

## Работы молодых ученых

УДК 550.34

### ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ГИПОЦЕНТРОВ ПРОГРАММАМИ NIPO, GIR И ARC В УСЛОВИЯХ КАМЧАТСКОЙ СЕТИ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

© 2006 З.А. Назарова

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, 683006 г. Петропавловск-Камчатский, бул. Пийна, 9  
e-mail: sva06@emsd.iks.ru*

Проведено тестирование программ расчета координат гипоцентров землетрясений. Осуществлена оценка результатов. Сделан выбор программы, наиболее соответствующей особенностям Камчатской радиотелеметрической сети наблюдений с целью сближения в дальнейшем оперативной и окончательной обработок параметров землетрясений.

#### ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных научно-методических направлений на 2006 – 2010 гг. Геофизическая служба РАН определила унификацию методов определения основных параметров землетрясений: магнитуды, энергетического класса и координат гипоцентров.

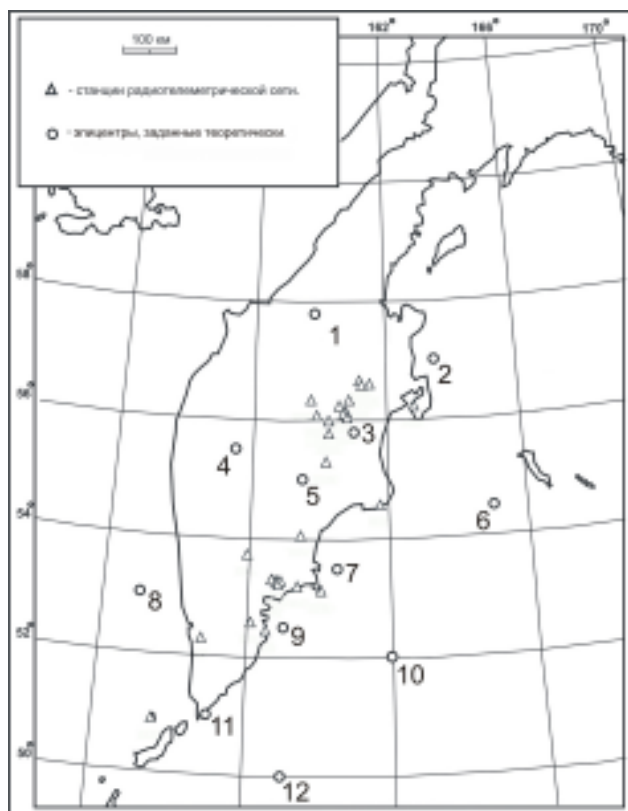
Для более точного определения координат гипоцентров признано необходимым проведение тестирования существующих программ. Тестирование проводилось относительно определения одного из основных параметров землетрясений – координат их гипоцентров. В настоящее время исторически сложилось, что в Камчатском филиале Геофизической службы РАН для оперативной обработки используется программа NIPO (Мельников, 1990). В последующем окончательная обработка осуществляется с использованием программы GIR (Гусев, 1979) с добавлением сейсмических данных, поступающих к обработчику с некоторым запозданием (например, данных с/ст. Беринг). Выбор единой программы обработки во многом позволил бы решить проблему получения окончательного каталога в реальном времени, без задержки на один год, как это происходит в настоящее время.

При тестировании программ результат определения координат гипоцентров зависит от

ряда факторов, которым, в свою очередь, и должна соответствовать используемая в данных условиях программа: сложная структура геофизической среды; преимущественно «линейное» расположение радиотелеметрической сети станций вдоль сейсмофокальной зоны полуострова; эпицентры, подавляющая часть которых сконцентрирована «односторонне» относительно сети и расположена в большом диапазоне глубин, соизмеримом с протяженностью всей сейсмофокальной зоны вдоль Камчатского полуострова.

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В соответствии с характерными особенностями структуры геофизической среды и региональной сейсмической активности, были выбраны положения 12 теоретических эпицентров землетрясений (рис. 1, табл. 1). Проецируя эти эпицентры на глубину в диапазоне 0 - 220 км с шагом 20 км, были определены в итоге положения 144 гипоцентров. Эти 144 зафиксированных гипоцентра и теоретически рассчитанные времена вступлений *P*- и *S*-волн в дальнейшем считались тестовыми данными. В этом эксперименте для всех программ определения гипоцентров было принято, что радиотелеметрические станции располагаются на уровне моря. При расчетах использовался только локальный годограф,



**Рис. 1.** Камчатская радиотелеметрическая сеть станций и теоретически заданные эпицентры, координаты которых приведены в табл. 1.

