

М. И. СТРЕЛЬЦОВ

О СДВИГАХ НА ФЛАНГАХ И КРИВИЗНЕ ОСТРОВНЫХ ДУГ

(Представлено академиком Ю. А. Косыгиным 6 IV 1977)

Согласно (1, 2) в структурах, ограничивающих бассейн Тихого океана, преобладают правосторонние сдвиги, тогда как по (3) на флангах островных дуг имеют место разнонаправленные сдвиговые перемещения — левосторонние на левом* и правосторонние на правом. Есть, однако, основания полагать, что островным дугам северо-западной части Тихого океана присущи иные закономерности сдвиговой тектоники, установление которых открывает новые пути подхода к выяснению причин изогнутости этих структур.

Исследуя закономерности размещения вулканов Камчатки и Курильских островов, удалось подметить (4), что для южной части Курило-Восточно-Камчатской вулканической дуги характерно левостороннее, а для северной — правостороннее расположение зон повышенной проницаемости земной коры. При этом полагалось, что проницаемость определяется числом путей выхода магмы на дневную поверхность, отнесенным к единице площади, т. е. плотностью вулканов. По мере продвижения от флангов дуги к ее центру эшелонное расположение зон все менее и менее выражено. Смена «знака» эшелонирования происходит примерно между проливами Крузенштерна и Четвертым Курильским, в районе выклинивания Курильской глубоководной котловины.

Если считать, что линейное расположение вулканов отражает существование в земной коре глубоко проникающих трещин растяжения, то различный характер их эшелонирования на Камчатке и в Курильском районе должен свидетельствовать о противоположном направлении сдвигов на флангах Курило-Камчатской дуги. Для правого ее (южного) фланга оказываются характерными левосторонние смещения, а для левого (северного) — правосторонние.

Тем же путем можно установить, что аналогичное Курило-Камчатскому расположению зон повышенной проницаемости (рис. 1), а следовательно, и аналогичное распределение сдвигов намечаются и в других дугах северо-западной части Тихого океана. Лишь для северной ветви Японо-Сахалинской дуги, где вулканическая деятельность в четвертичное время не проявлялась, равноценные данные о зонах повышенной проницаемости отсутствуют. Однако путем анализа структурного рисунка, образованного кайнозойскими зонами растяжения и сжатия (6), можно прийти к заключению о правосторонних перемещениях по продольным разрывам Сахалина.

Таким образом, для правых флангов островных дуг северо-западной части Тихого океана типична левосторонняя составляющая сдвиговых смещений, а для левых — правосторонняя (рис. 2), причем есть основания (6-8) полагать, что подобное распределение сдвигов в исследуемых дугах наметилось еще в неогене.

* Наименование флангов определяется по их расположению относительно наблюдателя, смотрящего на дугу из центра соответствующей ей окружности.

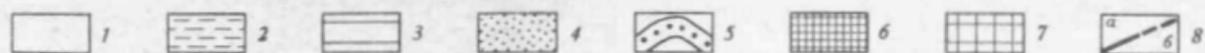
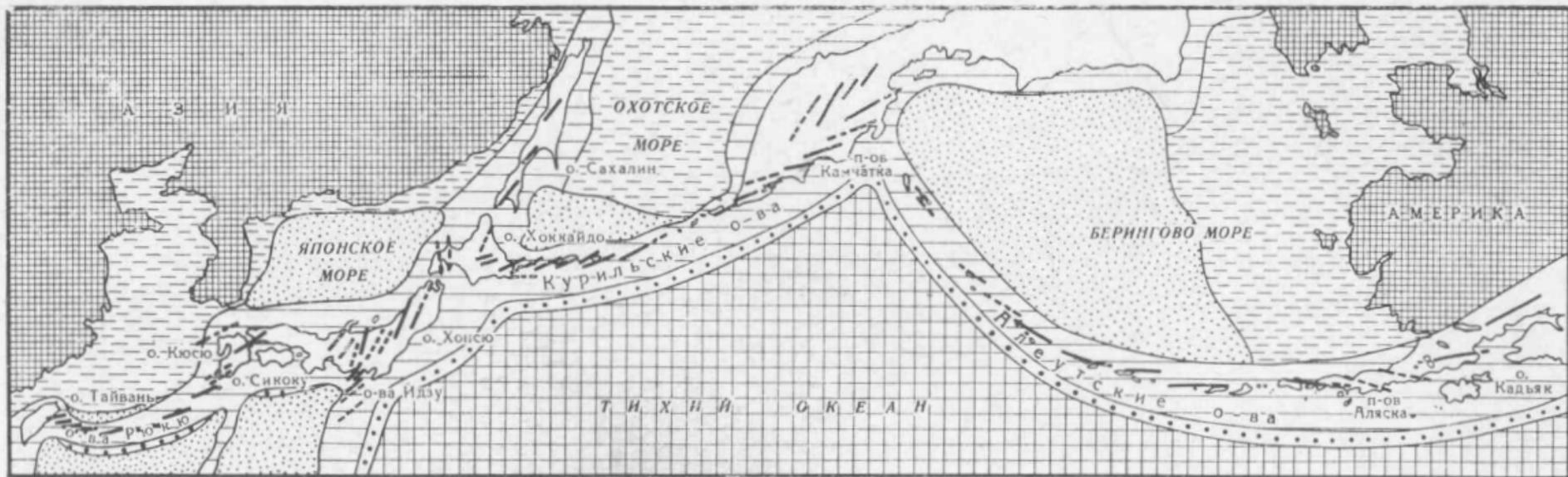


