



УДК 550.344.43

М. В. Лемзиков

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: lemzikov@kscnet.ru

Асейсмические области под активными вулканами Камчатки по данным детальным сейсмологическим наблюдений в 1962–2012 годы

В работе исследуются «асейсмические» области под активными вулканами Камчатки. Использован региональный оперативный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 1962–2012 гг.. Применяется программное обеспечение для построения трёхмерных объёмных пространственных проекций очагов землетрясений Камчатки. В результате обнаружено, что под Северной группой вулканов локальный объём «асейсмической» области значительно больше, чем под Авачинско-Корякской группой вулканов.

Введение

Камчатка относится к тем регионам, где интенсивные геодинамические процессы и связанные с ним сейсмичность и вулканизм достигают наивысшего уровня. Здесь, находится область перехода от Азиатского континента к Тихому океану и сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. В этом районе происходит более трети землетрясений России, огромные цунами, находится 30 действующих вулканов, в том числе такие вулканы-гиганты, как вулканы Ключевской и Шивелуч. Вдоль Камчатки тянется пояс действующих вулканов, в число которых входят крупнейшие вулканы Азии. Сейсмичность Камчатки расположена в зоне Вадати-Заварицкого-Беньофа, которую, обычно называют сейсмофокальным слоем или фокальной зоной [1, 5].

Детальные сейсмологические наблюдения на Камчатке были начаты 1 ноября 1961 г. Тихоокеанской сейсмической экспедицией ИФЗ АН СССР совместно с Комплексной геолого-геофизической обсерваторией СО АН СССР под руководством начальника ТСЭ С. А. Федотова .

В настоящее время детальные сейсмологические наблюдения на Камчатке продолжают уже более 50 лет. В результате получен полный банк сейсмологических данных, были определены координаты более чем 130 тысяч Камчатских землетрясений, основная масса которых произошла в сейсмофокальном слое Камчатки.

Первое исследование геометрии и строения сейсмофокального слоя Камчатки, используя региональный каталог землетрясений Камчатки за 1962–1964 гг., было выполнено в работе [1]. Детальное рассмотрение геометрии и строения фокальной зоны Камчатки по данным детальным сейсмологических наблюдений за 1962–1985 гг. было выполнено в [6].

Активные вулканические пояса Восточной Камчатки и Курильских островов вытянуты вдоль геоструктурной дуги радиуса 1884 км. Среднее квадратичное отклонение действующих вулканов от этой дуги составляет ± 22 км, таким образом, почти 70% действующих вулканов Камчатки и Курильских островов лежат в полосе шириной примерно, 43 км [10, 11, 12, 13].

Фокальный слой Камчатской сейсмоактивной зоны погружается в сторону Азиатского материка под углом $48^\circ \pm 5^\circ$ к поверхности Земли и выходит на поверхность земли в северо-западном склоне глубоководного жёлоба на расстоянии 75–175 км юго-восточнее вулканической дуги [10, 11, 12, 13].

В отличие от упомянутых работ в данном исследовании используется региональный каталог землетрясений Камчатки за 1962–2012 гг. и применяется программное обеспечение для построения трёхмерных объёмных проекций очагов землетрясений сейсмофокального слоя и вулканов Камчатки.

Исходные данные

В работе используется региональный оперативный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов Камчатского Филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) за период 1962–2012 гг.¹. Записи землетрясений выполнены региональной сетью станций КФ ГС РАН.

Основные параметры землетрясений в каталоге КФ ГС РАН включают: дата (год/месяц/день); время в очаге (UTC time часы:минуты:секунды); координаты гипоцентра: (Lat — географическая широта в градусах (северная)), (Lon — географическая долгота в градусах (восточная)); глубина очага H в км от уровня моря; энергетические оценки: (энергетический класс $K_{S1,2}^{68}$ по определению С. А. Федотова

¹www.emsd.ru

и локальную магнитуду M_l). Категория каталога: f — окончательный; o — оперативный.

Региональный оперативный каталог на Интернет странице содержит информацию о параметрах землетрясений с 1962 г. с уровня $K_{S1,2}^{Ф68} \geq 8,0$ ($M_l \geq 2,6$).

В среднем точность определения координат гипоцентров землетрясений составляет 10–15 км на удалении от сети сейсмических станций до 30 км, а точность определения глубин очага около 20 км на удалении — 50 км. На практике обеспечивается более высокая точность взаиморасположения очагов землетрясений за счёт постоянства сети наблюдений и методики обработки [6].