предусматривающий удаление эпицентров землетрясений от сети не более 520 км.

### ТЕСТИРОВАНИЕ

На первом этапе тестирования решалась прямая задача. Для заданных событий вычислялись эпицентральные расстояния до сейсмических станций. Далее по эпицентральному расстоянию и заданным глубинам определялись времена вступлений *P*- и *S*-волн на станции существующей сети с использованием годографов, рассчитанных в рамках скоростной одномерной модели А. П. Кузина (Кузин, 1974). Каждый годограф был аппроксимирован полиномом шестой степени. Время вступления вычислялось путем подстановки рассчитанного эпицентрального расстояния в полином и определялось с точностью до 0.01 секунды.

На втором этапе тестирования осуществлялось решение обратной задачи относительно тестовых времен вступлений, с помощью используемых при обработке в КФГС РАН программ NIPO (Мельников, 1990) и GIP (Гусев, 1979). Для сравнения полученных результатов была протестирована и программа ARC (автор А.А. Гусев),

**Таблица 1.** Координаты теоретически заданных эпицентров

Теоретически заданные эпицентры		
№	Широта, град. с. ш.	Долгота, град. в. д.
1	57.8	159.8
2	57.0	163.5
3	55.8	161.0
4	55.5	157.5
5	55.0	159.5
6	54.5	165.0
7	53.5	160.5
8	53.0	155.0
9	52.5	159.0
10	52.0	162.0
11	51.0	157.0
12	50.0	159.0

которая при обработке данных в КФГС РАН не используется.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

Результаты тестирования программ представлены в виде таблицы ошибок (табл. 2). Одним из способов выявления тех или иных преимуществ у анализируемых программ может являться использование следующей балльной системы: чем меньше ошибка, тем выше значение балла, величина которого изменялась в пределах от 6 до 1 для гипоцентров землетрясений, определяемых с наименьшей (0 - 5) км и наибольшей (60 - 100) км ошибками соответственно. В результате анализа полученных значений ошибок определения координат гипоцентров стало возможным их разделение на следующие последовательные интервалы, которым присваиваются соответствующие в порядке следования значения баллы: (0 - 5) км - 6 баллов, (5 - 10) км - 5 баллов, (10 - 20) км - 4 балла, (20 - 40) км - 3 балла, (40 - 60) км - 2 балла, (60 - 100) км - 1 балл.

В рамках каждой программы для всех 144 зафиксированных гипоцентров определялась сумма баллов (табл. 3). Диапазоны «программных» ошибок в плане и по глубине представлены в табл. 4. Полученные данные представлены в виде графиков для различных глубин в диапазоне 0, 40, 100 и 220 км, программ NIPO, GIP и ARC, долготы и широты (рис. 2, табл. 2).

Для 144 тестовых гипоцентров лучший результат получается при использовании программы NIPO, с помощью которой осуществляется оперативная обработка (табл. 3).

При анализе ошибок единичные гипоцентры ухудшают общий результат для программ GIP и ARC вследствие их удаленности от сети.

**Таблица 2.** Ошибки определения координат гипоцентров в плане  $\Delta R$  и по глубине  $\Delta H$  относительно 144 тестовых гипоцентров для диапазона глубин от 0 до 220 км с шагом 20 км

