

## ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММ РАСЧЕТА КООРДИНАТ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (DIMAS, ARC) НА ТОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ В УСЛОВИЯХ КАМЧАТСКОЙ СЕТИ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

*Назарова З.А.*

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, sva04@emsd.ru*

### Введение

Одной из приоритетных задач Камчатского филиала Геофизической службы РАН на сегодняшний день является выбор программы расчета координат гипоцентров землетрясений. Расширение планшета ответственности и необходимость получения окончательного каталога при оперативной обработке предъявляют новые требования к программе расчета гипоцентров, которым не удовлетворяют используемые в настоящее время программы [6]. Выбор новой программы должен обеспечивать оптимальную точность и устойчивость определения координат гипоцентров. С этой целью была продолжена работа по тестированию программ определения гипоцентров землетрясений. В настоящей работе рассмотрены программы ARC (автор Гусев А.А.) и DIMAS (автор Дроздин Д.В.), которые раньше не использовались при создании оперативного и окончательного каталогов землетрясений.

### Подготовка тестовых данных

Для проведения тестирования на первом этапе решалась прямая задача определения времен вступления Р и S волн на станциях существующей радиотелеметрической сети. При этом 32 радиотелеметрические станции располагались на уровне моря и, по возможности, равномерно задавались положения 12 тестовых эпицентров (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1. Координаты заданных тестовых эпицентров землетрясений.

Заданные эпицентры		
№	град., с. ш.	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	158.5

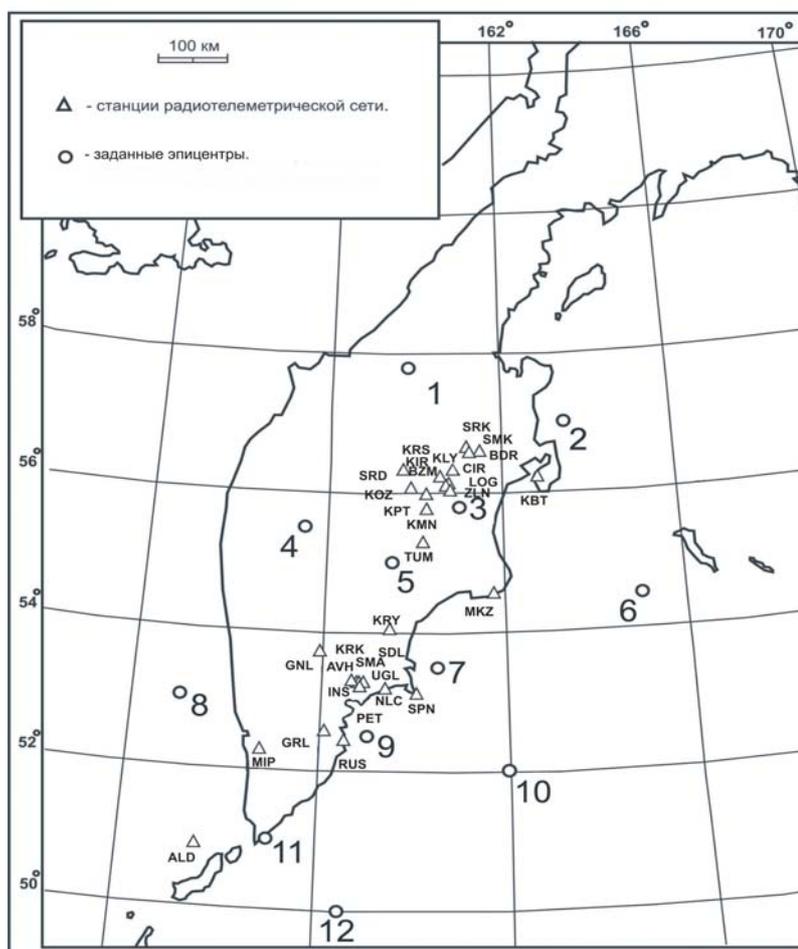


Рис. 1. Сеть радиотелеметрических станций и заданные тестовые эпицентры

Чтобы проследить, как изменяются координаты землетрясений с глубиной, тестовые эпицентры проецировались на глубины, которые изменялись с шагом 20 км. Рассматривались глубины в диапазоне от 0 до 220 км. В результате были получены положения 144 гипоцентров. Расстояния от эпицентров до сейсмических станций вычислялись в рамках плоской (декартова система координат) модели. Затем по эпицентральному расстояниям и заданным глубинам определялись времена вступлений Р и S волн с использованием годографов, рассчитанных по скоростной одномерной модели И.П. Кузина [3]. Построенные годографы для каждой рассматриваемой глубины аппроксимировались полиномом шестой степени с точностью до 0.1 с. Времена вступлений вычислялись подстановкой эпицентральных расстояний в полученные уравнения зависимости времен прихода волн от эпицентральных расстояний для рассматриваемых глубин. Рассчитанные времена прихода Р и S волн и зафиксированные 144 гипоцентров считались тестовыми данными. Тестирование программ проводилось по локальной модели в диапазоне глубин от 0 до 220 км и для эпицентральных расстояний от 0 до 520 км (рис. 2).

