

ФЕНОМЕН ЗОНЫ СУБДУКЦИИ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ДУГИ

Академик РАН Е.И. Гордеев^{1,2}, чл.-корр. РАН И.Ю. Кулаков^{1,3}, Н.М. Шапиро^{2,4}

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: gordeev@kscnet.ru*

² *Институт физики Земли Российской академии наук, Москва*

³ *Институт нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения наук Российской академии наук, Новосибирск*

⁴ *Институт Наук о Земле, CNRS, Университет Гренобль-Альпы, Гренобль, Франция*

Субдукция в Курило-Камчатском вулканическом поясе вызвана взаимодействием литосферных плит. Тихоокеанская океаническая плита погружается под континентальную Евроазиатскую (Северо-Американскую?). Детальное исследование структуры зоны субдукции на Камчатке позволило определить основные параметры зоны вдоль границы контакта взаимодействующих литосферных плит (1). Возраст погружающейся океанической плиты постепенно уменьшается с юга на север (диапазон 50° СШ - 56° СШ) от 104.5 млн.лет до 77 млн. лет, максимальная глубина землетрясений уменьшается от 500 до 100 км и протяженность сейсмически активного участка в зоне субдукции меняется от 700 до 230 км. Угол погружения плиты на всем протяжении Камчатского участка Курило-Камчатской дуги практически остается постоянным и составляет около 55 град. Севернее, до сочленения Курило-Камчатской дуги с Алеутской, строение зоны субдукции изменяется. Если до широты в 55° отмечается постепенное уменьшение глубины гипоцентров землетрясений с 500 км до 300 км, то севернее происходит резкое изменение с 300 км до 100 км. и угол погружения плиты уменьшается до 35 град. Вулканический фронт почти линейный на широтах 50° - 55° севернее смещается на северо-запад и Тихоокеанская литосферная плита изгибается в этом же направлении и исчезает в зоне стыка с Алеутской дугой на широте около 56.5°. Как было показано ранее (2,3) на границе северной оконечности литосферной плиты формируется восходящий астеносферный поток. Наличие восходящего астеносферного потока было определено по результатам томографии по поверхностным волнам и по исследованиям анизотропии поперечных сейсмических волн в астеносфере под субдукционной плитой. Исчезновение субдукционной плиты в зоне стыка Алеутской дуги и Камчатки связано с существованием мантийного плюма, который с глубин более 1000 км поднимается к поверхности (4). Как

было предположено в работе (3) от 10 млн. лет до 5 млн лет назад исчез древний слэб возникший при субдукции литосферы Командорской впадины, около 2 млн. лет назад северный участок Тихоокеанской литосферной плиты отделился и погрузился в мантию. Таким образом возникло окно в зоне стыка Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Более того, влияние мантийного плюма вызвало частичное плавление субдукционной плиты в западной части Алеутской дуги с возникновением зоны с отсутствием субдукционной плиты, так называемый "slab portal" (5). Существование восходящего астеносферного потока в зоне стыка Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг было недавно подтверждено сейсмотомографическими построениями (6). На рис. 1 показана реконструкция поступления мантийных расплавов в районе исчезновения субдукционной плиты.

