

Analysis = Kamchatka ca th.

Н. В. Кондорская, Л. Н. Павлова

# Анализ основных параметров очагов камчатских землетрясений 24.XI и 15.XII по телесеismicким данным

В предшествующие четыре года в северо-западной части очага готовящегося сильного землетрясения отмечено строго ритмичное (раз в два года: январь 1967 г., январь 1969 г., январь 1971 г.) появление групп землетрясений типа роев. Обычных форшоков с  $K_{Sl,2} \geq 8$  (уровень на дежной регистрации) не наблюдалось.

Главный толчок 15.XII 1971 г. сопровождался мощной серией афтершоков. На сейсмограммах двухчасовая полоса после первого толчка не читаема. В последующие дни также бывали периоды часто следующих одно за другим землетрясений, что исключало возможность их обработки. Удалось определить координаты и энергию 420 землетрясений ( $K \geq 10$ ), распределение которых по энергии приведено ниже:

K	8	9	40	41	42	43
Число землетрясений	30	189	142	70	15	4

Наклон графика повторяемости для неполной (по техническим причинам) серии афтершоков  $\gamma = -0,68$  при среднем для Камчатки  $\gamma = -0,48$ . Магнитудная ступень между основным толчком и сильнейшим афтершоком составляет 1,5.

В прострэнстве афтершоки образовали сложную фигуру (см. рис. 4), подобную, в грубом приближении, двум несимметрично пересекающимся эллипсам, длинные оси которых взаимно перпендикулярны и направлены вдоль Алеутского и Курило-Камчатского желобов соответственно. Диапазон глубин афтершоков — от 0 до 30 км.

Развитие афтершокового роя в прострэнстве иллюстрируется серией рисунков (4а, б, в). В первые двое суток после главного толчка (рис. 4а) афтершоки образовали довольно четкий эллипс размером около  $120 \times 60$  км «алеутского» простирания. В следующие двое суток (рис. 4б) эпицентры афтершоков образовали компактную зону примерно тех же размеров, с простиранием СВ-ЮЗ, с сохранением слабой активности в предыдущей зоне. Последующее развитие процесса до конца декабры (рис. 4в) дало, помимо дальнейшего заполнения описанных зон, некоторую дальнейшую миграцию активности в северо-западном и особенно в юго-восточном направлениях.

Своеобразный характер развития афтершокового процесса связан, по-видимому, со сложностью поля напряжений в «замке» двух сейсмо-тектонических зон глобального масштаба.

## ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Федотов, А. А. Гусев, В. М. Зобин, А. М. Кондратьенко, К. Е. Чепкина. Озерновское землетрясение и цунами 22(23) ноября 1969 г.— В сб. «Землетрясения в 1969 году». М., «Наука», 1972.
2. Оперативный сейсмологический бюллетень. Изд. Междугосуд. геофиз. комитета за декабрь 1971 г. Обнинск, 1971.
3. Seismological Bulletin U. S. Coast and Geodetic Survey. Washington, 1971, Dec.
4. А. В. Горячев. Основные закономерности тектонического развития Курило-Камчатской зоны. М., «Наука», 1966.
5. С. А. Федотов. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии.— Труды ИФЗ, 1965, № 36(203).
6. С. А. Федотов. О сейсмическом цикле, возможности сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе.— В сб. «Сейсмическое районирование СССР». М., «Наука», 1968.
7. Л. М. Балкина. Механизм очага цунамигенных землетрясений северо-западной части Тихого океана.— Тезисы XV Ген. ассамблеи МГТС. М., 1972.
8. Сборник «Землетрясения в СССР в 1970 году». М., «Наука», 1973.

Два сильнейших землетрясения на Камчатке, происшедшие в 1971 г., достаточно четко зарегистрированы в широком диапазоне эпицентральных расстояний ( $0^\circ < \Delta < 100^\circ$ ) как советскими, так и зарубежными сейсмическими станциями. В этом случае, как правило, выявляется возможность повысить точность определения основных параметров гипоцентров ( $\phi, \lambda, h, t_0$ ) и магнитуды за счет использования данных так называемой полной системы наблюдений, т. е. большого количества станций, расположенных в широком азимутальном створе. Однако в связи с тем, что полная система наблюдений содержит обычно близкие и удаленные станции, возникают дополнительные трудности, связанные с влиянием постоянных стационных поправок к среднему годовому графику для времен первых вступлений сейсмических волн на различных эпицентральных расстояниях и азимутах, что может приводить в отдельных случаях к некоторому смещению эпицентра.

