

УДК 550.34.06

ИЛЬПЫРСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 13 МАРТА 2013 г. $M_w = 5.8$ (СЕВЕРНАЯ КАМЧАТКА): АНОМАЛЬНАЯ ПРОТЯЖЕННОСТЬ ОЧАГОВОЙ ЗОНЫ КАК АРТЕФАКТ

© 2014 В.А. Салтыков, С.Я. Дрозина

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский,
683006; e-mail: salt@emsd.ru*

Рассмотрена последовательность афтершоков Ильпырского землетрясения, произошедшего 13 марта 2013 г. $M_L = 6.2$, $M_w = 5.8$ в районе Карагинского залива (Северная Камчатка). По данным оперативной обработки были отмечены аномальные особенности последовательности этих землетрясений: ярко выраженная линейность облака афтершоков и большая протяженность этой линейной группы сейсмических событий – около 150 км. Последующий анализ сейсмических данных и переопределение гипоцентров позволил квалифицировать эти аномалии как артефакт.

Ключевые слова: землетрясение, афтершок, гипоцентр, линейная структура, поляризационный анализ, артефакт.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из интересных сейсмических эпизодов 2013 г. в зоне ответственности Камчатского филиала (КФ ГС РАН) является активизация на севере Камчатки в районе Карагинского залива (рис.1), начавшаяся землетрясением 13 марта 2013 г. с магнитудой $M_L = 6.2$, $M_w = 5.8$, далее – Ильпырское землетрясение (Сильные ..., 2014). Эта последовательность сейсмических событий, гипоцентры которых были определены в оперативном режиме, обладала аномальными особенностями:

- ярко выраженной линейностью облака афтершоков,
- большой протяженностью этой линейной структуры: ~150 км, что на порядок превышает размеры типичной афтершоковой области для землетрясения с магнитудой $M \sim 6$ (рис. 1а).

Указанные особенности облака афтершоков интересны в аспекте региональной тектоники и геодинамики. Следует отметить два обстоятельства: 1) расположение Ильпырского землетрясения и его афтершоков на предполагаемой границе Охотской и Северо-Американской литосферных плит (Ландер и др., 1994; Тимофеев и др., 2012; Mackey et al., 1997); 2) соответствие облака афтершоков выделенным в работах (Ежов, 1983; Яроцкий, 2008) тектоническим

структурам северо-западного простирания (рис. 2).

Таким образом, Ильпырское землетрясение и гигантская область его афтершоков может интерпретироваться как активизация крупной разломной структуры, что, в свою очередь, должно было повысить сейсмическую и цунами опасность для населенных пунктов на севере Камчатского края (Викулин, 1998; Мелекесцев, Курбатов, 1997).

Детальный анализ сейсмических данных позволил усомниться в корректности решений, полученных при первичной обработке облака афтершоков, на основании чего была произведена повторная обработка этих землетрясений и перерасчет гипоцентров. Оба этапа обработки проводились сотрудниками лаборатории сейсмической и вулканической активности КФ ГС. В результате размеры афтершоковой области значительно сократились, и гипотеза об активизации протяженного разлома была отвергнута.

В настоящей работе приведены фактические данные, относящиеся к Ильпырскому землетрясению и его афтершокам, а также обсуждаются некоторые аспекты обработки таких землетрясений, происходящих в зонах пониженной разрешающей способности сети сейсмических станций.

ИЛЬПЫРСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ

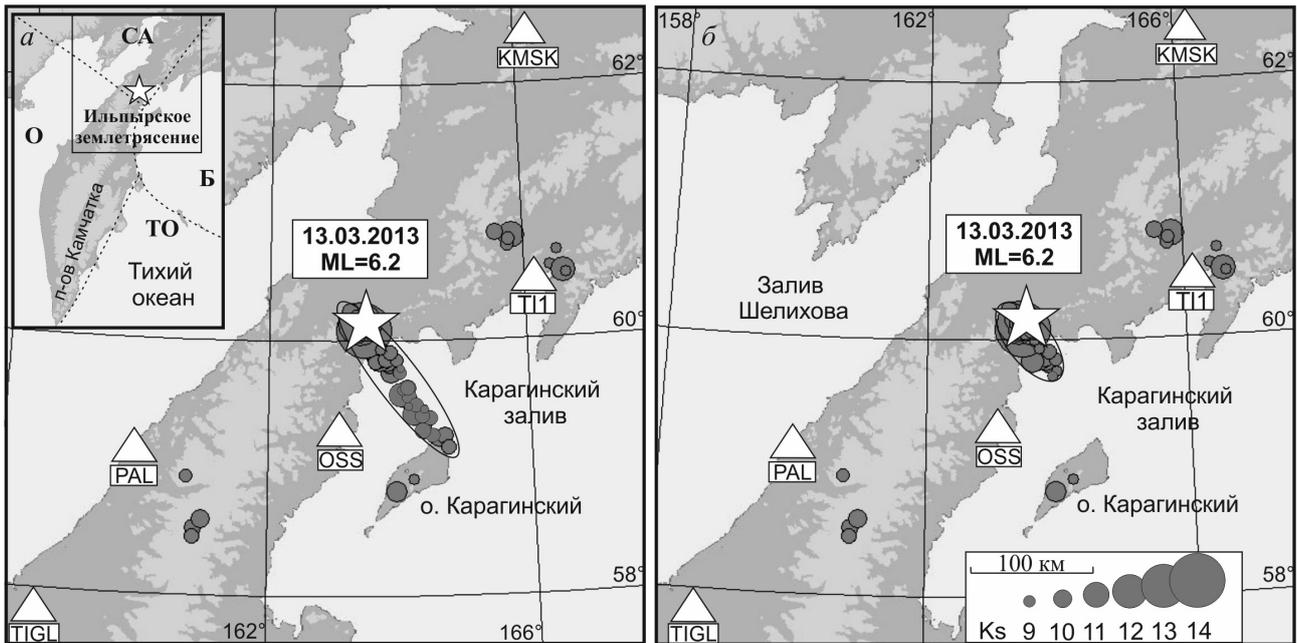


Рис. 1. Афтершоки Ильпырского землетрясения энергетического класса $K_s \geq 8.7$ по результатам оперативной обработки (а); после перерасчета эпицентрии (б). Звездой отмечен инструментальный эпицентр Ильпырского землетрясения. Облака афтершоков оконтурены эллипсами. Треугольники – ближайшие сейсмические станции: OSS (Оссора), PAL (Палана), TL1 (Тиличики), KMSK (Каменское) и TIGL (Тигиль). На врезке пунктиром нанесены современные границы литосферных плит в районе Камчатки по (Ландер и др., 1994): СА – Северо-Американская, О – Охотская, Б – Берингия, ТО – Тихоокеанская плита.