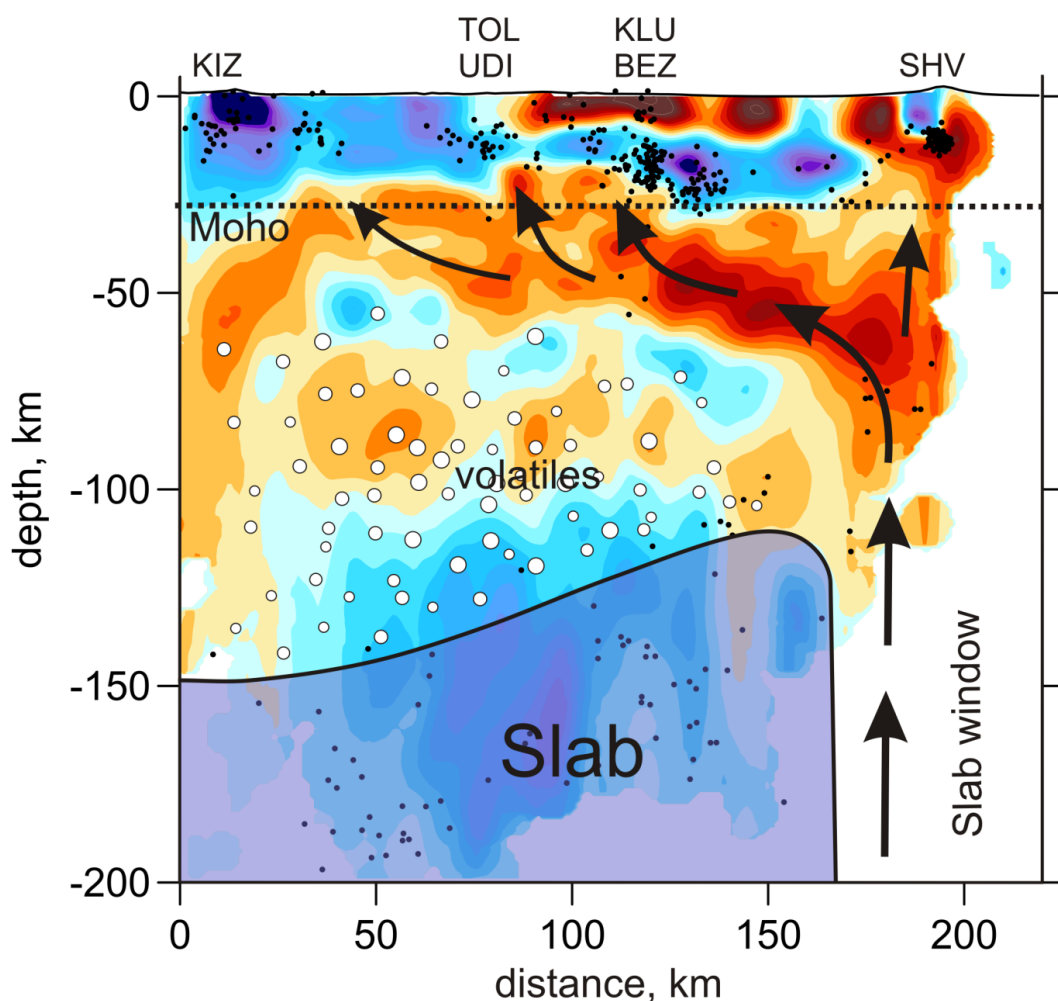


Рис.1. Схема распространения магматических расплавов от астеносферного потока на границе Тихоокеанской литосферной плиты. Зоны повышенных скоростей S- волн отмечены синим цветом, пониженных, связанных с зонами расплавов и флюидов желто-красным цветом. Черными точками отмечены гипоцентры землетрясений. Открытыми белыми кружками указаны потоки флюидов с верхней границы погружающейся плиты.

Черными стрелками отмечено возможное распространение астеносферного потока. Точечная линия определяет границу Мохо.

Как было показано в работе (7) дополнительное питание вулканов Ключевской группы от астеносферного потока объясняет значительную разницу в продуктивности вулканов Ключевской группы и всех остальных вулканов Восточного вулканического пояса Камчатки. На рис. 2 отчетливо прослеживается низкоскоростная аномалия на глубине 50 км от вулкана Шивелуч до вулкана Кизимен. Эту аномалию можно рассматривать как проникновение магматических расплавов вдоль зоны субдукции от вертикального астеносферного потока на границе субдукционной плиты.