Анализ результатов определения параметров гипоцентров на основании различных систем наблюдений представляет интерес по крайней мере с двух точек зрения. Во-первых, позволяет наиболее точно определить основные параметры очага, используя максимальное количество наблюдений. Во-вторых, установление факта расхождения координат эпицентров по данным различных систем наблюдений дает возможность в случае наличия достаточно надежных данных локальной или региональной сети станций выявить горизонтальные неоднородности в различных направлениях от эпицентра и установить стационные поправки к среднему годовому графику, которые должны быть учтены при последующих определениях координат гипоцентра.

Сопоставление результатов определения основных параметров гипоцентров для камчатских землетрясений по различным системам наблюдений проведено в работе [1], где было показано, что для Камчатки имеет место систематическое расхождение при определении координат землетрясений, расположенных восточнее Камчатки. А именно координаты эпицентров землетрясений ( $h = 0 - 150$  км), определенные по системе удаленных от эпицентра станций (в основном  $\Delta > 10^\circ$ ), систематически сдвинуты по сравнению с координатами эпицентров, определенных по системе близких станций ( $\Delta < 10^\circ$ ), в направлении на NW, на расстояние примерно 20 км. Аналогичный сдвиг глобального эпицентра был отмечен для Алеутской дуги в работе Дугласа [2].

В связи с этим анализ результатов определений параметров сильных камчатских землетрясений 1971 г., для которых мы имеем достаточно полную систему наблюдений, представляет несомненный интерес.

## Определение координат гипоцентра

Координаты гипоцентра определялись на основании времен первых вступлений сейсмических волн на станции, как близкие, так и удаленные. Системы наблюдений показаны на рис. 1а, б. Использовалась