Глубина, км	Номер события	Программа					
		НИРО (Мельников, 1990)		GIP (Гусев, 1979)		ARC (автор А.А. Гусев)	
		$\Delta R$ (км)	$\Delta H$ (км)	$\Delta R$ (км)	$\Delta H$ (км)	$\Delta R$ (км)	$\Delta H$ (км)
1	2	3	4	5	6	7	8
0	1	9.228	-5.04	39.032	-42.40	27.019	4.00
	2	13.514	-5.01	8.825	-1.50	7.698	0.00
	3	2.978	-4.72	0.313	0.00	1.830	0.00
	4	7.937	-4.99	1.289	-0.80	3.054	0.00
	5	3.551	-4.84	5.571	-5.40	2.162	0.00
	6	6.987	-5.02	32.383	-40.80	10.262	4.00
	7	5.621	-4.89	0.643	-0.40	0.701	0.00
	8	6.812	-4.95	3.748	0.00	1.432	0.00
	9	8.700	-4.94	2.448	-1.70	2.578	-0.50
	10	10.968	-4.94	33.324	-39.60	8.334	-5.00
	11	9.468	-5.03	0.199	0.00	2.112	0.00
	12	7.984	-4.99	32.094	-59.70	34.570	-30.00
20	1	3.994	-31.35	11.756	-20.10	20.861	19.50
	2	2.075	-1.17	10.436	-20.10	8.442	0.00
	3	0.399	-4.47	5.415	-2.00	1.725	0.00
	4	3.006	-0.97	2.662	1.70	5.262	0.00
	5	0.593	-4.18	3.171	-3.90	0.444	-10.00
	6	3.171	-0.22	8.873	-20.00	21.689	24.00
	7	1.444	-3.10	9.395	-24.10	0.893	-10.00
	8	2.759	-0.68	14.147	-16.40	53.231	-50.00
	9	1.017	-4.14	4.304	-5.00	2.561	-10.00
	10	3.319	-0.22	12.120	-20.40	14.778	-10.00
	11	2.148	-12.07	10.057	-20.20	3.940	-10.00
	12	3.219	-0.16	9.822	-20.10	13.995	-20.00
40	1	9.121	-11.63	3.223	0.10	4.708	-20.00
	2	8.138	-3.02	3.444	0.10	7.015	10.00
	3	2.332	-0.24	0.550	-0.80	0.447	10.00
	4	9.503	-22.53	0.588	-4.90	6.066	10.00
	5	1.270	0.77	2.842	-19.80	2.120	10.00
	6	8.221	9.62	8.543	20.10	19.930	35.00
	7	3.682	-1.92	1.094	0.90	2.567	0.00
	8	6.787	-12.00	2.321	-0.10	4.370	-20.00
	9	2.431	-0.19	0.798	0.90	1.883	0.00
	10	7.860	-11.40	2.652	-0.40	6.331	-20.00
	11	8.783	-8.61	0.055	0.00	3.664	0.00
	12	8.750	9.65	2.415	-1.00	6.073	0.00
60	1	9.459	-1.18	15.676	20.10	41.635	64.00
	2	9.540	-2.95	19.248	20.10	10.853	-30.00
	3	1.882	2.67	4.388	-18.60	1.730	-20.00
	4	7.726	-2.77	7.904	-28.40	8.774	-30.00
	5	1.676	0.05	3.448	-19.90	2.510	-20.00
	6	5.815	-1.04	6.238	9.60	19.077	50.00
	7	5.461	-3.55	4.653	-24.10	2.759	-20.00
	8	5.158	7.85	12.513	42.40	6.044	-20.00
	9	0.798	-0.39	3.889	-19.50	3.712	-20.00
	10	6.167	8.66	23.713	20.20	10.032	40.00
	11	7.171	27.61	7.869	40.20	4.945	-10.00
	12	7.361	29.65	3.776	17.60	7.055	20.00

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ГИПОЦЕНТРОВ ПРОГРАММАМИ NIPO, GIP И ARC

Продолжение таблицы 2.