Координаты гипоцентров землетрясений и глубины очагов раньше определялись по программе, разработанной и внедренной А. А. Гусевым [6]. С 2010 г. определение координат гипоцентров землетрясений и глубины очага производится по программе Д. В. Дроздина [2].

Методика построений проекций очагов землетрясений

Для построения трёхмерных объёмных пространственных проекций очагов землетрясений Камчатки использовалось современное программное обеспечение. Из регионального оперативного каталога программно выбирались землетрясения по координатам (широта и долгота гипоцентра), попадающие в определённый район квадрата. При этом были определены три квадратных района: 1) охватывающий сейсмофокальную зону и вулканический пояс Камчатки: 51° в. д. — 57° с. ш. 155° в. д. — 162° в. д.; 2) охватывающий северную часть фокальной зоны, северную группу вулканов и вулкан Кизимен: 54° с. ш. — 57° с. ш. 156° в. д. — 162° в. д.; 3) охватывающий юго — восточную часть сейсмофокальной зоны, южную и восточную группу вулканов: 50° с. ш. — 54° с. ш. 156° в. д. — 161° в. д. По каждому району были построены трёхмерные объёмные проекции очагов землетрясений и проекции вулканов Камчатки. Просматривая трёхмерные объёмные пространственные проекции очагов землетрясений можно исследовать особенности тектоники, сейсмичности и вулканизма Камчатки.

Результаты

В работе исследовались трёхмерные объёмные пространственные проекции очагов тектонических землетрясений Камчатки и Командорских островов за 1962–2012 г.ов и вулканов Камчатки.

В целом значительных изменений и особенностей в геометрии и строении фокальной зоны от предыдущих исследований [1, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13] не наблюдается. Фокальный слой простирается на глубинах 0–50 км на 200 км вкост Курило-Камчатской дуги, от океанского склона глубоководного жёлоба до вертикального «асейсмического» фронта под побережьем Камчатки. Глубже 50 км фокальная зона имеет вид относительно тонкого слоя толщиной 50–70 км, падающего под Азиатский

континент под углом 50° . Слой с четкими границами протягивается до глубин порядка 200 км; максимальная толщина слоя 50 км, средняя — 40 км.

На рис. 1 представлены трёхмерные объёмные проекции очагов землетрясений района, охватывающего сейсмофокальную зону и вулканический пояс Камчатки. Сейсмичность в этом районе распределена неравномерно. Наблюдается чёткая полоса сгущения очагов поверхностных землетрясений, идущая вдоль восточного побережья Камчатки. Они фиксирует место выхода фокального слоя на поверхность Земли. По мере удаления на запад от места выхода фокального слоя на поверхность земли постепенно возрастает глубина очагов землетрясений. На севере сейсмоактивной зоны Камчатки полоса сгущения очагов поверхностных землетрясений круто поворачивает на восток, в район западного окончания Алеутской дуги. За пределами глубоководного жёлоба Камчатки очагов землетрясения почти незаметно. В наклонном фокальном слое можно выделить три яруса. Первый на глубинах до 50–70 км, второй располагается ниже первого на глубинах от 50 до 160 км, нижняя граница этого яруса на глубинах 140–180 км служит местом пересечения фокального слоя с корнями вулканов, в котором резко уменьшается плотность очагов землетрясений. В этом месте предполагается наличие «асейсмической» области [3, 9]. Проекция действующих вулканов находятся на тех глубинах, где число землетрясений в фокальном слое убывает быстрее всего.

На рис. 2 представлены трёхмерные объёмные пространственные проекции очагов района, охватывающего северную часть сейсмофокальной зоны, вулканы северной группы и вулкан Кизимен. Сейсмичность в этом районе распределена неравномерно. На севере сейсмофокального слоя Камчатки полоса сгущения очагов поверхностных землетрясений значительно меньше. К району северной группы вулканов относится зона активных вулканов северной группы (Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Толбачик), а также прилегающий к ней с востока и запада сейсмоактивные зоны хребтов Кумроч и Срединного. Распределение землетрясений в районе хребта Кумроч, показывает, что «асейсмическая» область между коровыми землетрясениями и землетрясениями фокального слоя по мере удаления на восток постепенно выклинивается. Под Ключевской группой вулканов наблюдается наличие «асейсмической» области, там где корни вулканов пересекают фокальный слой [132]. Под Ключевской группой вулканов ранее отмечалось повышенное затухание объёмных сейсмических волн.

