А., Пейве А.А. и др. Гидротермальная минерализация разлома Сьерра-Леоне (Центральная Атлантика) // Литология и полезные ископаемые. — 2001. — 5. — С. 1—8.
16. Макаренко Г.Ф. Периодичность базальтов, биокризисы, структурная симметрия Земли. — М.: Геоинформмарк. — 1997. — 98 с.
17. Николаев Г.С., Арискин А.А. Бураковско-Аганозерский расслоенный массив Заонежья: П. Строение краевой группы и оценка состава родоначальной магмы методом геохимической термометрии // Геохимия. — 2005. — 7. — С. 712—732.
18. Погребницкий Ю.Е., Трухалев А.П. Проблема формирования Срединно-Атлантического хребта в связи с составом и возрастом пород его метаморфического комплекса // Спорные аспекты тектоники плит и возможные альтернативы. — М.: ОИФЗ РАН, 2002. — С. 189—203.
19. Подгорных Л.В., Хуторской М.Д. Геотермическая асимметрия срединно-океанических хребтов // Тепловое поле Земли и методы его изучения. — М.: Изд-во РУДН, 2000. — С. 164—172.
20. Рудич Е.М. Движущиеся материи и эволюция океанического ложа. — М.: Недра, 1983. — 272 с.

21. Рудич Е.М. Расширяющиеся океаны: факты и гипотезы. — М.: Недра, 1984. — 252 с.
22. Светов С.А., Смолькин В.Ф. Модельные РТ-условия генерации высокомагнезиальных магм докембрия Фенноскандинавского щита // Геохимия. — 2003. — 8. — С. 879—892.
23. Силантьев С.А., Левский Л.К., Аракелянц М.М., Лебедев В.А., Vougault H.,
24. Силантьев С.А. Метаморфические породы дна Атлантического океана. — М.: Наука, 1984. — 103 с.
25. Симонов В.А., Колобов В.Ю., Пейве А.А. Петрология и геохимия геодинамических процессов в Центральной Атлантике. — Новосибирск: СО РАН, 1999. — 224 с.
26. Симонов В.А., Ковязин С.В., Пейве А.А., Колмогоров Ю.П. Геохимические особенности магматических систем в районе трансформного разлома Сьерра-Леоне, Центральная Атлантика (данные по расплавленным включениям) // Геохимия. — 2005. — 7. — С. 750—762.
27. Суцеская Н.М., Беляцкий Б.В., Дубинин Е.П. и др. Геохимические неоднородности толеитового магматизма рифтовых зон, обрамляющих Антарктиду // Геохимия. — 2003. — 8. — С. 803—816.
28. Суцеская Н.М., Бонатти Э., Пейве А.А., Каменецкий В.С., Беляцкий Б.В., Цехоня Т.И., Конюкова Н.Н. Гетерогенность рифтового магматизма приэкваториальной провинции Срединно-Атлантического хребта // Геохимия. — 2002. — 1. — С. 30—55.
29. Усенко С.В. Особенности строения земной коры и верхней мантии Северной Атлантики по данным взрывной сейсмологии // Сравнительная тектоника континентов и океанов. — М.: МГК АН СССР, 1987. — С. 52—70.
30. Фролов В.Т., Фролова Т.И. Происхождение Тихого океана. — М.: МАКС Пресс, 2011. — 52 с.
31. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Платобазальтовый магматизм и океанообразование // Спорные аспекты тектоники плит и возможные альтернативы. — М.: ОИФЗ РАН, 2002. — С. 30—48.
32. Aumento F., Loncarevic B. The Mid-Atlantic Ridge near 45° N, III. Bald Mountain // Canad. J. Earth Sci. — 1969. — 6. — P. 11—23.
33. Flower M., Robinson P., Schmincke H., Ohnmacht W. Magma fractionation systems beneath the Mid-Atlantic Ridge at 36—37°N // Contrib. Mineral. Petrol. — 1977. — V. 64. — P. 167—195.
34. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Deep sea drilling.org >i\_reports. htm.
35. Mc Kenzi D., Bickle M. The volume and composition of melt generated by extension of the lithosphere // J. of Petrol. — 1988. — V. 29. — P. 625—680.
36. Nisbet E., Cheadle M., Arndt N., Buckle M. Constraining the potential temperature of the Archean mantle: A review of the evidence from komatiites // Litos. — 1993. — V. 30. — P. 291—307.
37. Ozima M., Saito K., Matsuda J. Additional evidence of existence of ancient rocks in the Mid-Atlantic ridge and the age of the opening of the Atlantic // Tectonophysics. — 1976. — V. 31, 1/2. — P. 59—73.
38. Saunders A., Storey M., Kent R., Norre M. Consequences of plume — lithosphere interaction // Geol. Soc. Spec. Publ. — 1992. — 68. — P. 41—60.
39. Schilling J., Ruppel C., Davis A., McCully B., Tighe S., Kingsley R., Lin J. Thermal structure of the mantle beneath the equatorial Mid-Atlantic Ridge: Influences from the spatial variation of dredged basalt glass compositions // J. Geophys. Res. — 1995. — V. 100, B 6. — P. 10057—10076.
40. Shen Y., Forsyth D. Geochemical constraints on initial and final depths of melting beneath mid-ocean ridges // J. Geophys. Res. — 1995. — V. 100. — B2. — P. 2211—2237.

Статья поступила 02.04.2013

*В.В. Гордієнко, Л.Я. Гордієнко*

#### ШОДО РТ-УМОВ У МАНТІЙНИХ МАГМАТИЧНИХ ОСЕРЕДКАХ ПІД АТЛАНТИЧНИМ ОКЕАНОМ

Розглянуто геологічні та геофізичні факти, що вказують на океанізацію земної кори Атлантики. Проведено дослідження РТ-параметрів осередків магм у мантиї океану. Вони складають біля 20 км і 1280 °С, 45 км і 1290 °С, 65 км і 1300 °С, 90 км і 1400 °С. Перегріта й частково розплавлена

мантійна речовина надходила на ці рівні з глибини близько 200 км, де температура сягала 1600—1650 °С. Результати узгоджуються з адвекційно-поліморфною гіпотезою глибинних процесів.

**Ключові слова:** *мантія океанів, глибинні процеси, джерела магм, PT параметри.*

*V.V. Gordienko, L.Ya. Gordienko*

#### PT CONDITIONS IN THE MANTLE MAGMATIC CHAMBERS BENEATH THE ATLANTIC OCEAN

The geological and geophysical data indicating oceanization of Atlantic ocean crust were analyzed. The investigation of PT-parameters of magma in the ocean mantle is conducted. They are about 20 km and 1280 °C, 45 km and 1290 °C, 65 km and 1300 °C, 90 km and 1400 °C. Overheated and partially melted mantle substance arrived to these levels from a depth of about 200 km, where temperature reaches 1600—1650 °C. The results are consistent with the advection-polymorphic hypothesis of deep processes.

*Keywords: Mantle of the oceans, deep processes, magma sources, PT-parameters.*