
В.В. Гордиенко, Л.Я. Гордиенко

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

О РТ-УСЛОВИЯХ В МАНТИЙНЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ОЧАГАХ ПОД ИНДИЙСКИМ ОКЕАНОМ

Предложен новый вариант методики расчета. Рассмотрены геологические и геофизические факты, указывающие на океанизацию земной коры Индийского океана. Проведено исследование РТ-параметров очагов магм в мантии. Они составляют около 20 км и 1120 °С, 50 км и 1200 °С, 80 км и 1300 °С, 105 км и 1400 °С. Перегретое и частично расплавленное мантийное вещество поступало на эти уровни с глубины около 200 км, где температура достигала 1650 °С. Результаты согласуются с адвекционно-полиморфной гипотезой глубинных процессов.

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

Введение

В статье рассмотрены результаты определения глубин магматических очагов в тектоносфере Индийского океана и температуры в них, установленные по составу изверженных пород. Для Тихого и Атлантического океанов эта работа проведена авторами ранее [6, 7]. Полученные данные предполагается использовать для анализа глубинных процессов в верхней мантии океанических регионов. Прежде всего предусматривается сравнение параметров очагов с прогнозируемыми адвекционно-полиморфной гипотезой (АПГ) глубинных процессов [5]. Глубины составляют около 50, 70, 100, 150 и 200 км, температуры — 1200, 1300, 1350—1400, 1500—1550 и 1600—1650 °С. Очаги на глубинах меньше 50 км считались промежуточными, в них магма из более глубоких источников может накапливаться перед извержением. Глубина 70 км рассматривалась как результат остывания (в том числе и за счет выноса расплава) очага с глубиной кровли около 50 км мощностью около 60 км. Естественно, она в определенные периоды тепловой эволюции системы могла оказаться большей или меньшей на 10—20 км. При оценке параметров очагов необходимо учитывать, что по АПГ они

© В.В. ГОРДИЕНКО, Л.Я. ГОРДИЕНКО, 2014

представляют собой небольшую верхнюю часть интервала глубин мощностью в несколько десятков километров с небольшой степенью частичного плавления. В очаге концентрируется сегрегированный в этом интервале расплав, переносимый затем вверх вплоть до поверхности или образования промежуточных очагов.

Имеющийся в литературе объем экспериментальных данных (тысячи анализов химического состава магматических пород дна океана) позволяет рассчитывать на получение достоверных результатов. Этому должен способствовать и накопленный авторами опыт работы, позволивший обобщить использовавшиеся ранее методики, выбрать наиболее эффективный вариант расчета.

Методика определения параметров очагов

При изучении РТ-параметров очагов магматизма в мантии Тихого и Атлантического океанов авторами был сделан акцент на привлечении максимального количества частных методик, разработанных для этой цели. В процессе работы обнаружилось недостатки некоторых подходов, дающие возможности и для «размазывания» искомым величин в больших интервалах давлений (глубин) и температур, и для сглаживания аномальных значений, получаемых для пород необычного состава. Это создавало существенные ограничения для их использования. Поэтому была предпринята попытка проанализировать эффективность использования связей концентраций различных оксидов с РТ-параметрами очагов. Оказалось, что для рассматриваемой группы основных и ультраосновных пород изменчивость концентраций многих оксидов незначительна или хаотична. В результате для анализа отобраны концентрации MgO и Al_2O_3 в виде, описанном в публикациях [11, 13, 19]. Исползованные в этих работах виды связей, несколько различающиеся по количественным характеристикам, были осреднены и многократно проверены на конкретном материале. Осреднение не предусматривало согласования результатов вычислений по обоим оксидам.

Рассмотрим некоторые результаты контроля полученной схемы расчетов.

1. Осредненные данные о связи температур и давлений, установленных по минералогической информации для изучаемого класса пород, приведены на рис. 1, а. Они неплохо укладываются в линейную зависимость ($T_p = 1050 + 3,13N$, где T_p — «потенциальная» температура [13] °С, N км) и должны характеризовать условия в очагах расплавов. Расчетные T заметно не отличаются от температуры солидуса мантийных пород, принятой в [5]: $T_c = 1013 + 3,914N - 0,0037N^2$.

Соответственно, глубину очага можно определять по его температуре: $N = 0,319 (T_p - 1050)$.

Такой вариант вычисления N предопределяет солидусные условия для всех расчетных параметров. Нельзя сказать, насколько это верно, скорее всего, речь идет об искусственном ограничении. Ведь по рис. 1, а (где каждой точке отвечают две в исходных данных до осреднения) отклонения T_p от линейной зависимости составляют в среднем 42 °С. Т.е. фактически результаты расчета должны были бы образовывать некоторую полосу шириной в десятки градусов. Вместо этого они растягиваются по глубине на несколько километров.

2. Принятые виды связи T_p и N с концентрациями MgO и Al_2O_3 , показанные на рис. 1, б, могут быть описаны выражениями $T_p = -0,365 (MgO)^2 + 32,903 (MgO) + 1060$ и $T_p = -0,133 (Al_2O_3)^2 - 32(Al_2O_3) + 1824$ и приведенным выше $N = f(T_p)$.