На рис. 3 представлены трёхмерные объёмные пространственные проекции очагов землетрясений района, охватывающего юго-восточную часть сейсмофокальной зоны, южную и восточную группу вулканов. На рисунках, видно что район Авачинско-Корякской группе вулканов, была в течение

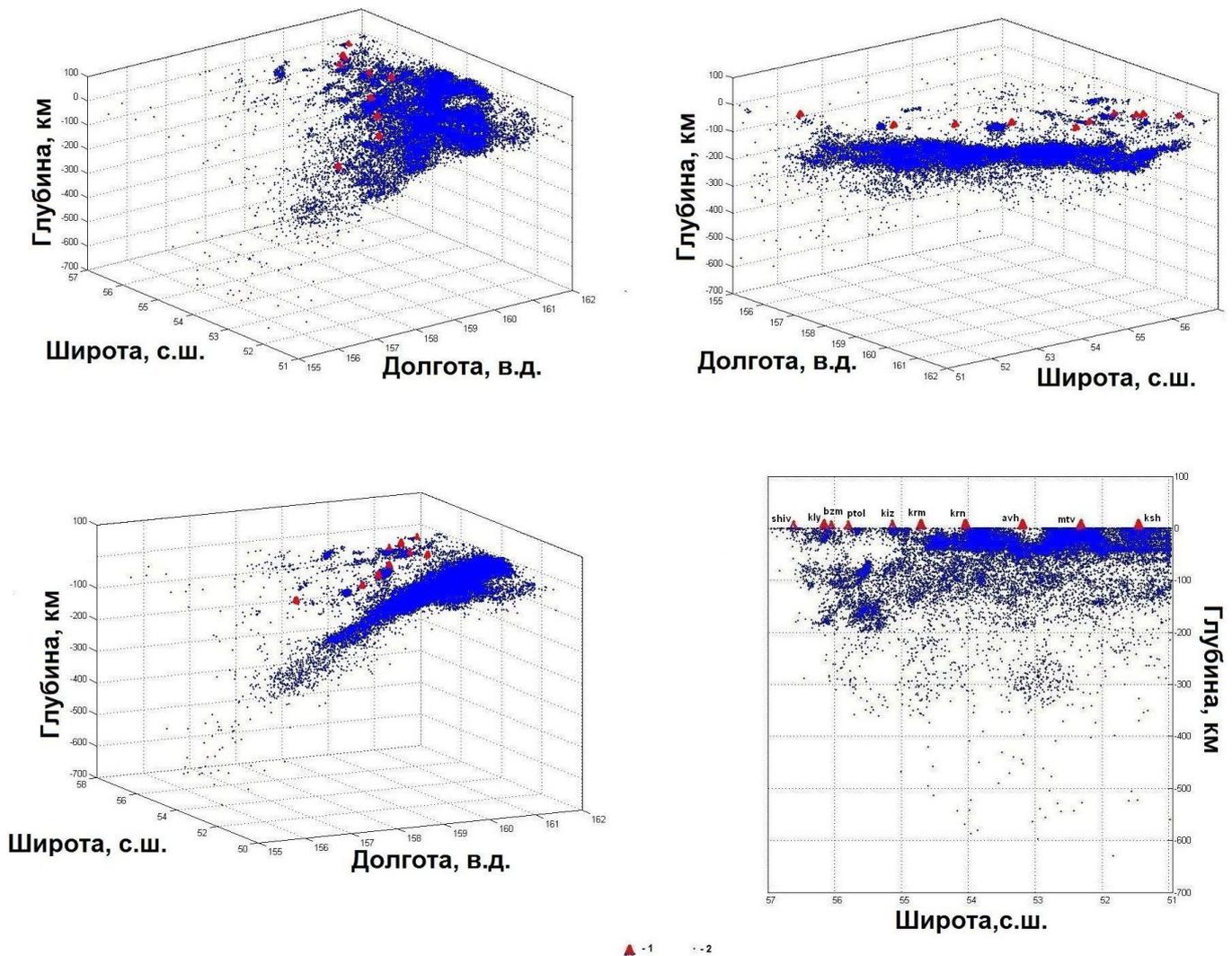


Рис. 1. Трёхмерная объёмная проекция очагов землетрясений района, охватывающего сейсмофокальную зону и вулканический пояс 1 — очаги землетрясений; 2 — действующие вулканы: shiv — Шивелуч, kly — Ключевской bzm — Безымянный, ptol — Плоский Толбачик, kiz — Кизимен, krm — Карымский, krn — Кроноцкий, avh — Авача, mtv — Мутновский, ksh — Кошелевский.