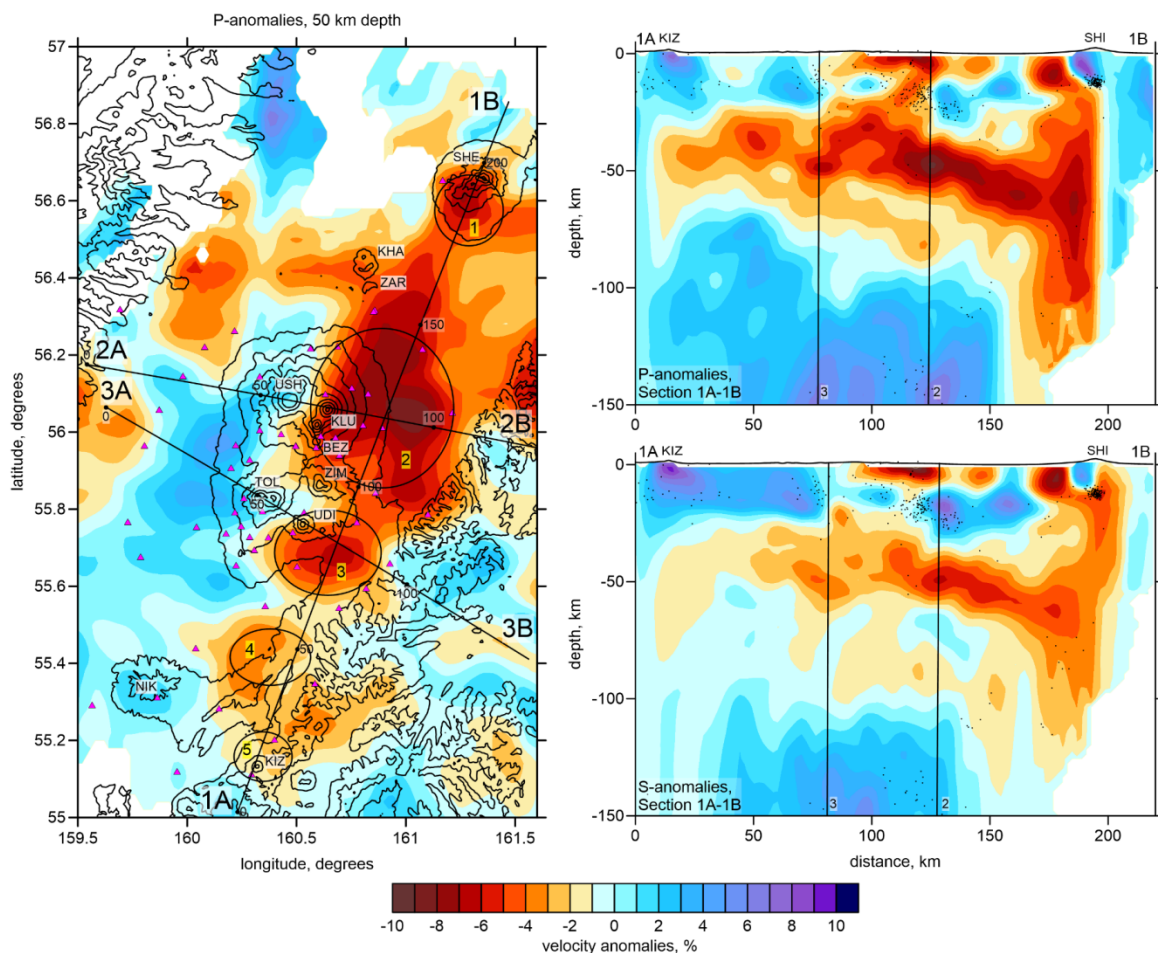


Рис.2. На левом рисунке показана структура аномалий скоростей Р-волн под Ключевской группой вулканов на глубине 50 км. Справа скоростные аномалии продольных (Р-волн) и поперечных (S-волн) по глубинному разрезу на профиле 1А-1В (влк. Кизимен (KIZ) - влк. Шивелуч (SHE)). Точками отмечены гипоцентры землетрясений под вулканами и в зоне субдукции.