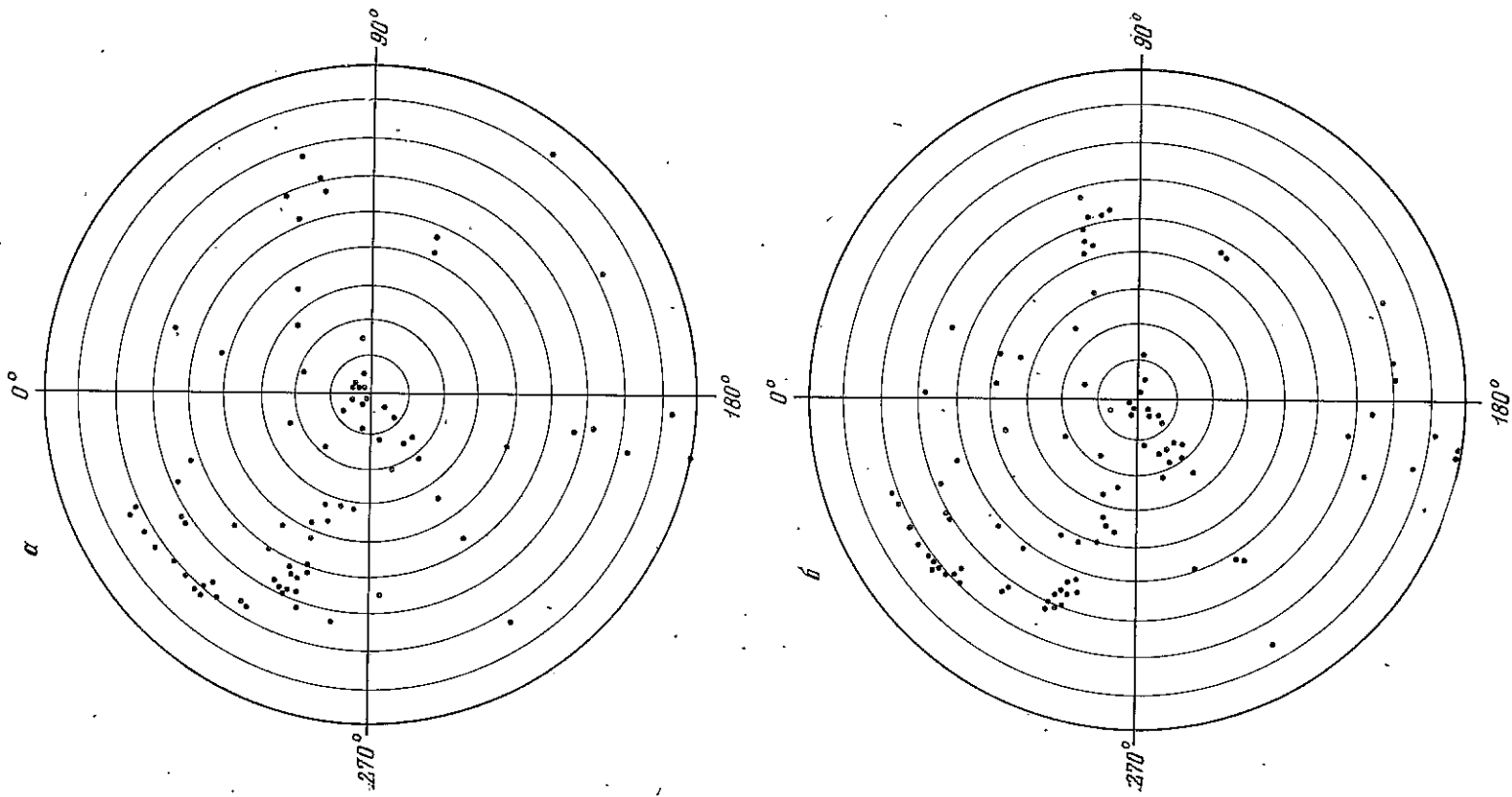


Рис. 1. Азимутально-дистанционная диаграмма расположения сейсмических станций  
а — для землетрясения 24.XI; б — для землетрясения 15.XII

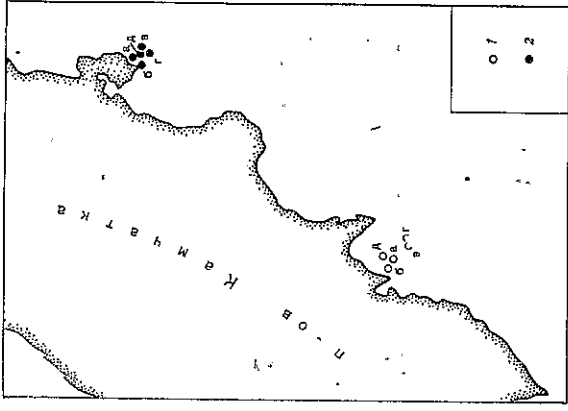


Рис. 2. Результаты определения координат эпицентров по различным системам наблюдений по программе ЭПИ-1  
а — полная система наблюдений;  
б — система наблюдений удаленных станций ( $\Delta > 20^\circ$ );  
в — система наблюдений близких станций ( $\Delta < 10^\circ$ );  
г — данные ТСЭ;  
д — данные БГС США;  
1 — землетрясение 24.XI;  
2 — землетрясение 15.XII

программа ЭПИ-1, минимизирующая величину среднеквадратичной невязки времени в гипоцентре. При этом проводилось несколько вариантов расчетов: а) по данным полной системы наблюдений; б) по данным наблюдений удаленных станций ( $\Delta > 20^\circ$ ); в) по данным наблюдений региональной сети ( $\Delta < 10^\circ$ ).

В последние годы большое внимание было уделено выявлению кинематических особенностей распространения сейсмических волн для землетрясения района Камчатки. Хотя в среднем не было обнаружено существенного отклонения от осредненного годографа Джеффриса — Буллена, были установлены для отдельных станций поправки ко времени первых вступлений от очагов, расположенных вдоль побережья Камчатского полуострова [3].

Учитывая эти работы, варианты «а» и «в» просчитаны дважды: с использованием осредненного годографа Джеффриса — Буллена ( $a_1, v_1$ ) и с учетом стационных поправок И. П. Кузина ( $a_2, v_2$ ).

Следует отметить, что введение стационных поправок Кузина привело к уменьшению дисперсии в оценке времени в очаге, координаты же эпицентров оказались совпадающими в пределах 1—2 км. На рис. 2 приведены координаты эпицентров, полученные при различных вариантах расчетов ( $a_2, b, v_2$ ), а также координаты эпицентров, полученные в ТСЭ (г) и в БГС США (д).

Сопоставление результатов определения времени в гипоцентре и глубины его залегания показаны в табл. 1.