пятидесятилетних детальных сейсмологических наблюдений практически «асейсмичной» областью в локальном объёме $\sim 30 \times 20$ км, захватывающем земную кору и фокальный слой. (см. рис. 3)

Не исключено, что существование «асейсмического» участка в фокальном слое под Авачинско-Корякской группой вулканов не случайно имеет единую природу с зоной аномального затухания сейсмических волн, трактуемой как область с пониженной вязкостью, внутри которой не происходит концентрации значительных напряжений. Возможно, область с пониженной вязкостью уходит на большие глубины, в фокальный слой, где обнаружить с помощью метода «просвечивания» вулканов невозможно [9].

Совпадение в пространстве поясов активных вулканов и землетрясений с глубиной очага 100–200 км, большая глубина зарождения магм, случаи корреляции во времени между извержениями вулканов

и землетрясений с промежуточной глубиной очага — все эти полученные данные говорят о том, что вулканизм и сейсмичность порождены единым глубинным процессом [3]. В «асейсмической» области верхней мантии под вулканами выделяются также области повышенной электропроводности [4].

То, что землетрясения гораздо более редки на промежуточных глубинах (70–150 км) может объясняться проявлением жидкостных свойств среды с периодичностью в десятки — первые сотни лет. Пониженная вязкость вещества мантии может возникнуть за счёт включений расплава или аморфной фазы. Большая часть энергии мощных тектонических движений, происходящих на границе океан — континент, идёт на этих уровнях на вязкое деформирование, а не на накопление упругих напряжений [9].

Важно подчеркнуть, что «асейсмические» области сравнительно редки и наблюдается не под всеми