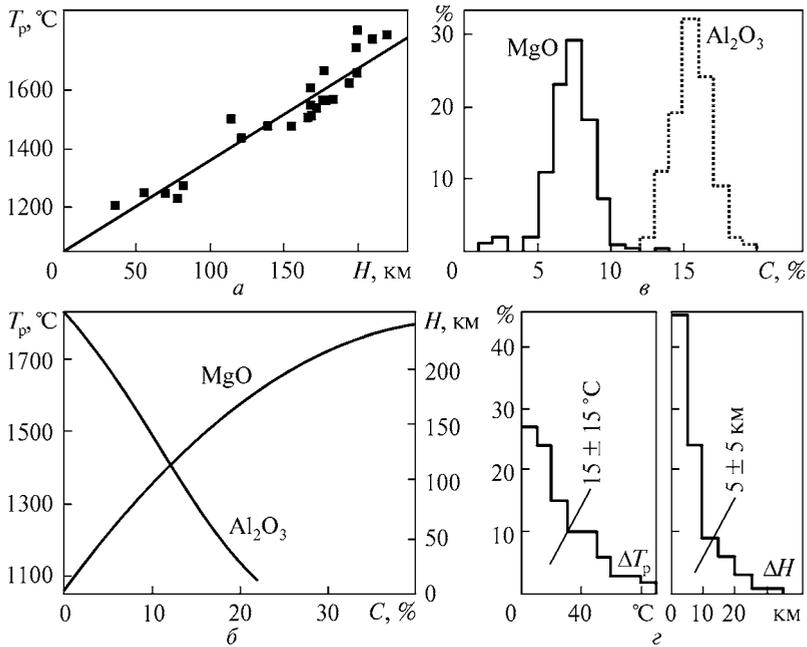


Рис. 1. Некоторые характеристики примененной методики, изучаемого массива данных и полученных результатов: а — связь T_p и H , б — связь T_p и H с концентрациями (C) оксидов в породах, в — гистограммы распределений концентраций MgO и Al_2O_3 в изучаемых породах дна Индийского океана, г — гистограммы распределения отклонений от средней величины значений T_p и H (ΔT_p и ΔH), полученных по концентрациям MgO и Al_2O_3

Таблица 1. Результаты тестовых расчетов параметров очагов для MgO и Al_2O_3

Вариант	Оксид	C , %	T_p , °C	H , км
Средние РТ	MgO	7,2	1277	72
	Al_2O_3	15,7	1289	76
Max РТ	MgO	11	1378	105
	Al_2O_3	12,5	1404	113
Min РТ	MgO	4	1185	33
	Al_2O_3	19	1168	38

Они представляют собой обобщение информации из [11, 13, 19 и др.]. Степень их согласованности можно проверить, сравнив результаты для MgO и Al_2O_3 , полученные по наиболее и наименее распространенным концентрациям (в предположении, что в реальных породах сокращение концентрации одного оксида отвечает росту концентрации другого). Соответствующая информация приведена в табл. 1.

Согласование результатов вычислений можно признать достаточно полным, что позволяет надеяться на совпадение величин температуры и глубины и при массовых расчетах.

3. Можно утверждать, что такие ожидания вполне оправдались. На рис. 1, г приведены гистограммы отклонений от среднего значений параметров очагов, установленных по концентрациям двух использованных оксидов. Модальные вели-

чины отклонений невелики. Естественно, их нельзя считать значениями погрешности расчетов, которая определяется адекватностью всей схемы решения задачи реальным процессам в мантии. Тем не менее, само по себе согласование данных может служить указанием на ее правомерность. За пределами трех стандартных отклонений от модальных величин ΔT и ΔH оказываются 8 и 5% отклонений соответственно.

Рассчитанная глубина очагов оказывается довольно близкой к получающейся при использовании зависимостей из работы [8]. Среднее различие (по принятой методике глубины получаются в среднем больше) составляет 22 км. Однако диапазон концентраций в [8] ограничен, а вблизи максимальных использованных концентраций связь с ними глубины выражена очень слабо.

Используемые экспериментальные данные

Привлеченный к рассмотрению материал о концентрациях окислов магния и алюминия в породах дна Индийского океана довольно разнороден. Это и результаты большого обобщения А.М. Асавина [2] (около 2500 анализов), представленные в виде 15 средних и экстремальных величин для 5 групп пород с магниальностью выше средней по региону. И частные обобщения, в которых приводятся данные по отдельным анализам (встречающиеся осреднения включают данные не более чем 70 анализов) [3, 4, 14–18, 20–25 и др.] — всего около 600 анализов, из них 90 представлены только данными по содержаниям MgO в породах плато Кергелен. Используются сведения о возрастах пород, содержащиеся, кроме перечисленных публикаций, в [25, 26 и др.].