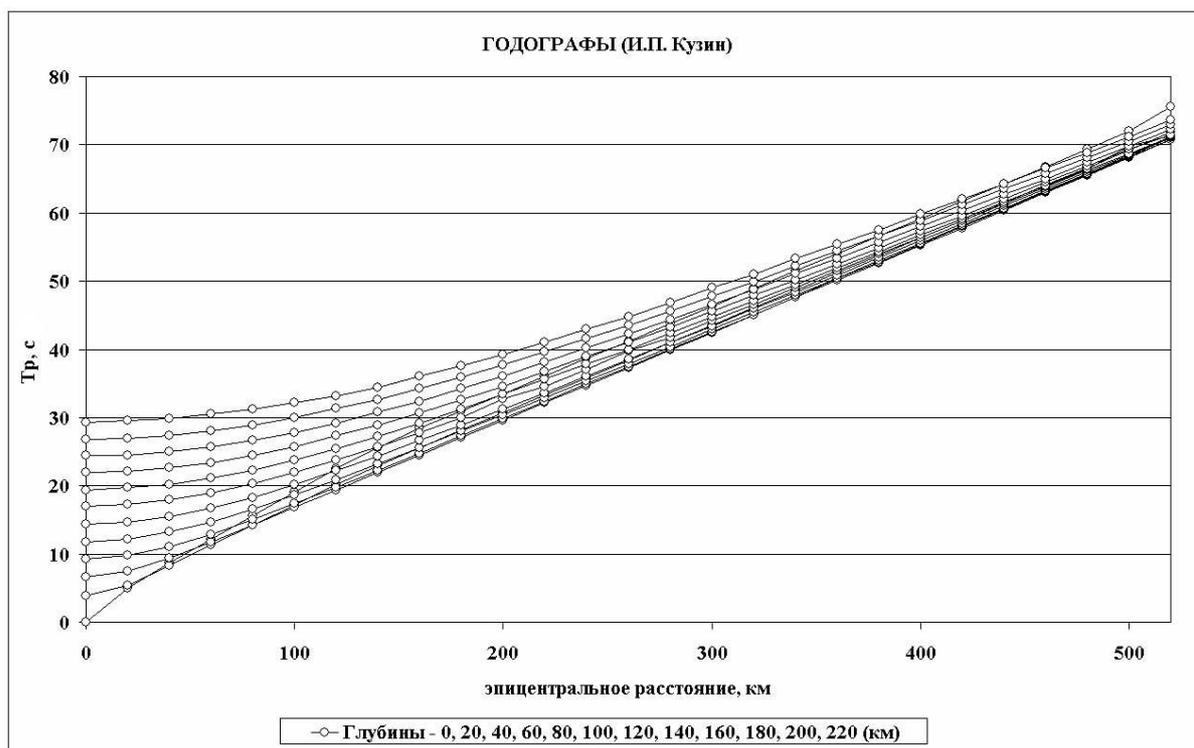


Рис. 2. Локальная модель, в рамках которой было проведено тестирование: глубины 0-220 км, эпицентральные расстояния 0-520 км [3].

### Тестирование

Подготовленные файлы с одинаковыми данными по временам вступлений Р и S волн использовались тестируемыми программами для определения основных параметров землетрясений. Программы оценивались по полученным параметрам. Точность решений определялась по отклонению положений рассчитанных гипоцентров от заданных в тесте.

Чтобы оценить устойчивость решений для тестовой модели, была проведена проверка программ на устойчивость к возможным ошибкам, которые допускаются в реальных условиях при снятии времен вступлений. В тестовые данные произвольно были внесены ошибки  $\Delta t_{p1}=(-0.3 - 0.3 \text{ с})$ ,  $\Delta t_{s1}=(-0.5 - 0.5 \text{ с})$ , которые слабо повлияли на общий результат работы программ при переопределении положения тестовых гипоцентров. Затем для определения значений ошибок, которые могут повлиять на результат, были увеличены величины  $\Delta t_{p2}=(-1 - 1 \text{ с})$ ,  $\Delta t_{s2}=(-3 - 3 \text{ с})$ . Увеличение ошибок существенно повлияло на устойчивость определения параметров землетрясений обеими программами.