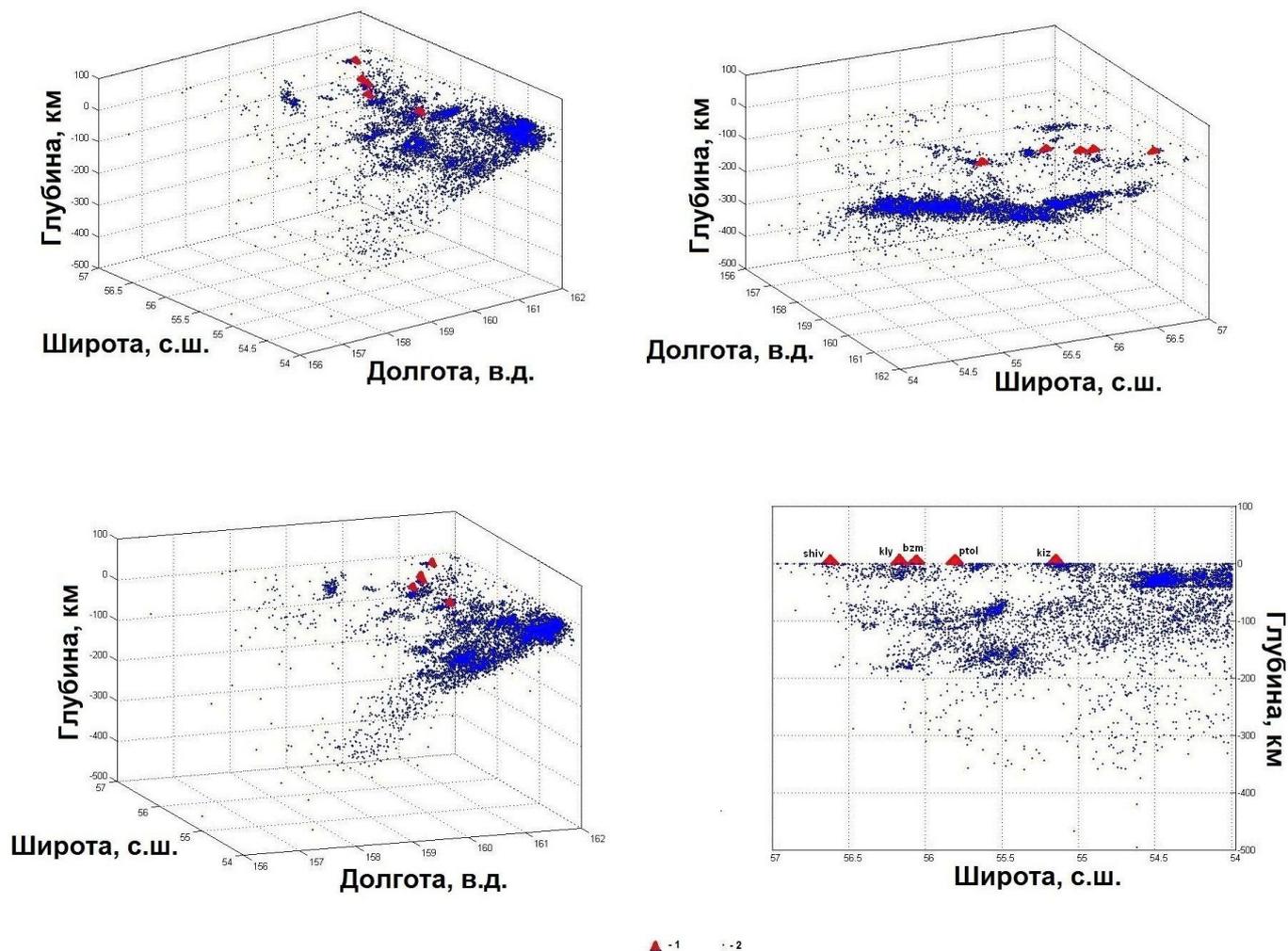


Рис. 2. Трёхмерная объёмная проекция очагов землетрясений района, охватывающего северную часть сейсмофокальной зоны, северную группу вулканов и вулкан Кизимен 1 — очаги землетрясений; 2 — действующие вулканы: shiv — Шивелуч, kly — Ключевской bzm — Безымянный, ptol — Плоский Толбачик, kiz — Кизимен.

вулканами Камчатки. Немногочисленные случаи обнаружения «асейсмичных» областей представляют интерес и требуют дальнейшего исследования.

Вывод

В работы было применено программное обеспечение для построения трёхмерных объёмных пространственных проекций очагов землетрясений Камчатки. Использован региональный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 50 лет4. детальных сейсмологических наблюдений. В результате обнаружено, что локальный объём «асейсмической» области под Северной группой вулканов группой значительно больше, чем под Авачинско-Корякской группой вулканов. Северная группа вулканов, является более активной по сравнению с Авачинско-Корякской группой вулканов.

Список литературы

1. Гусев А. А., Шумилина Л. С. Геометрия сейсмоактивного объёма коры и верхней мантии в районе Камчатки и Командорских островов. Исследования по физике землетрясений. Москва: Наука, 1976. С. 194–200.
2. Дроздин Д. В., Дроздина С. Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. Москва: ИФЗ РАН, 2010. Т. 46. № 3. С. 22–34.
3. Иванов Б. В., Горельчик В. И. Тектоника, сейсмичность и вулканизм района Ключевской группы вулканов. Глубинное строение сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976 С. 42–51.
4. Мороз Ю. Ф. О глубинном строении восточной Камчатки по данным магнитотеллурических зондирований // Вулканология и сейсмология. 1984. № 5. С. 85–89.
5. Федотов С. А., Шумилина Л. С., Чернышева Г. В. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов по данным детальных исследований // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 29–60.
6. Федотов С. А., Гусев А. А., Чернышева Г. В., и др., Сейсмофокальная зона Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1985. № 4. С. 91–107.
7. Федотов С. А., Токарев П. И., Годзиковская А. А., и др. Детальные данные о сейсмичности Камчатки и Командорских островов (1965–1968). Сейсмичность и сейми-