Размещение районов отбора образцов пород представлено на рис. 2. Принципы районирования Индийского океана несколько отличаются от принятых в [6, 7]. Кроме данных о геохимии пород, они основаны на информации из [1, 28]. На всех сейсмичных подводных хребтах Индийского океана (СХ) распространены близкие по химизму породы близких возрастов. Поэтому они рассматривались в рамках единого массива данных, что оказалось (судя по результатам расчетов)

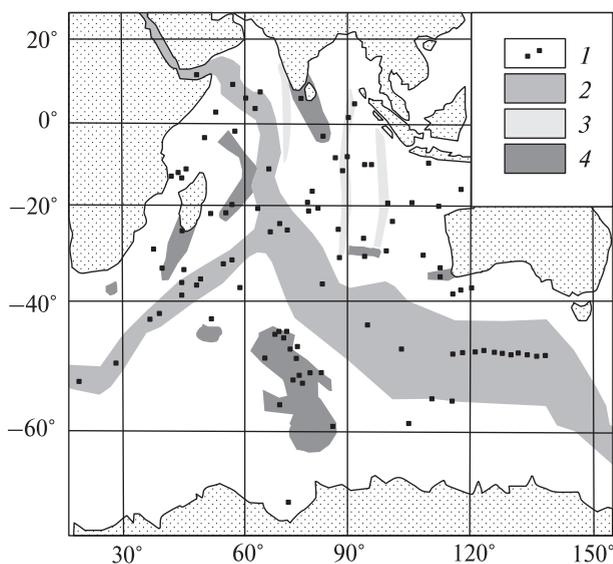


Рис. 2. Схема изученности Индийского океана: 1 — пункты отбора проб; 2 — сейсмичные хребты; 3 — асейсмичные хребты; 4 — подводные плато

вполне оправданным. За пределами СХ ситуация довольно изменчива. Среди изученных районов можно выделить асейсмичные хребты (АХ), подводные плато (ПП), часто примыкающие к суше с континентальным типом земной коры, и глубоководные котловины (ГК). Последние в данном случае не отделяются от прибрежных зон, недостаточно изученных для рассмотрения их как отдельного вида океанических районов. Это достаточно грубое деление все же позволяет отметить основные особенности распределения магматических пород разного состава и происхождения.

Результаты

О возможности океанизации. Прогнозные параметры очагов магматизма определены исходя из представлений адвиционно-полиморфной гипотезы глубинных процессов в тектоносфере [5 и др.]. Она подразумевает образование океана в результате преобразования континентальной коры в океаническую. Таким образом, согласование расчетных глубин очагов и температур с прогнозными

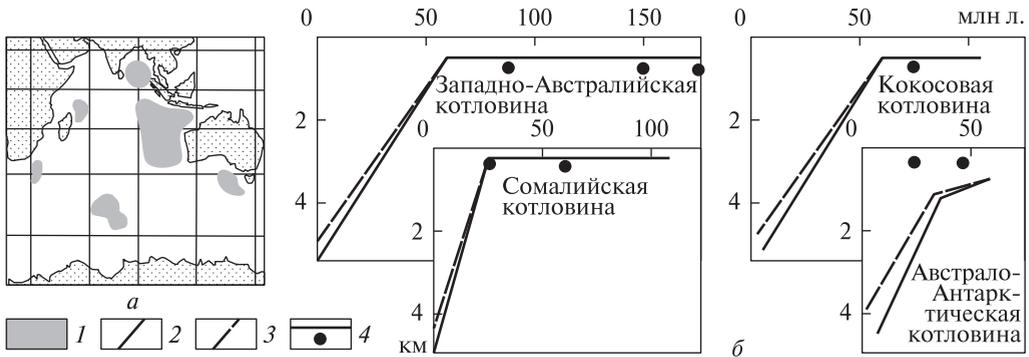


Рис. 3. Некоторые характеристики Индийского океана: *a* — распределение погруженных реликтов континентальной коры по [18], 1 — реликты континентальной коры; *б* — схемы процессов в котловинах океана по [12]: 2 — погружение фундамента, 3 — погружение поверхности дна, 4 — периоды магматизма

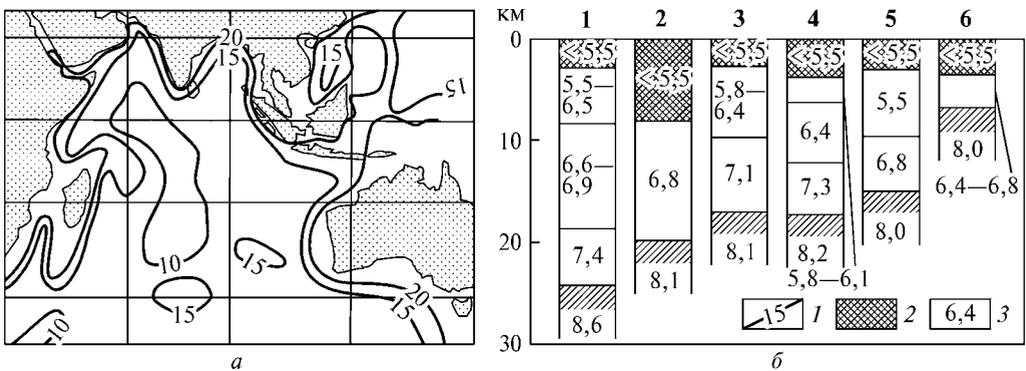
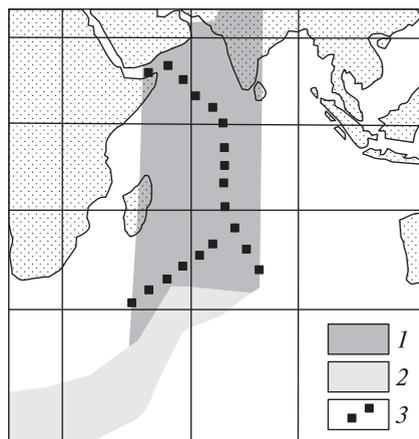


