

## The spatial grouping features of the Kamchatka's earthquake hypocenters

A.N. Krolevets

Far East State Technical University in Petropavlovsk-Kamchatsky

A.M. Makeev

Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, an@kamgpu.ru

Algorithm and the computer program were presented in paper [1] intended to reveal spatial grouping planes of the earthquake hypocenters. At present the program is capable to find the hypocenters grouping planes on basis of formal criteria. However the problem remains open whether grouping on some of planes that has been found are casual. The purpose of the present work is dedicated to make clear the question on basis of seismic data for the Kamchatka region.

The GS RAN catalogue records of the Kamchatka's earthquakes were the raw data for analysis. The earthquakes were selected with the energy class AE 9, with date interval from 1962.01.01 to 2003.12.31, and which hit in spatial window with the borders in the latitude  $51^{\circ}\text{N} \leq \varphi_0 \leq 57^{\circ}\text{N}$ , and in the longitude  $156^{\circ}\text{E} \leq \lambda_0 \leq 166^{\circ}\text{E}$ . The Cartesian coordinate system was used for searching the planes [2]. The home of the system was positioned on the Earth surface point with geographical coordinates  $\lambda_0=162^{\circ}\text{E}$  and  $\varphi_0=53.956^{\circ}\text{N}$ . The axis Ox is directed to the orient, Oy – to the north, Oz – to zenith. Vector of normal  $\mathbf{n}$  were determined as well as distances d from home of coordinate's system for every of the plane found. The following criteria-parameters were used for the search:

- D -is the admissible scatter interval for the d values, D/2- is the permissible distance deflections of the hypocenters from the plane found;
- M -is minimal number of the hypocenters belonged to plane;
- $\beta$  – is the most possible angular sampling step in normal vectors orientation.

290 planes were found in the area which were satisfied the criteria. The output parameters of the searching planes procedure were: the vector  $\mathbf{n}$  components, the value of d, the area S of the convex polygon to the plane, the list of the hypocenters coordinates circumscribing the plane along the perimeter, the DP and the STK angles of the plane.

There are reasons to assume that the hypocenters grouping on some of the planes found are casual. Additional selection criteria were provided for excluding such "casual" planes.

First, the search procedures were repeated but now it was based on independent sub catalogues. For this purpose the whole earthquakes catalogue was divided into two sub catalogues. The first one have got the records with uneven numbers, the other one have had the remained records. Now the parameter M was taken 2 times smaller (compare to search, based on whole catalogue), because the total amount of record were cut by half. In result of search, the lists of founded planes for each of catalogues were obtained. The results of the search in even and uneven parts of general catalogue were compared and later on we take into consideration only such planes, which had been found in each of sub catalogue. During comparison planes were believed identical, if the distance  $D_M$  between the planes were  $D_M \leq 10$  km, and the angle  $\alpha_M$  between the normal vectors were  $\alpha_M \leq 10^{\circ}$ .

At second, we considered the planes, which were found with the help of catalogue records up to 2004, are really existing, if amount of hypocenters which occurred from 2004 to 2009 and hit into the unit of volume  $V_0$  within  $\pm 100$  km, are substantially smaller than corresponding amount which hit into the unit of volume  $V_{pl}$  directly adjoining to the planes within  $\pm 5$  km. Ratios  $P_{pl} = N_{pl}/V_{pl}$  и  $P_0 = N_0/V_0$  were calculated and then compared for unbiased comparison of corresponding hypocenter densities. The number of the hypocenters were calcu-

lated, which hit in the volume  $V_{pl}$  adjoining to the plane. The volume  $V_0$  and  $V_{pl}$  shape was cylindrical. The element of cylinder was the plane perimeter. The cylinder  $V_0$  height was equal to 200 km, the plane was in the centre of its axis. In cases when part of the cylinder lean out the earth surface, volume, which is come out, was excluded from the cylinder volume. The dimension  $V_{pl}$  was calculated by the formula  $V_{pl}=D \cdot S_{pl}$ . Later on the factor  $k_p = P_{pl}/P_0$  was calculated, which show how many times the probability for hypocenters to hit in the unit volume of  $V_{pl}$  adjacent to the plane, greater than the probability to hit in the unit volume of 200-kilometers "cylinder". The  $k_p$  factor in the same way shows, how small the probability for plane to be "random". To bigger  $k_p$  corresponds to smaller probability. It may happen that not only single plane fall in the volume  $V_0$ , but two or more. If it is the case the  $k_p$  factors for each plane were calculated separately.