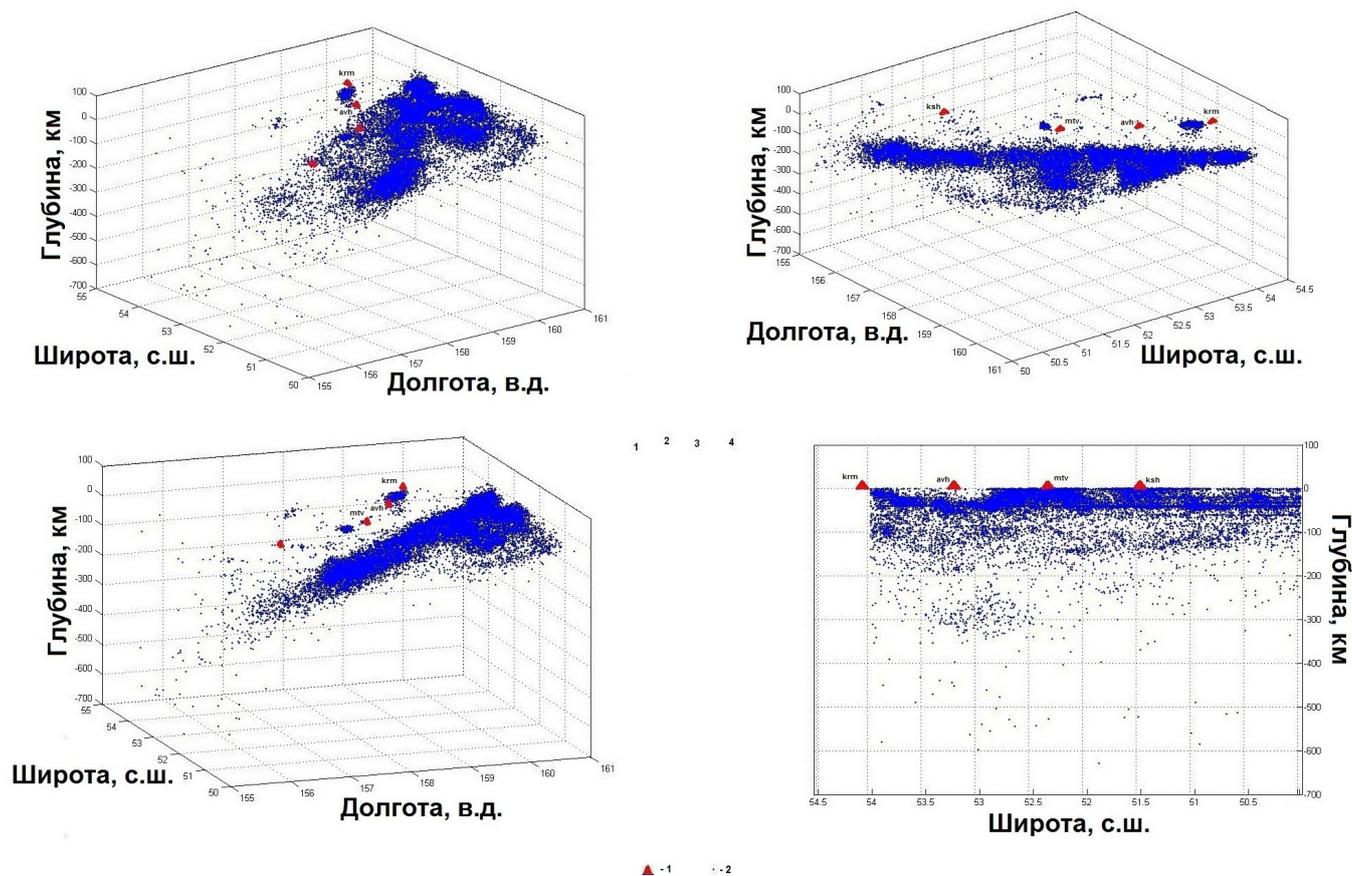


Рис. 3. Трёхмерная объёмная проекция очагов землетрясений района, охватывающего юго-восточную часть сейсмофокальной зоны южную и восточную группу вулканов Камчатки 1 — очаги землетрясений; 2 — действующие вулканы: krm — Карымский, avh — Авача, mtv — Мутновский, ksh — Кошелевский.

- ческий прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 35–45.
8. Федотов С. А., Токарев П. И.; Кондратенко А. М., и др. Сейсмичность Камчатки в области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской дуг в 1969–1972 гг. Вулканизм островных дуг. Москва: Наука, 1977. С. 7–13.
 9. Фарберов А. И. Магматические очаги, корни вулканов и геофизические поля. Геодинамика, магнаобразование и вулканизм. Петропавловск-Камчатский, 1974. С. 60–75.
 10. Токарев П. И. О глубинной фокальной поверхности и связи землетрясений с рельефом в Курило-Камчатской зоне. Бюллетень Вулканонологической Станции, 1957 № 27. С. 66–81.
 11. Токарев П. И. О связи вулканической и сейсмической активности в Курило-Камчатской зоне. Вулканизм Камчатки и Курильских островов. Труды Лаборатории Вулканостанции, 1958. №. 17. С. 156–182.
 12. Токарев П. И. О фокальном слое, сейсмичности и вулканизме Курило — Камчатской зоны. Известия АН СССР. Серия Физика Земли, 1970. № 3. С. 15–30.
 13. Токарев П. И. Сейсмическая активность фокального слоя Камчатки и её связь с вулканизмом. Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 166–175.