Рис. 4. *a* — схема изопахит земной коры Индийского океана, км по [8], *б* — скоростной разрез твердой коры некоторых районов океана по [18]: 1 — изопахиты коры; 2 — осадочный слой; 3 — скорости продольных сейсмических волн в слоях коры (км/с). Плато: 1 — Кергелен, 2 — Мальдивское, 3 — Агульяс, 4 — Брокен, 5 — Крозет, 6 — центральная котловина

Рис. 5. Область распространения базальтов возрастом около 70 млн лет по [10]: 1 — установленные достоверно; 2 — предполагаемые, 3 — оси СХ



может служить одним из аргументов в пользу принятой гипотезы. В работе [7] было показано, что и другие данные по Атлантическому океану противоречат представлениям гипотезы тектоники плит, согласно которой океаны — результат спрединга. В литературе по Индийскому океану такой информации меньше, но все же некоторые сведения есть смысл упомянуть.

1. В пределах океана широко распространены погруженные реликты континентальной коры, обнаруженные по комплексу геолого-геофизических данных [18 и др.] — рис. 3, а.

2. Погружение дна котловин океана происходило в виде резкого обрушения от шельфовых глубин до 4 км (рис. 3, б). Характер процесса ничем не напоминает постепенное опускание дна по мере остывания молодой литосферы океанической плиты при ее перемещении от зоны спрединга.

3. Земная кора не на всей акватории океана достаточно тонкая, чтобы считаться типичной океанической (т.е. с водным слоем менее 15 км). Утолщения распространены не только у континентов, но и на большом расстоянии от них (рис. 4, а). На локальном уровне обнаруживаются многочисленные утолщения коры на подводных плато (рис. 4, б). В нижней части коры иногда видны фрагменты коро-мантийной смеси, отмечаемые повышенными скоростями продольных сейсмических волн. Логично предположить, что такие скоростные разрезы фиксируют различные этапы переработки (океанизации) прежде толстой континентальной коры.

4. В районе СХ западной части океана распространены базальты возрастом около 70 млн лет, представленные и на континенте, в Индостане [10] — рис. 5.

При минимальной скорости спрединга (около 1,5 см/год) между восточной и западной, северной и южной частями базальтового покрова должен был бы образоваться разрыв около 2000 км.

5. Тепловой поток в Индийском океане изучен недостаточно детально. Но и имеющиеся сведения, приведенные в [7] по литературным данным, демонстрируют невозможность его согласования с распределением, отвечающим гипотезе тектоники плит.

6. Не согласуются с идеей перемещения плит от зоны спрединга и возрасты магматических пород. По сведениям из упоминавшихся выше источников они обобщены в таблице 2.

Распределение возрастов на хребте 90 градуса, плато Брокен, Кергелен и Маскаренском скорее указывает на длительное действие горячих точек, чем на перемещение плит [26]. Т.е. мантийные источники этих районов обладают некоторой спецификой, сохраняющейся на протяжении значительных отрезков геологической истории. Магматизм подводного плато Кергелен начинается 120 млн лет назад. В период 80—40 млн лет он был распространен в обширной провинции

Кергелен-Брокен. После 40 млн лет назад их разделяет Восточно-Индоеокеанский хребет с молодым вулканизмом [20, 24], возникший, вероятно, на том же фундаменте. Поднятие Афанасия Никитина на Цейлонской плите сформировано лавами, источником которых могут быть коровые гранулиты или подконтинентальная мантия. Источник действовал 65—90 млн лет назад [16].

Все перечисленные особенности магматического процесса (не говоря уже об обнаружении аномально древних пород, см. табл. 2) невозможно увязать с образованием пород частей океана в процессе спрединга. На огромной акватории, включающей большую южную часть Индийского океана и южную — Атлантического, распространены породы, особенности химизма которых можно объяснить только контаминацией мантийных расплавов континентальной корой или подконтинентальной верхней мантией. Этот процесс и привел к образованию океанической или субокеанической коры с сохранившимися фрагментами древней континентальной. Затем на нее на части океана наложился более молодой мантийный магматизм, в процессе которого возникли породы, уже лишённые коровой метки [18].

Параметры очагов магматизма. Вначале имеет смысл рассмотреть обобщенные в [2] сведения о первичных глубинных магмах, состав которых преобразуется при дифференциации в менее глубоких очагах.

Нулевые глубины очагов в двух случаях расчета (табл. 3) связаны с тем, что использованные для вычислений концентрации Al_2O_3 формулой не предусмотрены: слишком велики. Надо думать, речь идет о приповерхностных очагах дифференциации магмы. Естественно, соответствующие породы выпадают из массива высокомагнезиальных, так как он ограничен автором [2] содержанием MgO 7 %. Но максимальные концентрации оксида алюминия явно отражают реально существующие образования: судя по данным рис. 1 б, таким содержаниям Al_2O_3 отвечают концентрации MgO в первые проценты.