The abovementioned additional hard selection criteria allowed selecting 15 planes out of 290 which had been found on base of formal criteria only. Three of them are located beside the south seaside Kamchatka's region near the Cape Lopatka, also another three are located near the Cape Shipunskiy, 5 planes in the Kronockaya Bay and next four in the Gulf of Kamchatka nearby the Kronockiy Peninsula. In each of mentioned four areas some planes are crossing each other. Permanent seismic activity was noted on each of the plane and new seismic event registration. 3 from 15 planes are part of the subduction zone.

$n_x$	$n_y$	$n_z$	$k_p$	DP	STK	S, thousand, km <sup>2</sup>	d, km
0,295	0,909	0,292	15,88	73	18	9	38,4
-0,494	0,411	0,766	10,64	40	310	11	9,6
0,387	-0,461	0,799	10,49	37	140	8	-54
-0,721	0,666	0,191	9,62	79	313	9,6	41,4
0,755	0	0,656	8,64	49	90	10,6	-133
-0,301	0,521	0,799	8,22	37	330	15	-0,1
-0,597	0,79	0,14	8,15	82	323	11,4	-93
-0,91	0,233	0,342	7,42	70	284	18,7	85,4
-0,994	-0,104	0,035	6,13	87	265	31,5	172
-0,25	0,397	0,883	5,83	27	328	13	17
-0,545	0,254	0,799	5	37	295	9,2	-1
-0,708	0,514	0,485	4,86	61	306	9	48,4
0,179	-0,483	0,857	4,67	31	159	11	-91
0,407	-0,881	0,242	4,24	76	155	6	181
0,429	-0,621	0,656	4,17	49	145	8,1	55,5

1. Krolevets A.N., Makeev A.M. The computer program of revealing the earthquake hypocenters spatial grouping planes // The complex problems of geophysical monitoring of the Russian Far East. Proceeding of the second regional scientific and technical conference. Petropavlovsk-Kamchatski. 11-17 October 2009 / M.e. V.N. Chebrov. Petropavlovsk-Kamchatski: GS RAN, 2010. 358-362 p.
2. Krolevets A.N. The planes rupture of the Kronotskiy earthquakes on 5 December 1997 year. // The geophysical monitoring of the Kamchatka. The science-technical materials of the conference 17-18 January 2006. Ottisk, 2006. p. 32-39.

А.Н. Кролевец  
 Дальневосточный государственный технический университет в г. П-Камчатском  
 А.М. Макеев  
 Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, кафедра прикладной  
 математики, Петропавловск-Камчатский, an@kamgru.ru

### **Особенности пространственного группирования гипоцентров Камчатских землетрясений.**

В работе [1] описаны алгоритм и программа поиска плоскостей пространственного группирования гипоцентров землетрясений. Программа по формальным признакам отыскивает плоскости группирования гипоцентров, однако до последнего времени открытым оставался вопрос – не является ли группирование на некоторых из найденных плоскостей случайным. Данная работа посвящена исследованию этого вопроса с использованием сейсмических данных для Камчатского региона.

Исходными данными для анализа являлись записи каталога Камчатских землетрясений ГС РАН. Отбирались землетрясения энергетического класса не ниже 9, произошедшие с 1.01.1962 по 31.12.2003, попадающие также в пространственное окно с границами по широте  $51^{\circ}\text{N} \leq \varphi_0 \leq 57^{\circ}\text{N}$ , по долготы  $156^{\circ}\text{E} \leq \lambda_0 \leq 166^{\circ}\text{E}$ . Для поиска плоскостей использовались *декартовы* координаты [2]. Начало координатной системы помещалось в точку на поверхности Земли с географическими координатами  $\lambda_0=162^{\circ}\text{E}$  и  $\varphi_0=53.956^{\circ}\text{N}$ , ось  $Ox$  направлена на восток,  $Oy$  – на север,  $Oz$  – к зениту. Для найденных плоскостей определялись векторы нормали  $\mathbf{n}$  и расстояния от начала координат  $d$ . Во время поиска использовались следующие критерии-параметры:

- $D$  - допустимый разброс значений  $d$ ,  $D/2$ -допустимые отклонения гипоцентров от плоскости;
- $M$  - минимальное число гипоцентров с расстояниями  $d$ ;
- $\beta$  - максимально допустимый шаг угла дискретизации ориентаций векторов нормали.

В области поиска было найдено 290 плоскостей группирования. Выходными параметрами работы программы поиска плоскостей являлись: координаты вектора нормали к плоскости, расстояние от начала координат до плоскости, площадь выпуклого многогранника плоскости, список координат гипоцентров описывающих плоскость по периметру, угол падения и угол простирания плоскости.

Есть основания полагать, что на части из найденных плоскостей гипоцентры группируются случайно, для исключения таких «случайных» плоскостей были предусмотрены *дополнительные критерии отбора*.