1	2	3	4	5	6	7	8
80	1	11.419	1.88	12.394	40.10	11.272	-30.00
	2	8.693	5.61	8.522	-5.20	14.637	-30.00
	3	7.241	8.52	11.220	-10.70	3.279	-20.00
	4	8.686	-0.30	18.102	-21.50	18.062	-40.00
	5	3.519	8.22	5.087	-14.50	3.897	-20.00
	6	6.111	-1.91	10.511	-18.60	11.160	-20.00
	7	3.802	4.66	12.377	-22.10	6.432	-20.00
	8	8.133	-1.87	5.536	60.00	13.182	-30.00
	9	4.637	6.07	8.009	-24.20	9.098	-10.00
	10	7.602	-2.62	7.086	40.00	16.674	-36.00
	11	6.932	6.86	15.675	60.20	3.752	-10.00
	12	5.801	-3.07	6.026	40.10	9.334	40.00
100	1	7.158	14.17	8.482	26.70	16.428	-30.00
	2	4.668	14.92	7.508	15.40	9.346	10.00
	3	9.621	7.76	0.619	0.30	2.230	0.00
	4	7.689	8.44	0.220	1.20	4.198	0.00
	5	7.540	14.32	6.595	-8.80	1.265	0.00
	6	6.950	-2.24	2.280	34.30	7.817	10.00
	7	1.854	9.72	0.597	0.00	3.134	0.00
	8	9.991	0.43	9.369	53.10	3.238	0.00
	9	9.298	10.05	0.399	0.20	2.376	0.00
	10	7.914	0.85	7.158	50.80	6.940	0.00
	11	4.387	18.45	0.372	0.40	5.019	10.00
	12	7.943	-2.14	9.933	59.60	25.116	30.00
120	1	2.001	21.54	17.395	34.60	12.404	-25.00
	2	3.599	19.52	31.346	78.30	14.754	-25.00
	3	4.804	2.75	10.171	-15.30	2.700	-15.00
	4	1.760	19.26	17.334	-25.80	16.482	-30.00
	5	12.377	14.53	6.051	-14.10	3.733	-20.00
	6	9.142	-4.40	7.416	2.00	7.978	-10.00
	7	5.274	9.45	14.062	-22.40	7.504	-20.00
	8	3.699	15.86	11.348	66.90	11.063	-20.00
	9	11.192	9.02	8.565	-21.60	8.723	-15.00
	10	7.385	7.96	13.262	80.10	14.648	-20.00
	11	7.638	27.17	7.680	-12.10	10.400	-5.00
	12	7.646	1.73	4.859	9.10	11.476	-20.00
140	1	3.559	30.39	58.203	25.80	13.556	-20.00
	2	6.270	24.56	14.297	0.20	16.135	-20.00
	3	5.899	3.15	11.338	-12.10	2.431	-15.00
	4	1.434	28.97	19.758	-21.60	15.771	-20.00
	5	9.217	6.53	5.734	-10.20	3.440	-15.00
	6	8.899	5.98	10.314	-8.40	5.671	0.00
	7	3.811	7.06	16.578	-18.00	9.080	-15.00
	8	3.790	23.22	15.876	78.20	11.690	-15.00
	9	5.281	5.34	9.642	-18.10	10.194	-10.00
	10	4.105	22.69	3.996	20.70	16.501	-15.00
	11	19.188	-18.10	10.455	-3.70	12.042	0.00
	12	5.383	16.98	8.033	23.90	10.901	20.00
160	1	10.253	31.49	14.519	-4.90	16.962	-20.00
	2	6.761	11.80	5.655	-7.50	19.912	-20.00
	3	6.962	3.46	14.795	-10.30	4.845	-10.00
	4	6.638	35.76	23.541	-19.60	22.195	-25.00
	5	7.294	5.36	6.491	-7.40	3.439	-10.00
	6	5.474	20.66	15.404	-11.60	23.285	-20.00
	7	3.580	6.13	21.034	-16.00	12.115	-15.00
	8	4.899	32.69	14.965	-13.40	17.511	-20.00
	9	3.654	4.96	19.440	-18.70	5.549	-10.00

Продолжение таблицы 2.

1	2	3	4	5	6	7	8
160	10	3.385	28.44	6.605	1.80	28.051	-30.00
	11	15.842	-14.17	14.227	2.70	7.542	-5.00
	12	1.858	28.32	4.751	19.80	20.816	20.00
180	1	15.658	31.32	13.882	-10.20	21.203	-20.00
	2	5.725	9.68	8.197	-10.80	18.974	-20.00
	3	6.913	3.56	18.170	-8.20	8.013	-10.00
	4	11.211	37.43	26.732	-17.30	23.571	-20.00
	5	8.191	3.99	7.185	-5.10	3.890	-10.00
	6	1.665	30.23	24.378	-18.10	29.281	-20.00
	7	4.458	5.89	25.546	-14.00	14.673	-15.00
	8	8.965	40.66	11.978	-6.20	22.382	-20.00
	9	6.837	6.02	24.498	-17.80	4.832	-10.00
	10	3.043	35.24	53.347	-9.00	69.158	-30.00
	11	15.682	-12.64	12.120	-2.00	4.526	-10.00
	12	3.802	38.12	9.112	16.30	18.079	-4.00
200	1	12.341	15.75	11.885	13.20	42.841	-10.00
	2	5.504	10.30	15.421	13.00	9.747	0.00
	3	7.801	3.42	8.767	-5.90	3.995	0.00
	4	14.172	33.99	0.842	1.90	4.545	0.00
	5	7.820	3.52	64.479	59.30	2.018	5.00
	6	4.156	39.82	6.114	14.20	4.756	0.00
	7	6.070	6.07	2.246	3.40	2.306	0.00
	8	13.861	47.08	5.821	6.40	3.364	0.00
	9	8.439	6.24	1.989	1.90	3.533	0.00
	10	8.478	43.38	10.495	16.70	9.532	5.00
	11	15.861	15.43	2.766	1.90	5.577	5.00
	12	9.515	46.53	11.372	18.50	12.890	20.00
220	1	11.952	16.74	12.610	-19.00	48.120	-10.00
	2	8.270	12.40	8.689	-18.60	40.698	-5.00
	3	8.850	4.23	14.717	-12.30	25.051	15.00
	4	14.371	26.27	22.097	-16.80	42.179	5.00
	5	7.297	4.55	6.422	-10.80	7.423	20.00
	6	7.887	46.23	17.071	-16.60	56.590	-10.00
	7	5.402	6.53	22.111	-17.40	35.771	10.00
	8	18.761	52.33	10.139	-13.00	41.107	0.00
	9	7.342	6.92	19.697	-17.20	10.390	20.00
	10	14.886	50.49	11.085	-11.90	58.735	-20.00
	11	17.504	-9.25	11.286	-13.10	36.087	5.00
	12	14.867	52.32	23.097	17.50	13.455	20.00