### Результаты

В результате тестирования оценены предельные и средние значения ошибок определения координат гипоцентров землетрясений, а также стандартные отклонения для каждой программы и для случаев, когда вносились ошибки. Оценка на устойчивость полученных решений проводилась для программ DIMAS и ARC, которые превосходят по точности определения параметров

землетрясений программы НИРО (автор Мельников Ю.Ю.) [4] и GIP (автор Гусев А.А.) [2], используемые в настоящее время в КФ ГС РАН. Для сравнения приводятся значения ошибок определения параметров землетрясений при использовании этих программ [5]. Рассмотрим особенности работы каждой программы с учетом результатов тестирования и проведенной проверки (табл. 2, рис. 3, 4, 5).

Программа ARC характеризуется более точным и устойчивым определением положений гипоцентров, по сравнению с результатами, полученными ранее программами НИРО и GIP [5]. Для единичных событий, удаленных от сети станций, наблюдается смещение координат на глубины 40 и 200 км. При внесении малых ошибок определения времен вступления  $\Delta t_{p1}=(-0.3 - 0.3 \text{ с})$ ,  $\Delta t_{s1}=(-0.5 - 0.5 \text{ с})$  устойчивость решений сохраняется только относительно долготы. По глубине и широте устойчивость нарушается и происходит постоянный рост ошибок. Стандартное отклонение по широте, составляющее 6 км, с введением ошибок увеличивается до 9-18.5 км. По долготе стандартное отклонение также составляет 6 км. С введением ошибок оно увеличивается до 7-26 км. Для глубин стандартное отклонение составляет 9 км, с введением ошибок оно увеличивается до 15.5-35 км.

Лучший результат тестирования для данной тестовой модели получен программой DIMAS (автор Дроздин Д.В.). Программа определяет положение гипоцентров с наибольшей точностью. Скопление гипоцентров на глубине 40 км и других глубинах не наблюдается. Решения устойчивы к внесенным ошибкам, значения которых сохраняются после первой проверки, при сравнении с результатами программы ARC, изменяются не столь значительно при второй проверке. После увеличения ошибок до  $\Delta t_2$  получаются результаты близкие к результатам работы программы ARC при  $\Delta t_1$ . По широте стандартное отклонение составляет 1.1 км, которое с введением ошибок увеличивается до 1.2-8 км. По долготе стандартное отклонение составляет 1.3 км и с введением ошибок увеличивается до 1.7-8.6 км. Для глубин стандартное отклонение составляет 5 км и с введением ошибок увеличивается до 6-21 км.

Таблица 2. Значения ошибок, полученных по итогам тестирования программ НИРО, GIP, ARC, DIMAS и их проверки на устойчивость полученных решений для 144 тестовых гипоцентров.

Ошибки, км	Программы							
	НИРО	GIP	ARC	ARC(1)	ARC(2)	DIMAS	DIMAS (1)	DIMAS (2)
	Относительно глубины							
максимальная ошибка (выше зад. глубины)	52.64	82.30	30.00	50.00	155.00	23.00	28.60	101.80
среднее значение	10.42	4.52	3.93	1.83	12.92	0.73	-0.07	14.92
станд. отклон.	16.38	16.73	8.73	15.45	35.19	5.26	6.11	21.29
максимальная ошибка (ниже зад. глубины)	-22.58	-52.50	-30.00	-80.00	-100.00	-13.40	-46.60	-64.20
Относительно широты								
максимальная ошибка (направление на север)	10.77	25.09	16.32	19.20	55.83	2.78	3.00	17.54
среднее значение	-0.44	-0.11	-0.22	-1.67	-1.33	-0.12	-0.03	-0.56
станд. отклон.	5.22	6.66	5.77	8.88	18.54	1.11	1.22	8.21
максимальная ошибка (направление на юг)	-17.09	-27.75	-19.76	-40.29	-73.59	-4.33	-4.66	-24.31
Относительно долготы								
максимальная ошибка (направление на восток)	19.14	36.10	21.50	21.76	175.04	4.35	7.30	21.06
среднее значение	0.77	1.06	-1.85	-2.97	-2.84	0.00	0.03	-0.40
станд. отклон.	7.59	6.47	5.74	7.26	25.61	1.25	1.65	8.65
максимальная ошибка (направление на запад)	-18.82	-16.64	30.66	-30.85	-110.34	-4.35	-5.31	-25.09