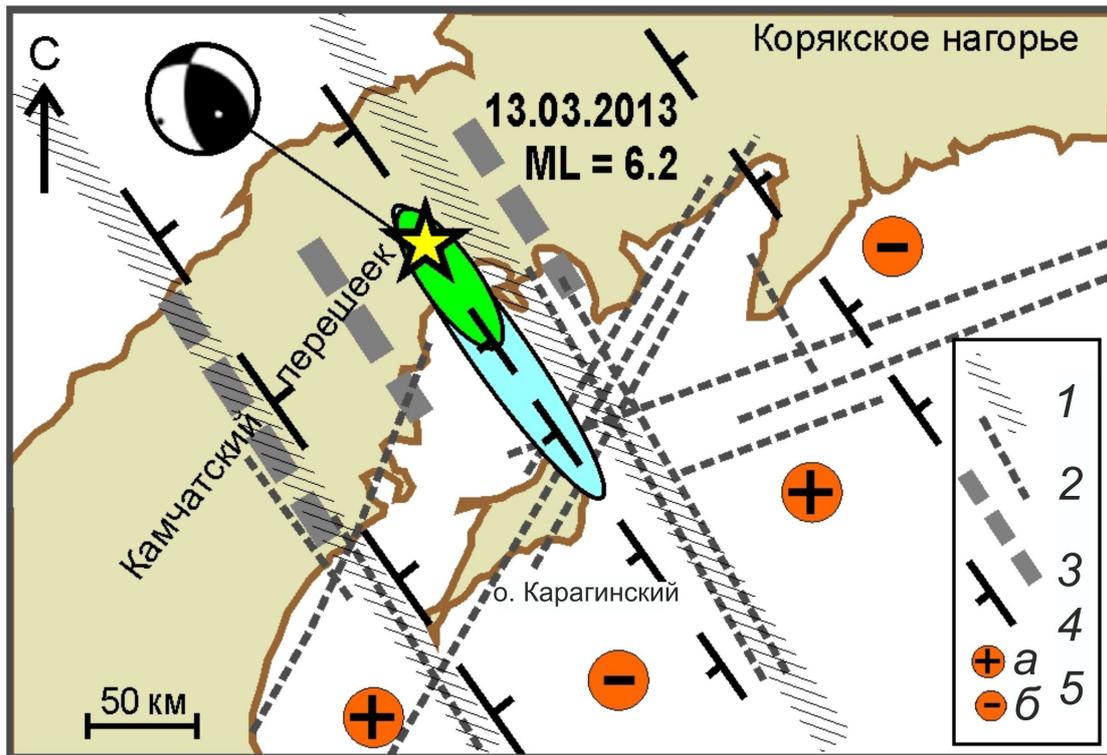


Рис. 2. Очаговая зона Ильпырского землетрясения на схеме тектонических структур северо-западного простирания по (Ежов, 1983; Яроцкий, 2008): 1 – Региональные зоны тектонических нарушений по геофизическим данным по (Яроцкий, 2008); 2 – тектонические нарушения по (Ежов, 1983); 3 – глубинные разломы северо-западного (алеутского) направления трансформного типа по (Яроцкий, 2008); 4 – поперечные межглыбовые (сквозькоровые) разломы северо-западного (алеутского) направления по (Яроцкий, 2008); 5 – направления субвертикальных движений сопредельных глыб коры по (Яроцкий, 2008): а – воздымающиеся, б – опускающиеся (опаздывающие в воздымании). Эллипсы соответствуют облакам афтершоков по оперативному каталогу и данным переопределения (длинный и короткий эллипс соответственно).

ИЛЬПЫРСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ЕГО АФТЕРШОКИ. ПРОБЛЕМА ВОЗМОЖНОЙ АКТИВИЗАЦИИ КРУПНОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

13 марта 2013 г. в 03 час 12 мин УТ в Карагинском районе Камчатского края произошло ощутимое землетрясение с $M_L = 6.2$, $M_w = 5.8$. По данным КФ ГС РАН очаг землетрясения находился на глубине 24 км под Камчатским перешейком (рис. 1). Землетрясение ощущалось на территории Карагинского, Олюторского, Пенжинского и Тигильского районов Камчатского края с интенсивностью до 6-7 баллов по шкале MSK-64. Это событие по макросейсмическим проявлениям оказалось наиболее интенсивным на территории Камчатского края в 2013 г. (Сильные ..., 2014).

Ближайшим к очагу оказался пос. Ильпырское, расположенный в 40 км к западу и землетрясение 13 марта 2013 г. было названо «Ильпырское землетрясение» в соответствии с названием этого населенного пункта (Сильные ..., 2014).

Район Ильпырского землетрясения по регионализации сейсмоактивного объема Камчатки, предложенной в работе (Левина и др., 2013) пространственно относится к южной части Корякского сейсмического пояса, оживление которого началось в конце 1980-х годов (Ландер и др., 1994). Сейсмичность Северной Камчатки и Корякии детально рассмотрена в работах (Викулин, 1998; Ландер и др., 2010; Левина и др., 2013).