Строение скоростной структуры среды в работе (6) возможно было получить только до влк. Кизимен. Система наблюдений не позволяла построить

сейсмотомографические модели для вулканов Восточного вулканического пояса Камчатки южнее Кизимена. Хотя можно предположить, что влияние астеносферного потока распространилось и на более южные вулканы. Для проверки такого предположения была посчитана удельная продуктивность для всех вулканов Восточного вулканического пояса. Продуктивность оценивалась по объемам вулканических построек. Конечно, при таком методе оценки объемов изверженных продуктов может не учитываться эксплозивная часть, но обычно при эксплозивных извержениях пепловые облака выносят незначительную долю от общего объема продуктов извержения. Во время вулканических взрывов большая часть отложений в виде шлаков и вулканических бомб формируют вулканические постройки.

Таблица 1: Вулканы Восточного вулканического пояса Камчатки

№	Название вулкана	Высота, м	Широта	Долгота
1	Эбеко	1152	50°58'	156°02'
2	Алаид	2339	50°51'	155°33'
3	Камбальный	2156	51°18'	156°54'
4	Кошелевский	1812	51°21'	156°45'
5	Дикий Гребень	1079	51°27'	156°59'
6	Ильинский	1578	51°30'	157°12'
7	Желтовский	1953	51°35'	157°20'
8	Келля	940	51°39'	157°21'
9	Ксудач	1079	51°49'	157°32'
10	Ходутка	2090	52°04'	157°42'
11	Приемыш	1202	52°04'	157°42'
12	Пиратковский	1322	52°07'	157°51'
13	М. Ипелька	460	52°17'	156°45'
14	Желтый	885	52°20'	157°55'
15	Асача	1909	52°21'	157°50'
16	Мутновский	2323	52°27'	158°12'
17	Опала	2475	52°32'	157°20'
18	Толмачева	1415	52°33'	157°45'
19	Горелый	1829	52°33'	158°02'
20	Жировской	1125	52°37'	158°15'
21	Толмачев Дол	1021	52°39'	157°39'
22	Б.Ипелька	1140	52°40'	156°56'
23	Вилючинский	2173	52°42'	158°17'
24	Козельский	2189	53°14'	158°53'
25	Авача	2751	53°15'	158°51'
26	Корякский	3456	53°17'	158°34'
27	Арик	2156	53°22'	158°40'
28	Ааг	2310	53°24'	158°38'
29	Жупановский	2958	53°35'	159°08'
30	Дзэндзур	2159	53°38'	159°05'
31	Жупановские востр.	1707	53°47'	159°18'
32	Дитмара	1301	53°52'	159°33'

33	Бакенинг	2278	53°55'	158°05'
34	Белянкина	1144	53°56'	159°25'
35	Крайний	1198	53°57'	159°20'
36	Академии наук	1100	53°59'	159°28'
37	Карымский	1486	54°03'	159°27'
38	Двор	1489	54°05'	159°27'
39	М. Семячик	1560	54°08'	159°40'
40	Соболиный	1131	54°09'	159°27'
41	Кругленький	1122	54°16'	159°52'
42	Центр. Семячик	1294	54°17'	159°56'
43	Б. Семячик	1739	54°19'	160°01'
44	Бурлящий	1164	54°20'	159°58'
45	Восточный Бараний	1425	54°20'	159°53'
46	Кихпиныч -	1552	54°29'	160°14'
47	Узон	1591	54°30'	159°55'
48	Тауншиц	2353	54°32'	159°48'
49	Крашенинникова	1856	54°35'	160°16'
50	Унана	2192	54°39'	159°45'
51	Кроноцкий	3528	54°45'	160°30'
52	Шмидта	2038	54°55'	160°37'
53	Гамчен	2576	54°58'	160°42'
54	Высокий	2153	55°04'	160°46'
55	Комарова	2070	55°04'	160°00'
56	Конради	1892	55°06'	160°34'
57	Приходченко	1138	55°08'	160°44'
58	Сокол	1654	55°10'	160°33'
59	Кизимен	2485	55°12'	160°19'
60	Иульт	1856	55°14'	160°36'
61	Тумрок	2103	55°23'	160°53'
62	М. Удина	1945	55°45'	160°37'
63	Плоский Толбачик	3085	55°49'	160°25'
64	Горный Зуб	2242	55°51'	160°42'
65	Овальная Зимина	3081	55°52'	160°37'
66	Острая Зимина -	2744	55°52'	160°37'
67	Б. Удина	2923	55°56'	160°45'
68	Острый Толбачик	3682	55°57'	160°24'
69	Безымянный	2882	55°58'	160°36'
70	Камень	4575	56°01'	160°45'
71	Ключевской	4750	56°03'	160°39'
72	Д. Плоская	3943	56°04'	160°29'
73	Б. Плоская	4057	56°07'	160°30'
74	Заречный	754	56°23'	160°34'
75	Харчинский	1400	56°26'	160°34'
76	Шивелуч	3283	56°39'	161°21'