Примечание.  $\Delta R$  (км) – ошибка в плане;  $\Delta H$  (км) – ошибка по глубине: "-" выше заданной глубины, "+" ниже заданной глубины.

Таблица 3. Оценка результатов ошибок в плане  $\Delta R$  и по глубине  $\Delta H$  относительно 144 тестовых гипоцентров (в баллах)

Интервал ошибок, км	Баллы	Программы					
		HIPO		GIP		ARC	
		$\Delta R$	$\Delta H$	$\Delta R$	$\Delta H$	$\Delta R$	$\Delta H$
(0 - 5)	6	282	324	228	222	294	210
(5 -10)	5	380	170	200	70	150	45
(10 - 20)	4	84	92	48	192	156	156
(20 - 40)	3	0	75	45	78	48	165
(40 - 60)	2	0	16	4	24	18	10
(60 - 100)	1	0	0	1	6	1	1
Сумма баллов		746	677	526	592	667	587

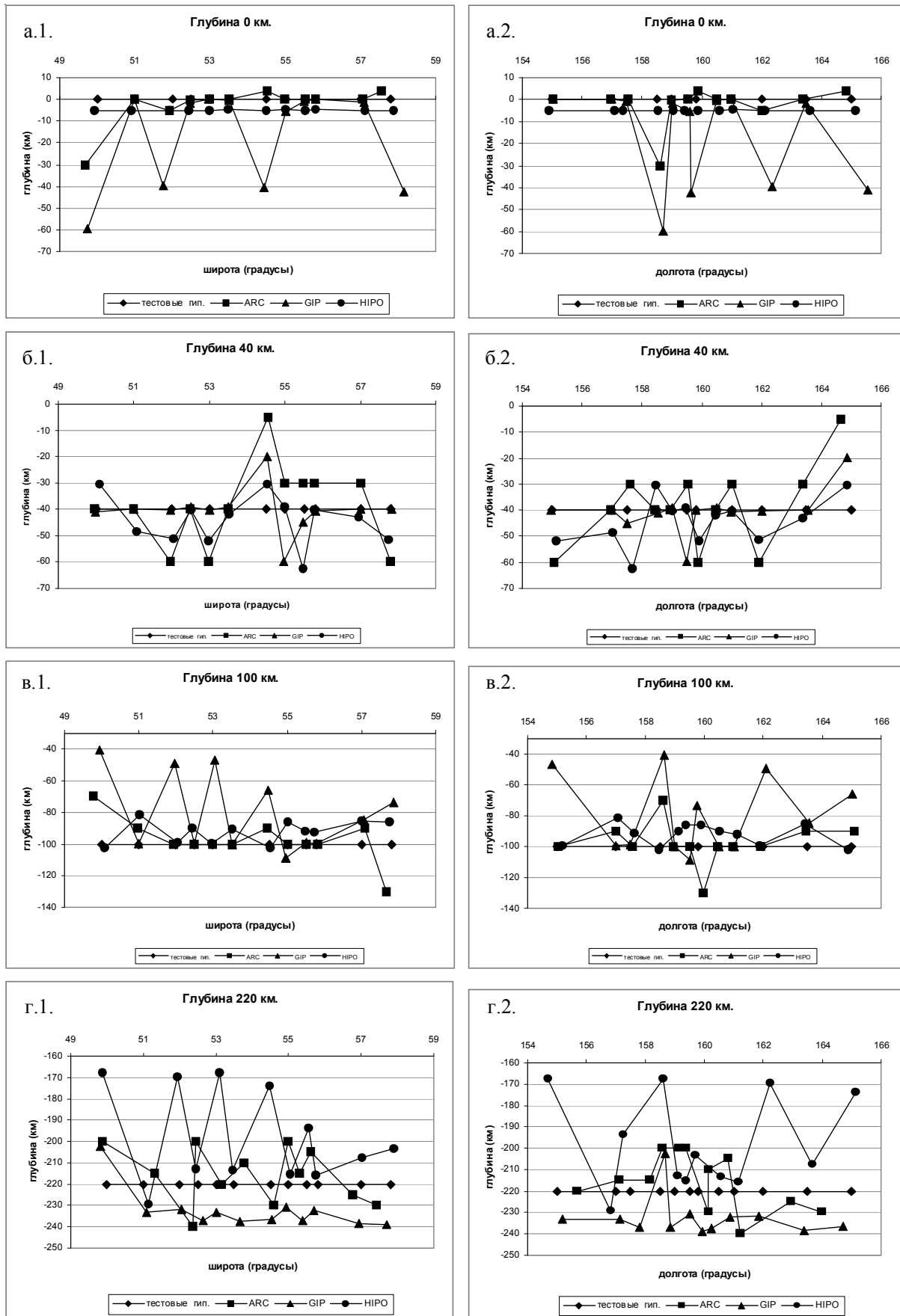


Рис. 2. Графики зависимости изменения ошибки определения положения гипоцентров по глубине относительно координат, полученные при тестировании программ НИРО, GIP и ARC. Графики построены для глубин: а.1, а.2 – 0 км, б.1, б.2 – 40 км, в.1, в.2 – 100 км, г.1, г.2 – 220 км.

**Таблица 4.** Интервалы ошибок в плане  $\Delta R$  и по глубине  $\Delta H$  относительно 144 тестовых гипоцентров

Вид ошибок, км	Программы		
	HIPO	GIP	ARC
$\Delta R$	0.399 - 19.188	0.055 - 64.479	0.444 - 69.158
$\Delta H$	-52.33 - 31.35	-80.1 - 59.7	-64 - 50

## ВЫВОДЫ

Все используемые программы достаточно хорошо решают обратную задачу и для большинства событий характеризуются ошибками в плане и по глубине не более 10 км.

При использовании заданной тестовой модели лучший результат получен с помощью программы HIPO.

Представленная статья фиксирует первый этап работы по тестированию программ определения основных параметров землетрясений. В дальнейшем планируется продолжить эти исследования.