Для прилегающей к эпицентру Ильпырского землетрясения зоны с размерами 200×200 км² это сейсмическое событие является сильнейшим за время детальных сейсмологических наблюдений с 1962 г. Да и для существенно большего района, захватывающего Корякское нагорье и север Камчатки, такие землетрясения – большая редкость. Наиболее значительными зарегистрированными здесь сейсмическими событиями являются Озерновское и Олюторское землетрясения (22 ноября 1969 г. с магнитудой $M = 7.7$ и 20 апреля 2006 г. с магнитудой $M_w = 7.6$, соответственно). Таким образом, для Северной Камчатки примечателен сам факт возникновения землетрясения с магнитудой $M \sim 6$.

Как уже указывалось, по результатам оперативной обработки облако афтершоков Ильпырского землетрясения очертило протяженную, врезающуюся в акваторию Карагинского залива линейную структуру длиной ~ 150 км, что не соответствует существующим представлениям о размерах очаговых зон для землетрясений сопоставимой магнитуды (Wells, Coppersmith, 1994).

Механизм очага Ильпырского землетрясения (табл. 1) определен как взбросо-сдвиг с преобладанием взбросовой компоненты и субгоризонтальной осью сжатия в направлении СВ–ЮЗ (Сильные ..., 2014). Ориентация нодальной плоскости NP2 близка к направлению простирания облака афтершоков и хорошо увязывается с представлениями о региональных структурах, имеющих северо-западное (алеутское) простирание по (Ежов, 1983; Яроцкий, 2008) (рис. 2). Кроме того, имеет место соответствие механизма Ильпырского землетрясения по нодальной плоскости NP2 знакам вертикальных движений блоков коры в рассматриваемом районе по (Яроцкий, 2008).

Как было сказано ранее, Ильпырское землетрясение произошло вблизи границы Охотской и Северо-Американской литосферных плит (рис. 1), которую проводят вкост Камчатского перешейка (Ландер и др., 1994; Тимофеев и др., 2012; Maskey et al., 1997), и, учитывая механизм очага, это землетрясение, по нашему мнению, является новым дополнительным доводом в пользу действительного прохождения здесь указанной границы.

Анализируя имеющуюся информацию, возникает вопрос: «Что мы наблюдаем? Не является ли серия происходящих сейсмических событий признаком активизации крупной разломной структуры, а Ильпырское землетрясение – форшоком более сильного сейсмического события?».

Оценки точности определения координат афтершоков, рассчитанных в режиме близком к реальному времени с помощью программы DIMAS (Дрознин, Дрознина, 2010), свидетельствовали в пользу аномально большой протяженности сейсмической активизации – ошибки определения координат были существенно меньше размеров облака землетрясений. Перерасчет гипоцентрии для тех же исходных данных, но по

Таблица 1. Параметры механизма очага Ильпырского землетрясения 13.03.2013 г. $M_L = 6.2$, $M_w = 5.8$ по данным каталога Global CMT (<http://www.globalcmt.org>).

Дата г. м. д.	Время ч : м : с	h, км	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						
			T		N		P		NP1			NP2			
			pl	azm	pl	azm	pl	azm	stk	dip	slip	stk	dip	slip	
2013.03.13	3:12:52	12	58	135	30	339	11	243	176	62	124	301	43	44	

Примечание. Оси главных напряжений: T – ось растяжения; N – промежуточная; P – ось сжатия; pl – угол погружения; azm – азимут. Нодальные плоскости: stk (strike) – простирание; dip – падение; slip – скольжение.

программе GIP (Гусев, 1979) также не дал повода усомниться в реальности этой аномалии.

Линейные размеры области, захваченной активизацией, соответствовали потенциальному землетрясению с магнитудой $M \sim 7.5$, что не могло остаться незамеченным нами и не вызвать озабоченность.

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПОВТОРНОЙ ОБРАБОТКИ АФТЕРШОКОВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Необходимость повторной обработки афтершоковой последовательности Ильпырского землетрясения была обоснована благодаря следующим фактам.