Практически весь щелочной магматизм находится в пределах плато [2] — рис. 6. Левее максимума гистограммы распределения оксида магния (около 6 % MgO) предполагаются составы магм с промежуточными характеристиками, достигающие ко-

Таблица 2. Возраст магматических и метаморфических пород дна Индийского океана и островов

Район	Возраст магматических пород дна, млн лет
СХ	20—30, 39, 70
Хребет 90 градуса	18, 38, 49, 82, 92, 101
Плато Кергелен	0,5; 2,6; 35, 68, 85, 91, 100—110, 112, 114—118
Плато Брокен	63, 88, 95
Маскаренское плато	500, 520, 651
Плато Агульяс	450, 600, 1000
Цейлонская плита	65—90
Плато Натуралистов	120—130, 600, 690
Котловина Наталь	72
Мозамбикская котловина	89
Котловина Уотон	92, 103, 157, 175, 196
Зап. Австралийская котловина	87, 150, 175
Австралийско-Антарктическая котловина	25, 47
Сомалийская котловина	25, 60
Котловина Кокос	70

тектических параметров при минимальных MgO у поверхности — порядка 0,2 %. Это видно и по данным рис. 1, в.

В выборке из работы [2] представлены все структурные единицы, выделенные выше. Вариации глубин очагов магм различных пород трудно считать существенными. Наиболее достоверной оценкой результатов можно признать обнаружение двух уровней (кроме приповерхностного) глубины и температуры 105 ± 10 км и 1380 ± 30 °С, 200 ± 10 км и 1680 ± 30 °С. Несмотря на то, что на СХ и АХ представлены почти исключительно толеиты и в меньшем количестве — щелочные базальты, во впадинах последних несколько больше, а на подводных плато в основном обнаруживаются магмы базанитов, пикритов и фоидитов, параметры глубинных очагов магм оказываются близкими. Этот вывод не обязательно верен, так как для расчетов используются только средние и экстремальные значения концентраций оксидов. Не исключено, что в таких-то районах представлены толеиты и щелочные базальты (они встречаются в ограниченном количестве и на плато), для которых не характерны такие содержания MgO и Al₂O₃.

Перечислим немногочисленные данные о параметрах очагов мантийного магматизма Индийского океана, обнаруженные авторами в литературе. Начальный этап вулканической активности Индийско-Аравийского хребта характеризовался глубинными очагами, 20—30 млн лет назад он сменился магматизмом очагов, расположенных ближе к поверхности — глубиной около 30 км с Т 1250 °С. В целом источники магм образуются в сухой лерцолитовой мантии на глубинах около 60—65 км и выше [14]. Источники магм толеитов и щелочных базальтов СХ разноглубинны, причем вторые располагаются на большей глубине [4].

В соответствии с описанным выше делением магматические породы Индийского океана были рассмотрены по группам, отражающим их структурную приуроченность (рис. 2). В некоторых случаях отнесение района к одной из структур

Таблица 3. Содержание оксидов магния и алюминия в разных типах первичных магм [2]

Порода	N		Al ₂ O ₃ , %	MgO, %		Тр, °С	Н, км
Фоидит	309	Среднее	11,2	12,8	Среднее	1435	123
		Max	19	23,7	Max	1727	216
		Min	0		Min	1165	37
Пикрит	134	Среднее	12,4	12,6	Среднее	1411	115
		Max	26,9	23,5	Max	1645	190
		Min	5		Min	1030	0
Базанит	663	Среднее	12,9	10,6	Среднее	1378	105
		Max	18,9	23,9	Max	1685	202
		Min	2,6		Min	1172	39
Щел. базальт	481	Среднее	13,5	9,9	Среднее	1359	98
		Max	19,6	19,6	Max	1630	185
		Min	4		Min	1152	32
Толеит	900	Среднее	14,3	9,1	Среднее	1334	90
		Max	25,3	23,3	Max	1712	211
		Min	1		Min	1050	0

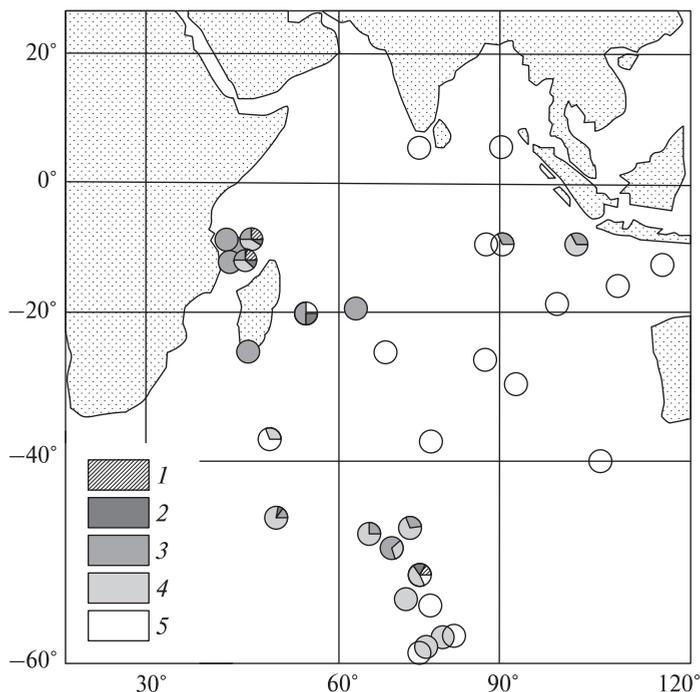


Рис. 6. Размещение пунктов отбора образцов из работы [2]: 1 — фойдит; 2 — пикрит; 3 — базанит; 4 — шел. базальт; 5 — толеит

турных разновидностей (хребт 90 градуса, плато Брокен и т.д.) довольно условно. Впрочем, полученные параметры очагов для спорных районов существенно не различаются.