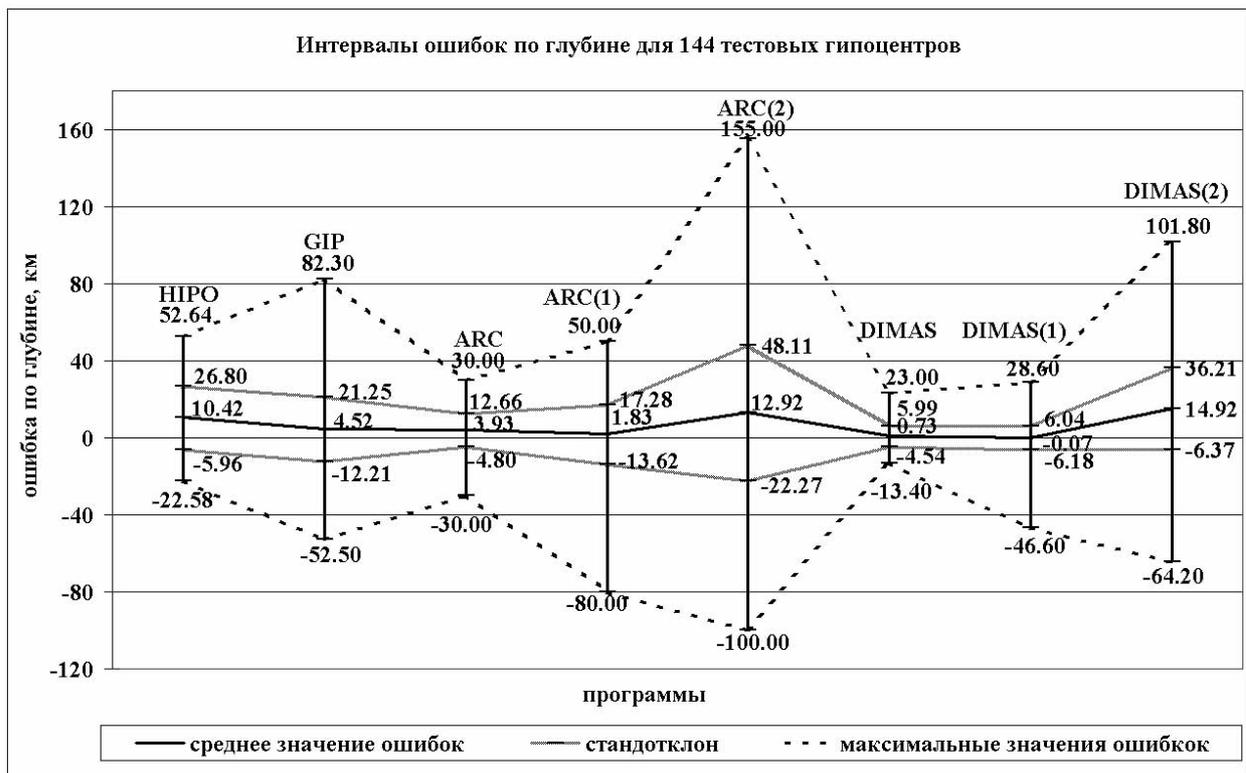


Рис. 3. Интервалы ошибок результатов тестирования программ HIPO, GIP, ARC, DIMAS по глубине и проверка программ ARC, DIMAS на устойчивость полученных решений. Обозначения: ARC(1), DIMAS(1) - результаты проверки на устойчивость с заданными ошибками  $\Delta t_p = (-0.3 - 0.3 \text{ с})$ ,  $\Delta t_s = (-0.5 - 0.5 \text{ с})$ ; ARC(2), DIMAS(2) -- результаты с заданными ошибкам  $\Delta t_p = (-1 - 1 \text{ с})$ ,  $\Delta t_s = (-3 - 3 \text{ с})$ .