*Determination of hypocenter* Таблица 1  
Определение гипоцентров по разным системам наблюдений

Данные	24.XI 1971 г.		15.XII 1971 г.	
	$h, \text{ км}$	$t_0$	$h, \text{ км}$	$t_0$
Полная система наблюдений ( $a_2$ )	116	19—35—29,6	30	08—29—54,8
Система региональных станций ( $b_2$ )	425	19—35—28,8	25	08—29—54,3
ТСЭ (г)	400	19—35—30	20—30	08—29—55,0
БГС США (д)	106	19—35—29,1	—	08—29—55,3
Наиболее вероятные, взятые в результате анализа	125	19—35—28,8	25	08—29—54,3

**Магнитуда землетрясений**

Магнитуда землетрясений определялась в основном по данным удаленных ( $\Delta > 20^\circ$ ) станций с помощью аппаратуры различных типов (СКМ-3, СК, СКД). Результаты приведены в табл. 2. В скобках даны величины стационных поправок в соответствии с [4].

Таблица 2

Станция	24.XI 1971 г.				15.XII 1971 г.			
	mPV		MLH		mPV		MLH	
	СКМ-3	СК	СКД	СК	СКД	СКМ-3	СК	СКД
Ожы								
Курльск								
Ильин								
Якутск								
Южно-Сахалинск								
Владивосток								
Тiksi								
Борайбо								
Иркутск								
Жаменск								
Усть-Элегест								
Хейс								
Ельовка								
Новосибирск								
Алматы								
Свердловск								
Пржевальск								
Талар								
Фрунзе								
Нарын								
Андижан								
Ташкент								
Гары								
Хорог								
Мулково								
Москва								
Обнинск								
Куляб								
Душанба								
Кизыл-Арват								
Мургаб								
Душанбе								
Махачкала								
Баку								
Львов								
Тбилиси								
Карабад								
Вакурмани								
Сочи								
Горск								
Ереван								
Самферополь								
Кашив								
Ужгород								
Новолазаревская								
Среднее	6,6	7,3	7,2	7,1	7,2	6,8	7,4	7,5
$\sigma$	$\pm 0,24$	$\pm 0,29$	$\pm 0,21$	$\pm 0,24$	$\pm 0,16$	$\pm 0,33$	$\pm 0,29$	$\pm 0,2$

Следует отметить, что на основании данных о магнитуде по поверхностным и объемным волнам, при использовании соотношения из [5], глубина землетрясения 15.XII оказывается равной 25 км.

Как видно, эпицентры  $a_2, b, d,$  по сравнению с  $b_2$  и  $g$  смещаются на NW, как уже было отмечено ранее в [1].

Что касается значений глубины очага, то они оказываются близки, по расчетам различных систем наблюдений (см. табл. 1). Глубина гипоцентра землетрясения 24.XI подтверждается наличием на записях удаленных станций волн типа  $sP$  (волна  $RP$  практически не выделяется нигде) (рис. 3). Наличие волн  $S$  на близкой станции Петропавловск ( $\Delta < 1^\circ$ ) указывает на глубину  $h = 100$  км. Однако удаленные станции определяют глубину не менее 125 км.

В данном случае для двух расматриваемых землетрясений можно полагать, что координаты гипоцентров по системе  $b_2$  являются наиболее вероятными. Землетрясение 24.XI:  $\varphi = 52,67^\circ$ ;  $\lambda = 159,50^\circ$ ;  $h = 125$  км;  $t_0 = 19-35-28,8$ .

Землетрясение 15.XII:  $\varphi = 55,91^\circ$ ;  $\lambda = 163,37^\circ$ ;  $h = 25$  км;  $t_0 = 08-29-54,3$ . Минимальная величина среднеквадратичной погрешности  $b_2$  при условии учета известных региональных особенностей распространения сейсмических волн на малых расстояниях свидетельствует о нахождении наиболее достоверных данных о параметрах гипоцентров.

Причину расхождения в координатах эпицентров по вариантам  $a$  и  $b$  можно видеть в том, что программа ЭПИ-1, минимизирующая величину среднеквадратичной невязки времени в очаге, при большом числе станций не придает большего веса данным близких станций, в результате оказывается, что счет останавливается на таких параметрах эпицентров (при фиксированной наиболее вероятной глубине), при которых невязки на близких станциях не минимальны, более того, ряд станций могут иметь значительные невязки (более 3 сек.) и быть отброшены при счете.