1. Кумулятивный график накопления числа землетрясений из области предполагаемой активизации (за март-декабрь 2013 г.) не выявил никаких аномалий, не свойственных афтершоковому процессу, (рис. 3) и достаточно близок закону Омори, который описывается уравнением:

$$\frac{dN}{dt} = At^{-p},$$

где N – число афтершоков, t – время, отсчитываемое от основного события. В нашем случае зависимость N от t аппроксимируется степенной функцией с показателем 0.24, что соответствует $p = 0.76$. Таким образом, по характеру временной зависимости рассматриваемые землетрясения являются типичной затухающей афтершоковой последовательностью (Сильные ..., 2014).

2. Анализ опубликованных работ (Викулин, 1998; Ландер и др., 2010; Левина и др., 2013) показал, что ранее никакие аналогичные линейные

структуры в сейсмичности Северной Камчатки не выявлялись.

3. Результаты поляризационного анализа (Салтыков, 2013), также подтверждали, что мы имеем дело с артефактом. Исходя из того, что азимут поляризации Р-волн должен быть близок к направлению от станции на эпицентр землетрясения, была проведена проверка этого соответствия для Ильпырского землетрясения и нескольких наиболее сильных землетрясений, эпицентры которых попали на юго-восточный край зоны вероятной активизации (рис. 1). Рассматривались волновые формы, полученные на станциях OSS (Оссора) и TL1 (Тиличики). Результаты расчета азимутов приведены в таблице 2. Для землетрясений в юго-восточной части зоны расхождение азимутов оказалось весьма существенным. Но главное, что средний азимут поляризации Р-волн для этих землетрясений на станции OSS ($15^\circ \pm 7^\circ$) и на станции TL1 ($273^\circ \pm 10^\circ$) соответствуют азимутам поляризации для основного события: 17° и 282° , соответственно. Это однозначно указывает на ошибку в определении эпицентров афтершоков, а, значит, все отмеченные особенности их распределения, включая большую протяженность зоны активизации, ставятся под сомнение. Последнее обстоятельство обосновало необходимость повторной обработки землетрясений и перерасчета гипоцентрии.

ПРОБЛЕМЫ ОБРАБОТКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЗОНАХ ПОНИЖЕННОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РЕГИСТРИРУЮЩЕЙ СЕТИ

Камчатская региональная сеть сейсмических станций в 2013 г. состояла из 71 пункта регистрации сейсмических сигналов, оснащенных