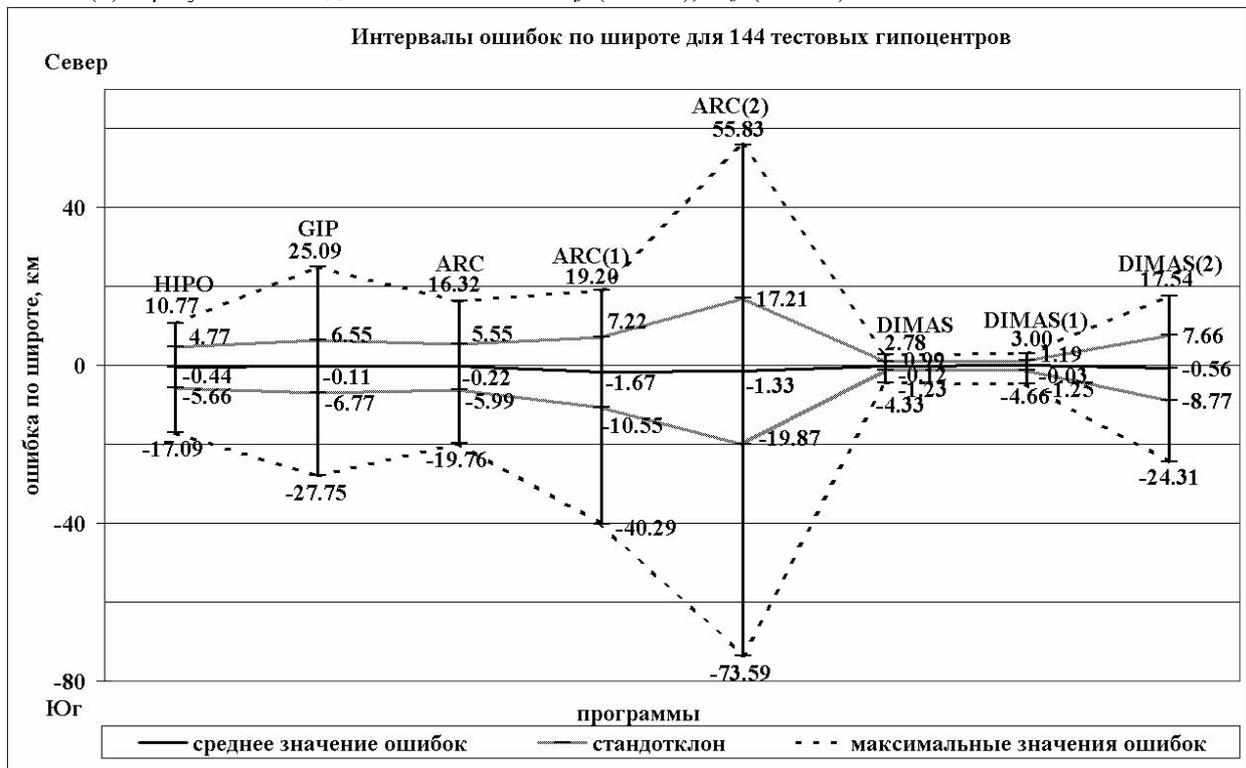


Рис. 4. Интервалы ошибок результатов тестирования программ HIPO, GIP, ARC, DIMAS по широте и проверка программ ARC, DIMAS на устойчивость полученных решений. Обозначения: ARC(1), DIMAS(1) - результаты проверки на устойчивость с заданными ошибками  $\Delta t_p = (-0.3 - 0.3 \text{ с})$ ,  $\Delta t_s = (-0.5 - 0.5 \text{ с})$ ; ARC(2), DIMAS(2) - результаты проверки с заданными ошибкам  $\Delta t_p = (-1 - 1 \text{ с})$ ,  $\Delta t_s = (-3 - 3 \text{ с})$ .