В таблице 1 приведен список вулканов Восточного вулканического пояса, для которых были рассчитаны объемы изверженных продуктов.

Удельная продуктивность вулканов вычислялась для участков зоны субдукции равной одному градусу широты. На рис. 3 представлена гистограмма распределения удельной продуктивности для вулканов Восточного вулканического пояса Камчатки на широтах от 51° до 56°.

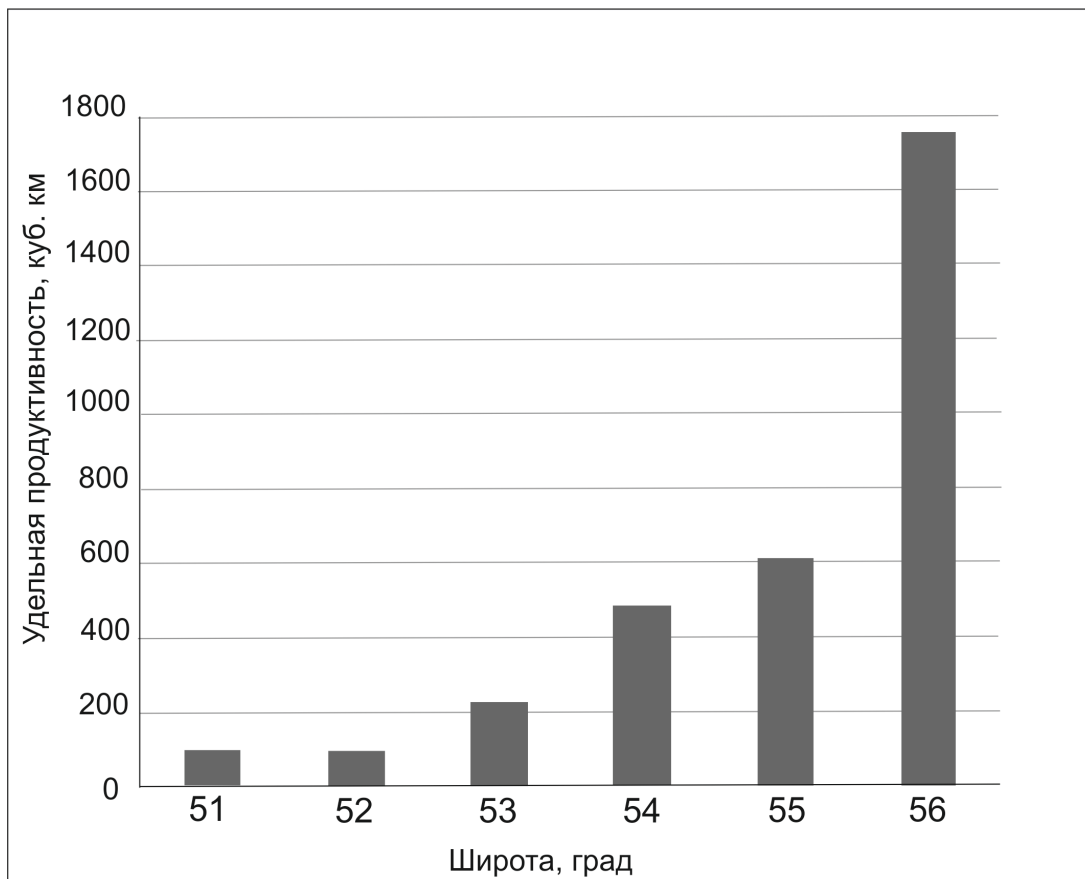


Рис.3. Зависимость удельной продуктивности вулканов Восточного вулканического пояса от широты.