1. В группу СХ вошли данные по всем сейсмическим хребтам океана: Атлантическо-Индийскому, Юго-Западному, Индийско-Аравийскому, Юго-Восточному — всего 250 анализов.

2. Плато представлены Цейлонской плитой, плато Брокен, натуралистов, Кергелен, Маскаренским — всего 200 анализов.

3. Асейсмичные хребты — 90 градуса и Мальдивский — всего 80 анализов.

4. Изучен ряд котловин: Сомалийская, Мозамбикская, Уотон, Перт, Кокос, Южно-Индийская, Северо- и Южно-Австралийские — всего 80 анализов.

В тектоносфере СХ почти все значения РТ-условий в очагах сосредоточены в рамках 80 ± 7 км и 1300 ± 25 °С (рис. 7, а). Лишь единичные определения отмечают значения около 50 км — 1200 °С и 140 км — 1500 °С. О достоверности выделения этих очагов судить трудно. Не проявляется и приповерхностный очаг, отмечаемый высокой концентрацией оксида алюминия, хотя по данным [2] соответствующие породы должны быть распространены на сейсмичных хребтах.

Под плато основное количество установленных параметров очагов сосредоточено на глубине 75 ± 10 км с температурой 1280 ± 30 °С. Выше намечаются очаги на глубинах 15 и 25 км с температурами 1120 и 1170 °С соответственно. Группу значений параметров можно расценивать как указание на существование очага с глубиной примерно 110 км и температурой около 1370 °С. Одна точка на рис. 8, б отвечает очагу на глубине около 170 км с температурой 1580 °С. Следует отме-

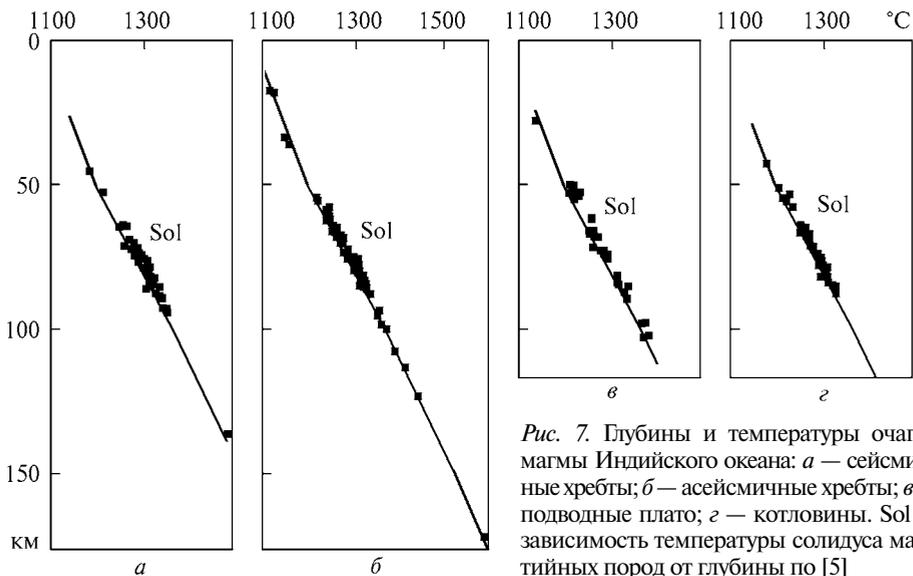


Рис. 7. Глубины и температуры очагов магмы Индийского океана: а — сейсмические хребты; б — асейсмические хребты; в — подводные плато; г — котловины. Sol — зависимость температуры солидуса мантийных пород от глубины по [5]

тять, что кроме отмеченной выше точки на рис. 7, а, это единственное указание на очаг с глубиной между 100 и 200 км. Сведения о нем отсутствуют и в обобщении из работы [2].

В мантии под асейсмическими хребтами (рис. 7, в) также намечен одной точкой очаг на глубине около 25 км. Вероятным представляется очаг на глубине около 50 км с температурой 1200 °С.

Основное количество результатов получено для очагов со средними значениями параметров 75 ± 10 км и 1280 ± 30 °С. Глубже можно предположить существование источника магмы на глубине около 100 км с температурой 1370 °С.

И под котловинами Индийского океана основное количество параметров очагов сконцентрировано в интервале параметров около 75 ± 10 км и 1280 ± 30 °С. Можно наметить и менее документированный очаг на глубине примерно 50 км с температурой 1200 °С.

Обсуждение результатов и выводы

Общая картина распределения РТ-параметров очагов магматизма под Индийским океаном представляется достаточно определенной и не очень изменяющейся от одного структурного района к другому.

Исключение — параметры малоглубинных очагов. Причем надо учесть, что в анализ не включались нередко встречающиеся на дне океана и островах средние и кислые эффузивы [18 и др.] (собственно, применяемая методика и не рассчитана на анализ РТ-условий в очагах таких магм). Эта ситуация может быть объяснена существенными изменениями условий формирования очагов в процессе фундаментального преобразования коры, изменения ее мощности.