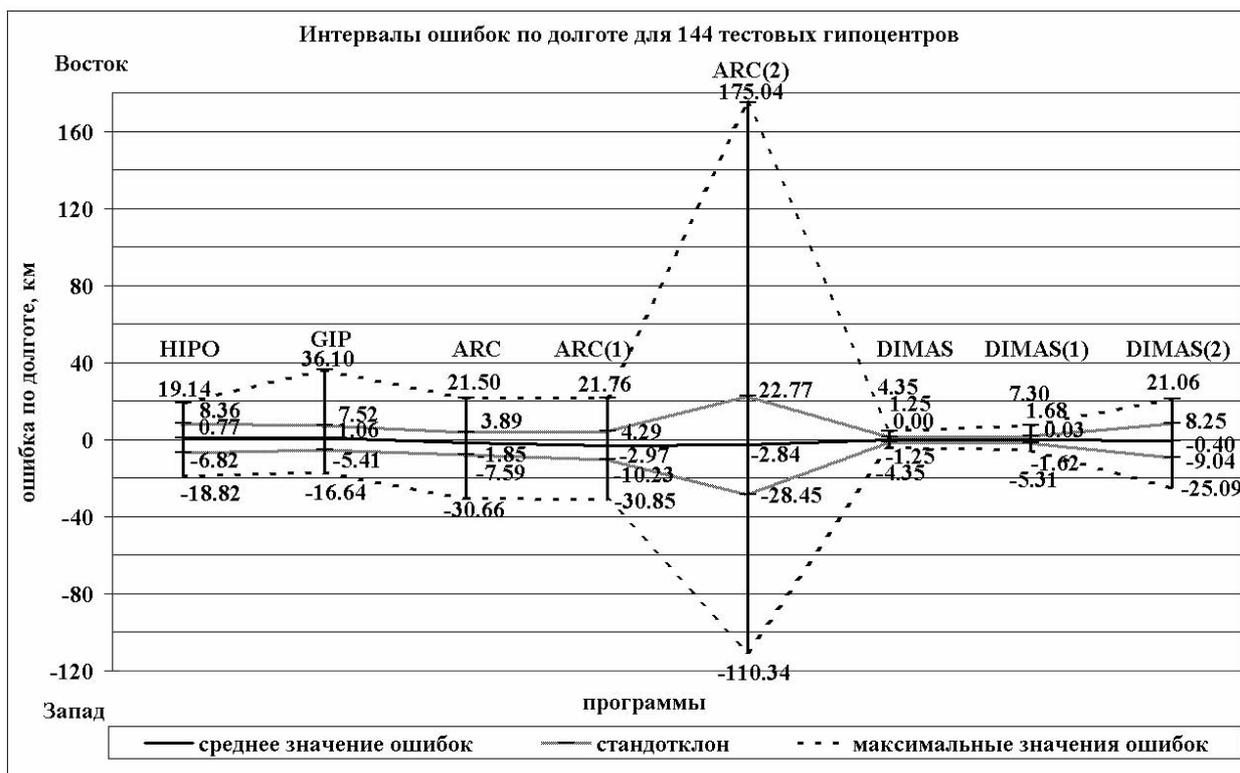


Рис. 5. Интервалы ошибок результатов тестирования программ HIPO, GIP, ARC, DIMAS по долготе и проверка программ ARC, DIMAS на устойчивость полученных решений. Обозначения: ARC(1), DIMAS(1) - результаты проверки на устойчивость с заданными ошибками  $\Delta t_p = (-0.3 - 0.3 \text{ с})$ ,  $\Delta t_s = (-0.5 - 0.5 \text{ с})$ ; ARC(2), DIMAS(2) - результаты проверки с заданными ошибкам  $\Delta t_p = (-1 - 1 \text{ с})$ ,  $\Delta t_s = (-3 - 3 \text{ с})$ .

Программа DIMAS определяет координаты удаленных от сети гипоцентров при максимальных значениях ошибок с точностью 2.9-4.5 км по широте и долготе. Наибольшие значения ошибок получены для гипоцентров, расположенных к юго-западу от сети станций.

### Закключение

В результате тестирования и проверки на устойчивость полученных решений программа DIMAS дала наименьшие отклонения координат положений гипоцентров от заданных в тестовой модели. По широте стандартное отклонение определений составляет 1.1 км. При введении ошибок оно увеличивается до 1.2-8 км. По долготе стандартное отклонение составляет 1.3 км и увеличиваются до 1.7-8.6 км при введении ошибок. При определении глубин стандартное отклонение составляет 5 км и достигает 6-21 км с введением ошибок. Положение удаленных от сети гипоцентров программа DIMAS определяет с наименьшими значениями ошибок.

### Список литературы

1. Гурвич И.И. Сейсморазведка. М.: Недра, 1981. С. 128-144.
2. Гусев А.А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ. // Вулканология и сейсмология. 1979. № 1. С. 74-82.
3. Кузин И.П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. М.: Наука, 1974. 132 с.
4. Мельников Ю.Ю. Пакет программ для определения координат гипоцентров землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. 1990. № 5. С. 103-112.
5. Назарова З.А. Оценка результатов определения координат гипоцентров программами HIPO, GIP и ARC в условиях камчатской сети радиотелеметрических станций // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2006. № 2. С. 188-194.
6. Сеньков С.Л., Дрозина С.Я., Козлова Н.И., Нуждена И.Н., Кожевникова Т.Ю. Оперативная обработка сильного Олюторского землетрясения 20 апреля и его афтершоков // (настоящий сборник).