Рис. 1. Осевые линии зон повышенной проницаемости в островных дугах северо-западной части Тихого океана. 1—7 — основные структурные элементы района (5): 1 — области кайнозойского тектогенеза, 2 — участки эпимезозойских и более древних платформ, 3 — кайнозойские складчатые и геосинклинальные области, 4 — глубоководные котловины, лишенные гранитного слоя, и участки донеогеновой складчатости, 5 — глубоководные желоба, 6 — структуры материкового типа, 7 — океанические платформы; 8 — осевые линии зон повышенной проницаемости установленные (а) и предполагаемые (б) (на Сахалине — зоны растяжения, сопровождающие Тымь-Поронайский разлом (6))

Воспользуемся широко распространенной моделью строения верхних частей Земли в виде идеально упругой пластины (литосферы), подстилаемой слоем (астеносферой), в котором упругие свойства частично или полностью утеряны. Эта модель дополняется в районах островных дуг протяженной и аномальной в температурном отношении областью в литосфере — вулканическим поясом. Если полагать, что первоначально эта об-

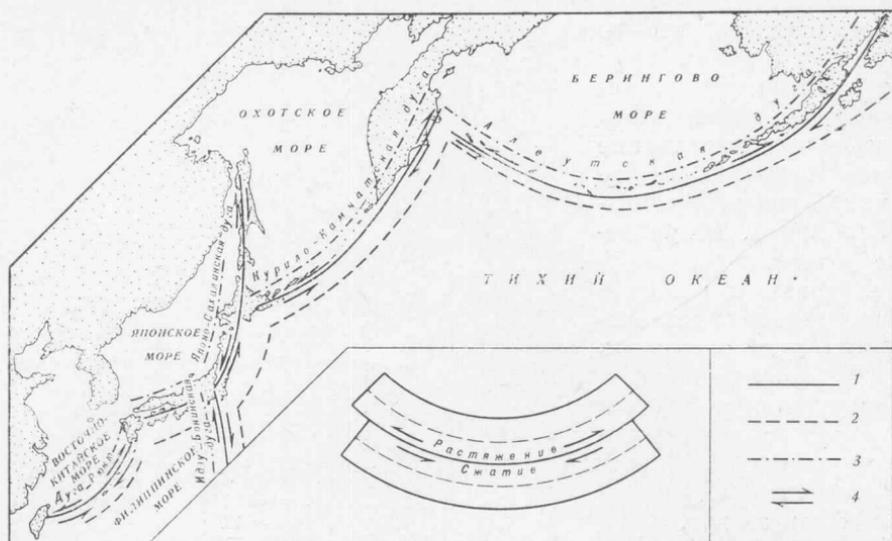


Рис. 2. Сдвиги в островных дугах северо-западной части Тихого океана (на врезке — сдвиги в слоистом бруске). 1 — граница внешней и внутренней зон островных дуг; 2 — ось глубоководного желоба; 3 — внутренняя граница вулканических зон; 4 — направление сдвигов

ласть имела форму параллелепипеда с высотой, равной мощности литосферы, а также пренебречь кривизной земной поверхности и трением на границе литосферы и астеносферы, то для определения реактивных сил, возникающих в литосфере, можно воспользоваться результатами решения задачи Дж. Гудьера о прямоугольном включении в бесконечной пластине⁽¹¹⁾.

Нормальные напряжения в этом случае имеют вид

$$\sigma_y = \frac{E\alpha T}{2\pi} [(\Theta_1 - \Theta_2) - (\Theta_3 - \Theta_4)], \quad \sigma_x = \frac{E\alpha T}{2\pi} [(\vartheta_1 - \vartheta_2) - (\vartheta_3 - \vartheta_4)], \quad (1)$$

где E — модуль Юнга, α — коэффициент теплового расширения, T — разность температур между включением и пластиной,

$$\Theta_1 = \arctg \frac{y-b}{x-a}, \quad \Theta_2 = \arctg \frac{y+b}{x-a}, \quad \Theta_3 = \arctg \frac{y-b}{x+a}, \quad \Theta_4 = \arctg \frac{y+b}{x+a};$$

$\vartheta_1, \vartheta_2 \dots$ получаются из $\Theta_1, \Theta_2 \dots$, если поменять местами в этих выражениях x и y , а также a и b (рис. 3).