Результаты для более глубоких очагов есть смысл рассматривать вместе с полученными ранее для Тихого и Атлантического океанов [6, 7] — рис. 8. Во всех трех случаях установленные глубины и температуры вполне согласуются с прогнозными. Присутствуют очаги на глубинах 45—50 и 90—105 км, между ними рас-

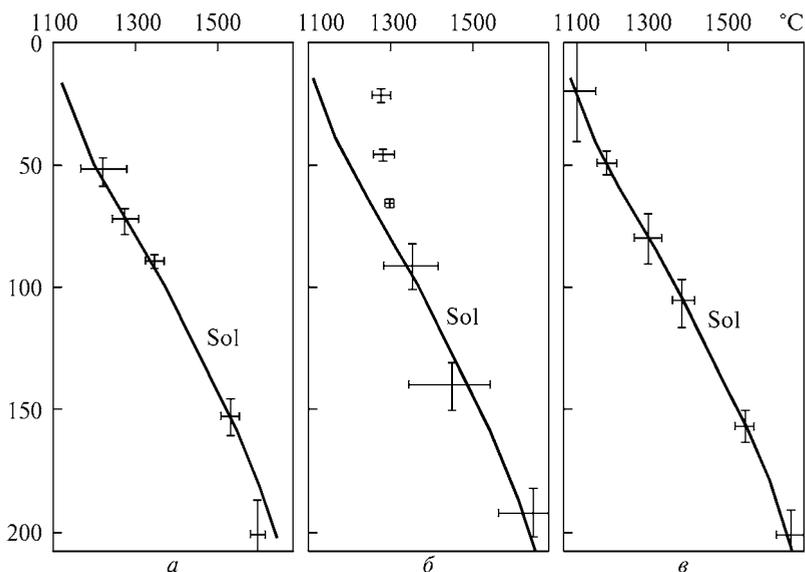


Рис. 8. Средние параметры очагов магматизма океанов: а — Тихого [6]; б — Атлантического [7]; в — Индийского

полагается источник магм на глубинах 65—80 км. Во всех случаях отмечены очаги на глубинах 140—155 и 190—200 км. Почти во всех случаях T_c в очагах близки к температуре сухого солидуса перидотита, реже эклогита.

Максимальное количество магматических пород океанов сформировано магмами из очагов на глубинах между 50 и 100 км (что не исключает, естественно, существования промежуточных магматических камер на пути расплавов к поверхности).

Вторая особенность распределения очагов по глубине состоит в том, что Тихом и Атлантическом океанах анализы, приводящие к глубинам очагов 150—200 км, довольно редки. В случае Индийского океана глубина очагов около 200 км аргументирована лучше, а данные об источниках на примерно 150 км единичны.

Обе черты магматизма океанов встречены на континентах в зонах рифтогенеза [5]. На близость процессов океанического магматизма к характерным для рифтов указывают многие авторы [10, 18 и др.].

По представлениям адвекционно-полиморфной гипотезы отличие связано с прогревом при континентальном рифтогенезе мощной коры (в значительной мере сиалической), обогащенной легкоплавкими породами, что приводит к возникновению дополнительной составляющей эффузивного процесса. Коровые лавы могут превысить по объему мантийные. Такое соотношение наблюдается на собственно рифтовом (а не последующем — синеклизном) этапе развития Днепровско-Донецкой впадины. Океаническая кора формируется на континентальной, но существенно более основной, чем типичная кора материковых платформ [5 и др.].