Во-первых, плоскости заново отыскивались в независимых подкаталогах. Для их реализации отобраный каталог с гипоцентрами землетрясений был разделен на два подкаталога, в один попали записи с нечетными номерами, а в другом с четными. Поиск плоскостей осуществлялся в каждом из подкаталогов. При этом параметр  $M$  принимался в 2 раза меньшим, поскольку количество гипоцентров сократилось вдвое. В результате, для каждого из каталогов были получены списки с найденными плоскостями. Результаты поиска в четном, нечетном и общем каталоге сравнивались и далее обрабатывались данные только о тех плоскостях, которые оказывались найденными в каждом из подкаталогов. Плоскости считались идентичными, если максимальное расстояние плоскостей друг от друга  $D_M \leq 10$  км, а угол между нормальными  $\alpha_M \leq 10^{\circ}$ .

Во-вторых, мы полагали, что плоскость, найденная по каталогам до 2004 года, действительно существует в пространстве, если количество гипоцентров  $N_{pl}$  землетря-

сений каталога с 2004 по 2009 года попадающих в единицу объема  $V_{pl}$ , в пределах  $\pm 5$  км, непосредственно прилегающего к плоскости, оказывается существенно большим, чем их количество  $N_0$ , попадающее в единицу объема  $V_0$  в пределах  $\pm 100$  км. Для объективного сравнения соответствующих плотностей, для указанного временного промежутка, вычислялись и сравнивались отношения  $P_{pl}=N_{pl}/V_{pl}$  и  $P_0=N_0/V_0$ . Вычислялось количество гипоцентров, попавших в объем  $V_{pl}$  непосредственно прилегающий к плоскости. Форма объемов  $V_0$  и  $V_{pl}$  принималась цилиндрической. Образующей цилиндра являлся периметр плоскости. Высота цилиндра принималась равной 200 км, плоскость находилась в центре. Объем части цилиндра, выступающий над земной поверхностью, из всего объема исключался. Объем  $V_{pl}$  вычислялся по формуле  $V_{pl}=D \cdot S_{pl}$ . Далее вычислялся коэффициент, показывающий, во сколько раз вероятность попадания гипоцентров в объем толщиной  $D$ , прилегающий к плоскости, выше вероятности попадания в 200-километровый «цилиндр»:  $k_p = P_0/P_{pl}$ . Данный коэффициент так же показывает, насколько мала вероятность плоскости, оказаться «случайной». При больших  $k_p$  соответствующая вероятность оказывается меньшей. В объеме плоскость может находиться не одна. В таких случаях вероятность группирования гипоцентров вблизи каждой плоскости рассчитывались по отдельности.

Дополнительные жёсткие критерии отбора позволили из 290 плоскостей, найденных ранее, оставить 15 плоскостей. Согласно расчетам 3 из них расположены у южного побережья Камчатки, в районе м. Лопатка, 3 плоскости расположены возле м. Шипунский, 5 плоскостей в Кроноцком заливе и 4 в Камчатском заливе в области Кроноцкого полуострова. В каждой из указанных областей плоскости пересекают друг друга. На каждой из них плоскостей была отмечена постоянная сейсмическая активность и регистрация новых событий. 3 из 15 плоскостей являются частью зоны субдукции.

$n_x$	$n_y$	$n_z$	$k_p$	DP	STK	S, thousand, km <sup>2</sup>	d, km
0,295	0,909	0,292	15,88	73	18	9	38,4
-0,494	0,411	0,766	10,64	40	310	11	9,6
0,387	-0,461	0,799	10,49	37	140	8	-54
-0,721	0,666	0,191	9,62	79	313	9,6	41,4
0,755	0	0,656	8,64	49	90	10,6	-133
-0,301	0,521	0,799	8,22	37	330	15	-0,1
-0,597	0,79	0,14	8,15	82	323	11,4	-93
-0,91	0,233	0,342	7,42	70	284	18,7	85,4
-0,994	-0,104	0,035	6,13	87	265	31,5	172
-0,25	0,397	0,883	5,83	27	328	13	17
-0,545	0,254	0,799	5	37	295	9,2	-1
-0,708	0,514	0,485	4,86	61	306	9	48,4
0,179	-0,483	0,857	4,67	31	159	11	-91
0,407	-0,881	0,242	4,24	76	155	6	181
0,429	-0,621	0,656	4,17	49	145	8,1	55,5

1. *Кролевец А.Н., Макеев А.М.* Компьютерная программа поиска плоскостей группирования гипоцентров землетрясений // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 11-17 октября 2009 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. 358-362 с.

2. *Кролевец А.Н.* Плоскости разломов Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. // Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы научно-технической конференции 17 – 18 января 2006 г. Оттиск, 2006. С. 32– 39.