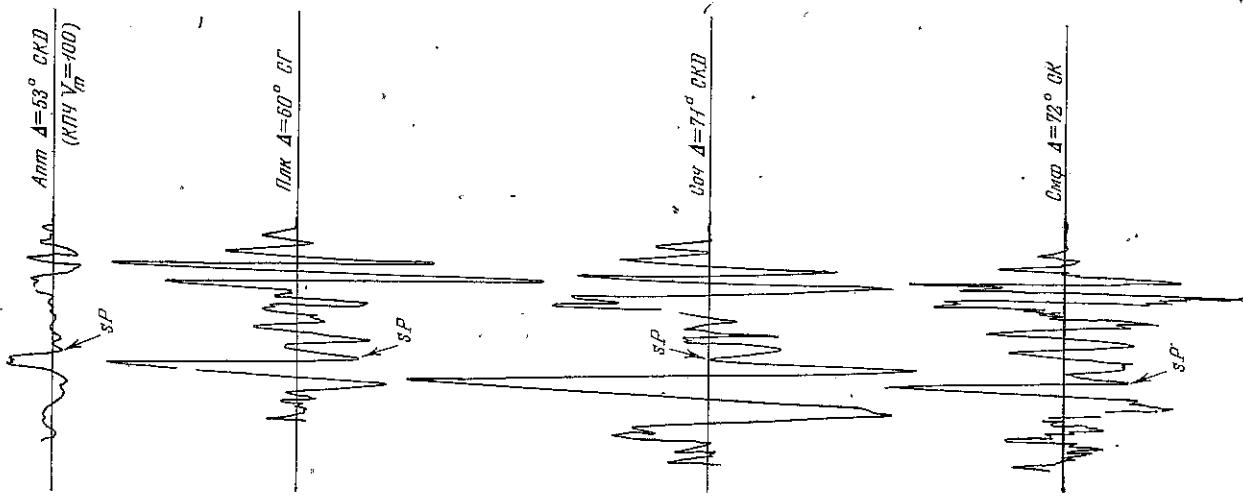


Рис. 3. Примеры записи волн  $sP$  для землетрясения 24.XI на ряде станций ЕССН

оказывается, что счет останавливается на таких параметрах эпицентров (при фиксированной наиболее вероятной глубине), при которых невязки на близких станциях не минимальны, более того, ряд станций могут иметь значительные невязки (более 3 сек.) и быть отброшены при счете.

## Особенности времен первых вступлений $P$ -волны от камчатских землетрясений на удаленные станции

От гипоцентров землетрясений, приведенных выше, рассчитаны величины станционных кинематических невязок.

Осредненные зависимости станционных невязок для двух землетрясений от эллиптического расстояния показаны на рис. 4. Если для ближней зоны средние невязки оказываются вблизи нуля, то для удаленных станций они оказываются в среднем отрицательными. При этом отчетливо вырисовывается зависимость величин невязок от азимута (рис. 5). Так, видно, что в азимутальном створе  $260-360^\circ$  имеет место опережение времен прихода сейсмических волн по сравнению с географом Джефриса — Буллена на далеких станциях ( $\Delta > 20^\circ$ ), на более близких расстояниях такой аномалии не наблюдается. В азимутальном створе  $60-260^\circ$  имеет место запаздывание времен первых вступлений сейсмических волн.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Гусев, Н. В. Кондорская, С. А. Федотов. О расхождении кинематических параметров землетрясений севера Курило-Камчатской зоны по данным местной и мировой сетей станций. — В сб. «Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке». Новосибирск, «Наука», 1974.
2. A. Douglas. Joint epicentre determination. — Nature, 1967, v. 215, N 5096.
3. И. П. Кузин. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе восточной Камчатки. М., «Наука», 1974.
4. Н. С. Ландырева. Определение  $M_L$  при составлении сейсмологического бюллетеня сети опорных сейсмических станций СССР. — Информ. бюллетень, 1967, № 15.
5. М. В. Ожигинская. К вопросу об определении глубин очагов удаленных землетрясений. — В сб. «Комплексные геофизические наблюдения в Обнинске». Обнинск, 1974.