Подводя итоги проведенного изучения параметров магматических очагов в тектоносфере океанов, можно считать поставленную задачу решенной. Полученные результаты открывают перспективу более обоснованного моделирования глубинных процессов в этих все еще слабо изученных регионах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев С.И.* Геолого-тектоническая карта Мирового океана. М-б 1 : 15 000 000. ВНИИОкеанологии., 2004.
2. *Асавин А.М.* Петрохимическая зональность первичных щелочных магм Индийского океана // Семинар «Геохимия щелочных пород» школы «Щелочной магматизм Земли», 2008
3. *Богатиков О.А., Суханов М.К., Цветков А.А.* Анортозиты в океане // Магматические и метаморфические породы дна океана и их генезис. Ред. О.А. Богатиков, Ю.И. Дмитриев, А.А. Цветков. — М.: Наука, 1983. — С. 12—23.
4. *Говоров И.Н.* Происхождение океанических базальтов по петрохимическим данным // Магматические и метаморфические породы дна океана и их генезис. Ред. О.А. Богатиков, Ю.И. Дмитриев, А.А. Цветков. — М.: Наука, 1983. — С. 24—38.
5. *Гордиенко В.В.* Процессы в тектоносфере Земли (Адвекционно-полиморфная гипотеза). — Saarbrücken: LAP., 2012. — 256 с.
6. *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.
7. *Гордиенко В.В., Гордиенко Л.Я.* О РТ-условиях в мантийных магматических очагах под Атлантическим океаном // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2013. — №4. — С. 63—78.
8. *Кадик А.А., Луканин О.А., Портнягин А.Л.* Магмообразование при восходящем движении мантийного вещества: температурный режим и состав расплавов, образующихся при адиабатической декомпрессии ультрабазитов мантии // Геохимия. — 1990. — 9. — С. 1263—1276.
9. *Кунин Н.Я.* Строение литосферы континентов и океанов. — М.: Недра., 1989. — 288 с.
10. *Макаренко Г.Ф.* Периодичность базальтов, биокризисы, структурная симметрия Земли. — М.: Геоинформмарк. — 1997. — 98 с.
11. *Николаев Г.С., Арискин А.А.* Бураковско-Аганозерский расслоенный массив Заонежья: II. Строение краевой группы и оценка состава родоначальной магмы методом геохимической термометрии // Геохимия. — 2005. — 7. — С. 712—732.
12. *Рудич Е.М.* Движущиеся материка и эволюция океанического ложа. — М.: Недра. — 1983. — 272 с.
13. *Светов С.А., Смолькин В.Ф.* Модельные РТ-условия генерации высокомагнезиальных магм докембрия Фенноскандинавского щита // Геохимия. — 2003. — 8. — С. 879—892.
14. *Суцеская Н.М., Кононкова Н.Н., Колесов Г.М.* Эволюция толеитового магматизма западной части Индийского океана (по данным закалочных стекол) // Геохимия. — 1986. — 2. — С. 157—169.
15. *Суцеская Н.М., Никулин В.В., Ищенко Л.В.* Проблема гетерогенности толеитового магматизма Индийского океана по результатам петролого-геохимического исследования закалочных стекол // Геохимия. — 1991. — 4. — С. 461—475.
16. *Суцеская Н.М., Овчинникова Г.В., Борисова А.Ю.* Геохимическая неоднородность магматизма поднятия Афанасия Никитина, северо-восточная часть Индийского океана // Петрология. — 1996. — Т. 4, 2. — С. 146—164.
17. *Суцеская Н.М., Цехоня Т.И., Дубинин Е.П.* Формирование океанской коры в системе срединно-океанических хребтов Индийского океана // Геохимия. — 1996. — 10. — С. 963—975.
18. *Фролова Т.И., Бурикова И.А.* Платобазальтовый магматизм и океанообразование // Спорные аспекты тектоники плит и возможные альтернативы. — М.: ИФЗ РАН. — 2002. — С. 30—48.
19. *Ariskin A.A.* Phase equilibria modeling in igneous petrology use of CONGMAT model for simulating fractionation of ferro-basaltic magmas and the genesis of high-alumina basalt // J. Volc. Geoth. Res. — 1999. — v. 90. — P. 115—162.
20. *Frey F., Coffin M., Wallace P., Weis, D.* Leg 183 synthesis: Kerguelen Plateau-Broken Ridge a large igneous province // Proc. ODP, Sci. Results, 183: 2003. P. 1—48. doi: 10. 2973 / odp.proc.sr.183.015.2003
21. GIM — база данных по геохимии внутриплитного магматизма. earth.jssc.ru /databases_ru.php
22. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. deepseadrilling.org >i_reports.htm.
23. *Klein E., Langmuir C., Staudigel H.* Geochemistry of basalts from the southeast Indian ridge. 115 E — 138 E // J.G.R. — 1991. — v. 96. B2. — P. 2089—2107.

24. *Mahoney J., Jones W., Frey F., Salters V., Pyle D., Davies H.* Geochemical characteristics of lavas from Broken Ridge, the Naturaliste Plateau and southernmost Kerguelen Plateau: early volcanism of the Kerguelen hotspot. — *Chem. Geol.* — 1995. — 120. — P. 315–345.
25. *McKenzi D., Bickle M.* The volume and composition of melt generated by extension of the lithosphere // *J. Petrol.* — 1988. — v. 29. — P. 625–679.
26. *Weissel J., Peirce J., Taylor E., Alt J.*, Age distribution of volcanism along aseismic ridges in the eastern Indian ocean // *Proceedings of the Ocean Drilling Program.* — 1992. — v. 121. — P. 81M88.
27. *Whitechurch H., Montigny R., Sevigny J., Storey M., Salters V.* K-Ar and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ ages of central Kerguelen plateau basalts // *Proceedings of the Ocean Drilling Program.* — 1992. — v. 120. — P. 71–77.
28. *The World physical.* Editor Graves W. — Washington: National Geographic Society. — 1994.

Статья поступила 03.06.2013

В.В. Гордієнко, Л.Я. Гордієнко

ЩОДО РТ-УМОВ У МАНТІЙНИХ МАГМАТИЧНИХ ОСЕРЕДКАХ ПІД ІНДІЙСЬКИМ ОКЕАНОМ

Запропоновано новий варіант методики розрахунків. Розглянуто геологічні та геофізичні факти, що вказують на океанізацію земної кори Індійського океану. Проведено дослідження РТ-параметрів осередків магм у мантії. Вони становлять біля 20 км і 1120 °С, 50 км і 1200 °С, 80 км і 1300 °С, 105 км і 1400 °С. Перегріта й частково розплавлена мантійна речовина надходила на ці рівні з глибини біля 200 км, де температура сягала 1650 °С. Результати узгоджуються з адвекційно-поліморфною гіпотезою глибинних процесів.

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

V. V. Gordienko, L. Ya. Gordienko

ON PT-CONDITIONS IN MANTLE MAGMA CHAMBERS BENEATH THE INDIAN OCEAN

New version of the method of calculation is proposed. Geological and geophysical data indicating oceanization of Indian ocean crust were analysed. The investigation of the PT-parameters centres of magma in the mantle is conducted. They are about 20 km and 1120 °C, 50 km and 1200 °C, 80 km and 1300 °C, 105 km and 1400 °C. Overheated and partially melted mantle substance arrived to these levels from a depth of about 200 km, where temperature reached 1650 °C. The results are consistent with the advection-polymorphic hypothesis of deep processes.

Key words: *mantle of the oceans, deep processes, magma sources, PT-parameters.*