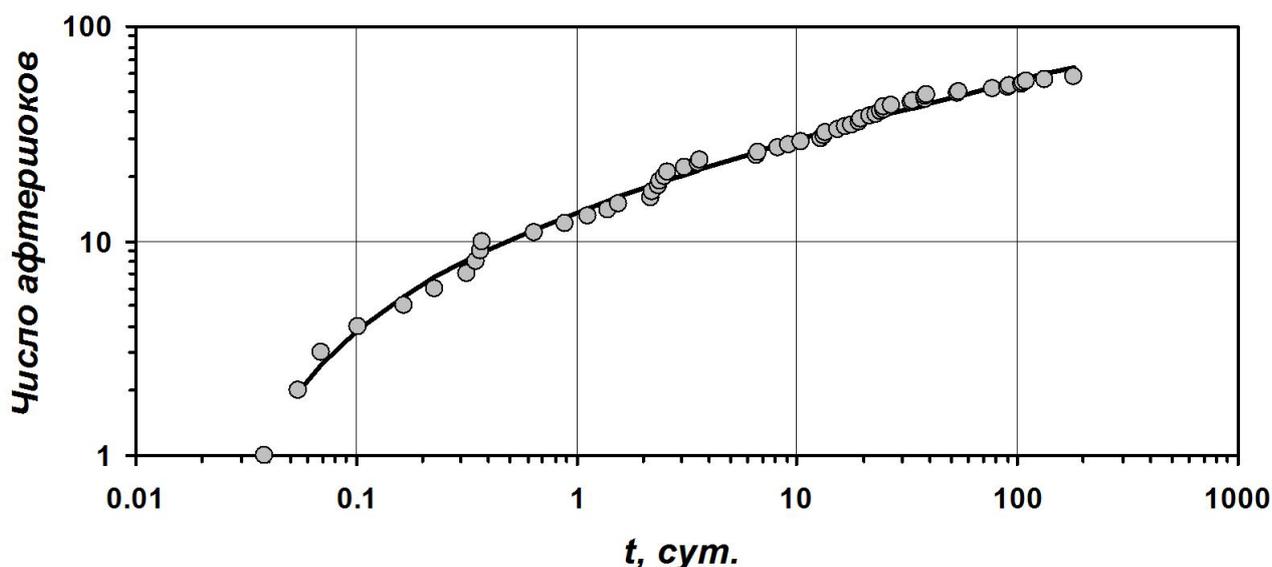


Рис. 3. Кумулятивный график числа афтершоков Ильпырского землетрясения, аппроксимированный степенной функцией в соответствии с законом Омори. Для построения графика использовались землетрясения с $K_s \geq 8.7$.

Таблица 2. Результаты поляризационного анализа. Направление на эпицентр землетрясения и поляризация первого вступления на двух региональных сейсмических станциях OSS (Оссора) и Т11 (Тиличики).

Землетрясение: время в очаге, локальная магнитуда M_L	Координаты по результатам оперативной обработки		Азимут на эпицентр / Азимут поляризации Р-волны °	
	с.ш., °	в.д., °	Ст. OSS (Оссора)	Ст. Т11 (Тиличики)
<i>Ильпырское землетрясение</i>				
2013-03-13 03:12:52 M_L 6.2	60.08	163.47	14 / 17	255 / 282
<i>Афтершоки Ильпырского землетрясения</i>				
2013-03-13 04:31:34 M_L 4.0	59.22	164.59	93 / 9	213 / 268
2013-03-13 04:52:08 M_L 4.2	59.10	164.68	101 / 18	209 / 285
2013-03-13 11:35:43 M_L 4.0	59.25	164.69	91 / 8	211 / 280
2013-03-15 07:53:58 M_L 4.0	59.43	164.27	75 / 26	223 / 259

каналами связи с передачей данных в реальном времени (Сильные ..., 2014; Чебров и др., 2013). За период наблюдений с 1962 г. детальность каталога землетрясений севера Камчатского края существенно ниже, чем для Южной и Центральной Камчатки. Уровень надежной регистрации достиг приемлемого значения лишь в последние годы, после организации регистрации на станциях OSS (Оссора), PAL (Палана), Т11 (Тиличики), КМСК (Каменское) (Чебров и др., 2013). Анализ графика повторяемости (Салтыков, 2013) позволяет оценить представительность каталога для района Ильпырского землетрясения в настоящее время как $K_s = 8.7$, что близко к среднему значению для всей Камчатки. Наклон графика повторяемости γ , оцениваемый как 0.49 ± 0.06 , также соответствует среднему для

Камчатки значению, которое близко к 0.50. Как показано на (рис. 1), региональные сейсмические станции в районе Ильпырского землетрясения немногочисленны и имеют линейное расположение, что предполагает худшую точность гипоцентрии в поперечном направлении, соответствующем простираанию облака афтершоков.

В оперативном режиме было локализовано и занесено в каталог 155 землетрясений из эпицентральной зоны Ильпырского землетрясения. Только 14 из них были обработаны с привлечением данных шести и более сейсмических станций. Для этих землетрясений было получено устойчивое решение и их эпицентры находились в непосредственной близости от основного толчка. В случае использования для