Очевидно, что существует явно выраженное уменьшение продуктивности вулканов Восточного вулканического пояса с севера на юг, т.е. по мере удаления от окончания субдукционной плиты. Это уменьшение, скорее всего, связано с уменьшением проникновения магматических расплавов вдоль субдукционной плиты от астеносферного потока в зоне стыка Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Распространение потока вдоль зоны субдукции может быть связано с преимущественной диффузией в разогретой среде, которая образована из-за присутствия расплавов и флюидов поднимающихся с верхней границы субдукционной плиты. Можно отметить, что продуктивность вулканов южнее широты в 52° не уменьшается. Расстояние до этой широты от северного окончания литосферной плиты составляет около 400 км. Следовательно за время открытия окна в зоне стыка Курило-Камчатской и Алеутской

островных дуг (около 2 млн. лет (3)) магматические расплавы распространились на 400 км. Средняя скорость диффузии теплового потока составляет 20 см в год. Уменьшение продуктивности вулканов Восточного вулканического пояса с севера на юг происходит по экспоненте. Так как теплопроводность среды уменьшается с уменьшением температуры по экспоненциальному закону, то величина тепловой энергии уменьшается по экспоненте по мере проникновения теплового потока в твердую среду. При таком механизме распространения теплового потока объемы образованных расплавов будут уменьшаться по экспоненте по направлению распространения теплового потока.

Выявленные особенности системы питания вулканов Восточного вулканического пояса могут дать объяснение различного состава изверженных пород для северной и южной части зоны субдукции на Камчатке. Состав изверженных пород с севера на юг в Восточном вулканическом поясе изменяется от преобладания основного состава к преобладанию кислого состава, что может быть связано с частичным плавлением вещества коры. (9).

Работа выполнена при поддержке Мегагранта № 14.W03.31.0033 Минобрнауки России

Список литературы

1. Alexei Gorbatov, Vladimir Kostoglodov, Gerardo Suarez, Evgeni Gordeev, Seismicity and structure of the Kamchatka subduction zone, *Journal of Geophysical Research*, Vol.102, No B8, p. 17,883-17,898, 1997
2. Peyton, V., V. Levin, J. Park, M.T. Brandon, J. Lees, E. Gordeev, and A. Ozerov, Mantle flow at a slab edge: Seismic anisotropy in the Kamchatka region, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 379-382, 2001.
3. Vadim Levin, Nikolai Shapiro, Jeffrey Park & Michael Ritzwoller, Seismic evidence for catastrophic slab loss beneath Kamchatka, *Nature*, Vol. 418, 2002.
4. Gorbatov, A., Fukao, Y., Widiyantoro, S., and Gordeev, E., 2001, Seismic evidence for a mantle plume oceanwards of the Kamchatka-Aleutian trench junction, *Geophysical Journal International*, v. 146, p. 282–289.
5. Vadim Levin, Nikolai M. Shapiro, Jeffrey Park. Michael H. Ritzwoller, Slab portal beneath the western Aleutians, *Geology*, v. 33, no. 4, p. 253–256, 2005 doi: 10.1130/G20863.1.

6. Koulakov I., N. Shapiro, C. Sens-Shoenefelder, B.G. Luehr, E.I. Gordeev, A.V. Jakovlev, I. Abkadyrov, D.V. Chebrov, S.Ya. Droznina, S. Senyukov, A. Novgorodova, and T. Stupina (2020), Mantle and crustal sources of magmatic activity of Klyuchevskoy and surrounding volcanoes in Kamchatka inferred from earthquake tomography, *J. Geophys. Res., Solid Earth* (submitted)

7. Е.И. Гордеев, И.Ю. Кулаков, Н.М. Шапиро, Система магматического питания Ключевской группы вулканов (Камчатка), Доклады академии наук. Науки о Земле (в печати).

8. Действующие вулканы Камчатки , Т.1, Т.2, М: Наука, 1991