Автор выражает благодарность С.Л. Сенюкову за постановку задачи, постоянную помощь и поддержку в решении поставленной задачи, а также А.А. Гусеву за предоставленную программу и высказанные коррективы по проведенной работе, которые были учтены.

## Список литературы

*Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Дроздин Д.В. и др.* Сбор, обработка и хранение сейсмологической информации // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки / Отв. ред. Е.И. Гордеев, В.Н. Чебров. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2004. С. 43-61.

*Гусев А.А.* Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология сейсмология. 1979. № 1. С. 74-82.

*Кузин И.П.* Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. М.: Наука, 1974. 130 с.

*Мельников Ю.Ю.* Пакет программ для определения координат гипоцентров землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология сейсмология. 1990. № 5. С. 103-112.

## ESTIMATION OF RESULTS OF DEFINITION OF COORDINATES FROM HYPOCENTERS PROGRAMS HIPO, GIP AND ARC IN CONDITIONS OF THE KAMCHATKA NETWORK OF RADIOTELEMETERING STATIONS

**Z.A. Nazarova**

*Kamchatka branch Geophysical service RAS,  
683006, Petropavlovsk – Kamchatsky, Piip blvd., 9, e-mail: sva06@emsd.iks.ru*

Work at the choice of the program of calculation of coordinates hypocenters earthquakes of the Kamchatka radiotelemetering network of supervision most corresponding features with the purpose of rapprochement of operative and final processing's is lead.