Так как для исследуемого прямоугольного включения (вулканического пояса) $a \gg b$, то для нормальных напряжений вблизи его торца, т. е. при $x \rightarrow a+0$ и $|y| < b$, получаем из (1)

$$\sigma_x = -E\alpha T/2; \quad (2)$$

вблизи же длинной стороны включения, т. е. при $y \rightarrow b+0$ и $|x| < a$, $-\sigma_y = 0$.

Рассматривая прямоугольное включение как стержень, можно исследовать его устойчивость. Для простейшего случая, т. е. для стержня со свободной поверхностью, критическая сила P_3 определяется известным выражением

$$P_3 = EI\pi^2/l^2, \quad (3)$$

где I — момент инерции и $l=2a$ — длина стержня.

Начальная кривизна стержня (за счет кривизны Земли) препятствует его прогибу внутрь Земли, а объемные гравитационные силы так велики ⁽¹²⁾, что не имеет смысла говорить о его изгибах вверх. Остается, таким образом, исследование устойчивости стержня лишь в плоскости пластины. В этом случае $I = hc^3/12$, где h — высота поперечного сечения стержня, равная мощности пластины, а $c = 2b$ — его ширина. Подставляя это значение I в (3), получаем

$$P_0 = Ehc^3\pi^2/(12l^2), \quad (4)$$

а для реактивной силы P_1 , действующей на торец стержня, учитывая (2),

$$P_1 = E\alpha T ch/2. \quad (5)$$

Приравнявая (4) и (5), находим, что стержень потеряет устойчивость при

$$T = \pi^2 c^2 / (6\alpha l^2). \quad (6)$$

Например, для Курило-Камчатской дуги можно считать ⁽¹³⁾, что $c = 4,5 (\pm 2,2) \cdot 10^6$ см, $l = 2,3 \cdot 10^8$ см; коэффициент теплового расширения, полагая, что «вулканический стержень» имеет габбровый состав ⁽¹⁴⁾, можно принять, согласно ⁽¹⁵⁾, $\alpha = 5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Для минимальных, средних и максимальных c получаем соответственно, согласно (6), $T \approx 30, 125$ и 280° . Следовательно, стержень с такими параметрами потеряет устойчивость при разности температур порядка той, которую можно предполагать между вулканическим поясом и включающей его литосферой.

Таким образом, причина изогнутости островных дуг, возможно, кроется в самих дугах, или, точнее, в процессах, происходящих в этих структурах. Заключительную часть настоящей статьи следует рассматривать лишь как постановку задачи о кривизне островных дуг. Задача об устойчивости «вулканического стержня» окончательно не решена. С одной стороны, не учтено влияние среды на устойчивость стержня, с другой — в силу длительности существования «вулканического стержня» и он сам, и окружающая его среда вряд ли могут аппроксимироваться моделью, обладающей только упругими свойствами.

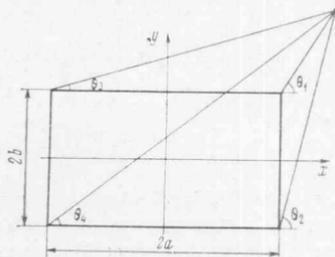


Рис. 3

Сахалинский комплексный
научно-исследовательский институт
Дальневосточного научного центра
Академии наук СССР
п. Новоалександровск

Поступило
31 III 1977

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ H. Benioff, Circum-Pacific Tectonics, v. 20, № 2, 395 (1959). ² P. St. Amand, Bull. Geol. Soc. Am., v. 68, № 10, 1343 (1957). ³ Г. Д. Ажгирей, Структурная геология, М., Изд-во МГУ, 1966. ⁴ М. И. Стрельцов, ДАН, т. 216, № 6, 1372 (1974). ⁵ Тектоника Евразии, М., «Наука», 1966. ⁶ В. С. Рождественский, ДАН, т. 230, № 3, 678 (1976). ⁷ М. И. Стрельцов, Дислокации южной части Курильской островной дуги, М., «Наука», 1976. ⁸ Геологическое развитие Японских островов, М., «Мир», 1968. ⁹ Строение земной коры и верхней мантии в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану, Новосибирск, «Наука», 1976. ¹⁰ К. Ф. Сергеев, Тектоника Курильской островной системы, М., «Наука», 1976. ¹¹ Э. Мелан, Г. Паркус, Термоупругие напряжения, вызываемые стационарными температурными полями, М., Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1958. ¹² Г. Джеффрис, Земля, ее происхождение, история и строение, М., ИЛ, 1960. ¹³ П. И. Токарев, Изв. АН СССР. Физика Земли, № 3, 15 (1970). ¹⁴ Р. И. Родионова, В. И. Федорченко, В кн.: Вулканизм, гидротермы и глубины Земли, Петропавловск-Камчатский, 1969. ¹⁵ Справочник физических констант горных пород, М., «Мир», 1969.