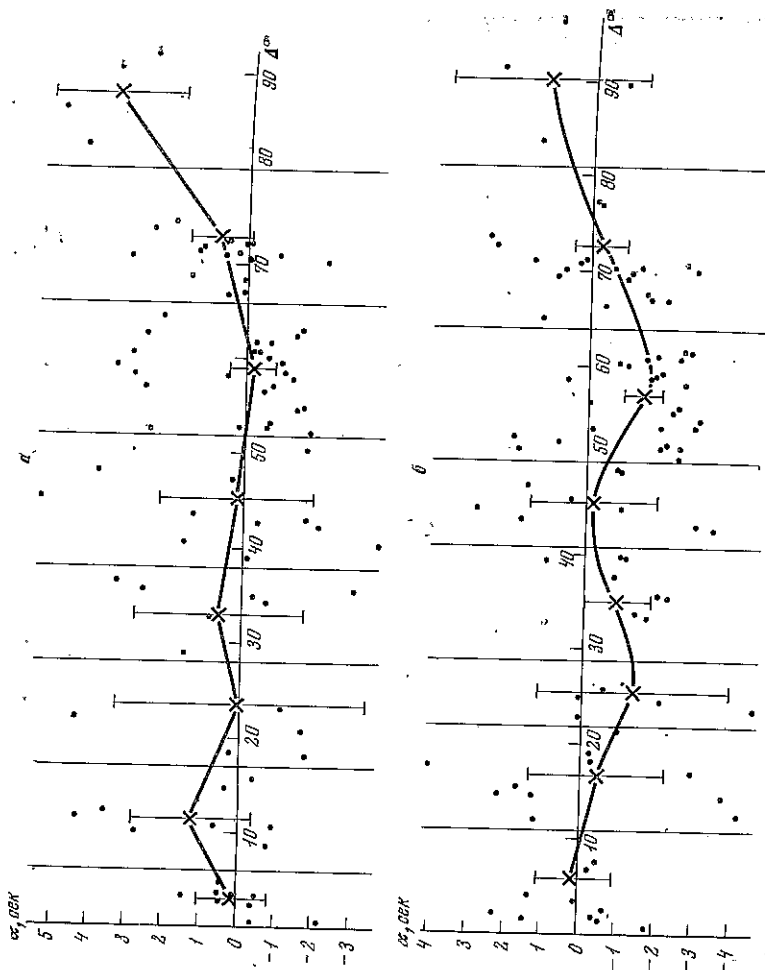


Рис. 4. Зависимость станционных невязок от  $\Delta^\circ$   
а — землетрясение 24.XI; б — землетрясение 15.XII

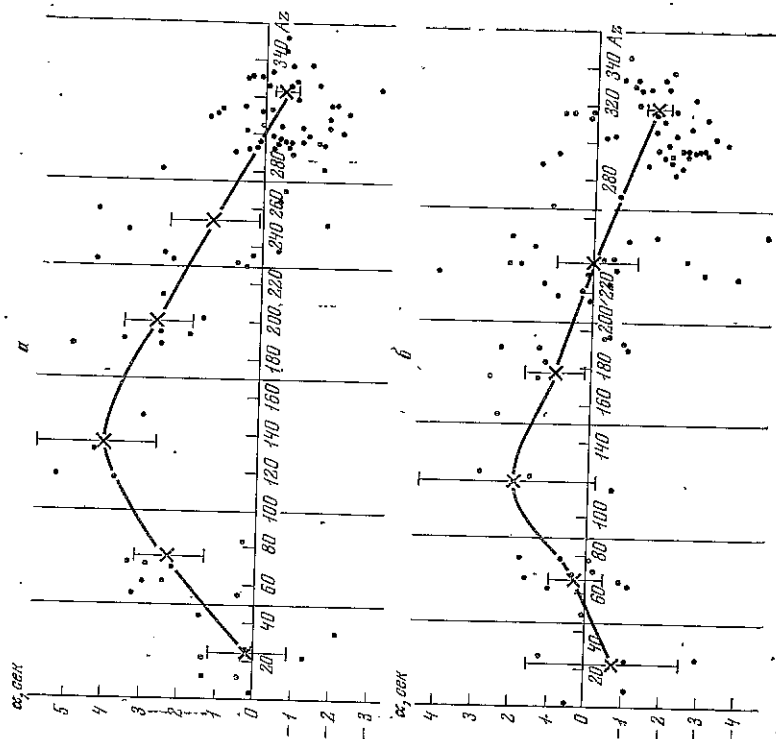


Рис. 5. Зависимость станционных невязок от азимута  
а — землетрясение 24.XI; б — землетрясение 15.XII