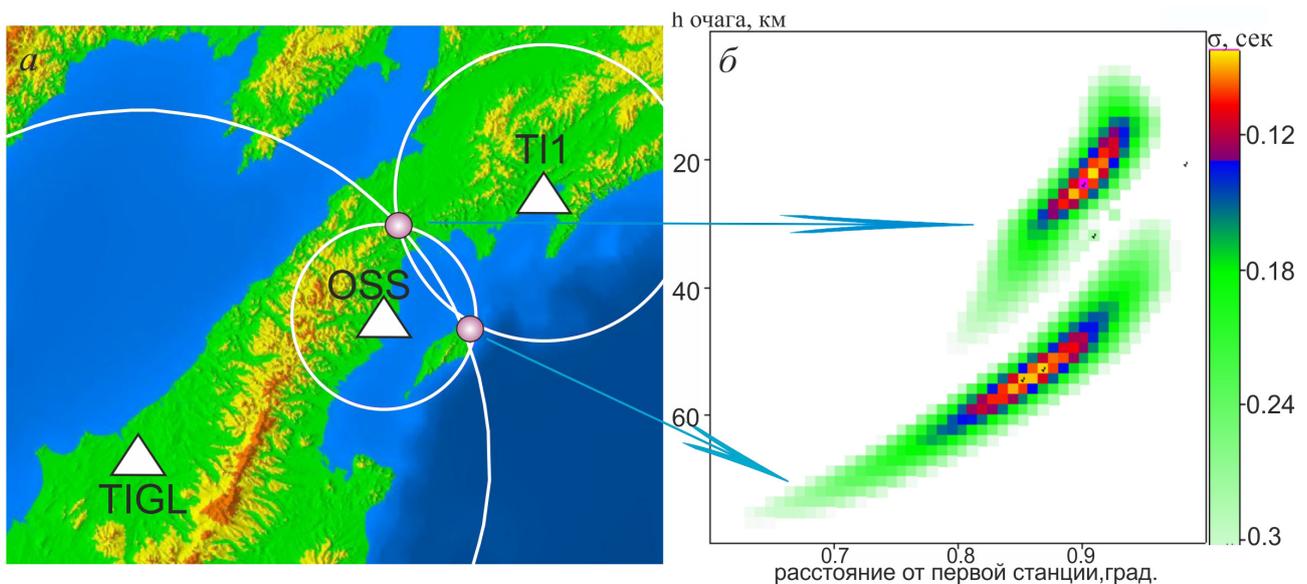


Рис. 4. Пример обработки в программе DIMAS (Дрознин, Дрознина, 2010) афтершока Ильпырского землетрясения по записям трех ближайших станций: *a* – два равнозначно возможных положения эпицентра (малые кружки); *b* – облака невязок, соответствующие двум полученным решениям. Треугольники – сейсмические станции. Среднеквадратическое отклонение от теоретических времен пробега в секундах обозначено σ .

локализации землетрясения только трех станций (TIGL (Тигиль), OSS, TL1), расположенных почти на прямой линии, возможно появление двух практически равнозначных решений при расчете гипоцентрии (рис. 4). Добавление в обработку данных станций PAL и KMSK делало решение единственным, и в случае корректного определения первого вступления Р-волн оно попадало на северо-западный край зоны активизации, что совпадало с результатами поляризационного анализа записей на станциях OSS и TL1. Но характерной особенностью сейсмической записи афтершоков на станциях PAL и KMSK является маленькая амплитуда Р-волн, первое вступление которых неуверенно выделялось на фоне шума, особенно для более слабых событий. Неправильная идентификация волн при снятии вступлений явилась еще одной причиной появления ошибочных решений при оперативной обработке некоторых афтершоков Ильпырского землетрясения. В результате афтершоки очертили протяженную линейную область, что является артефактом.

Была проведена повторная обработка (в некоторых случаях переопределение фаз) записей ~65% афтершоков Ильпырского землетрясения (~100 событий), а также пересчет их гипоцентров. Результаты для землетрясений представительного класса $K_s \geq 8.7$ проиллюстрированы на (рис. 1б). Облако эпицентров афтершоков оконтурено эллипсом рассеяния, содержащим 90% афтершоков, что позволяет формально оценить размер очага Ильпырского землетрясения: длина ~60 км, ширина ~15 км. Это гораздо меньше, чем при оперативной обработке, но, тем не менее, параметры очаговой области остаются явно завышенными для землетрясения с $M_w = 5.8$. Что является следствием неточности гипоцентрии из-за недостаточного количества и особенностей расположения сейсмических станций в этом районе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

13 марта 2013 г. произошло редкое для севера Камчатки ощутимое землетрясение с магнитудой $M_L = 6.2$, $M_w = 5.8$ (Ильпырское землетрясение). Это первое инструментально зарегистрированное столь представительное сейсмическое событие с механизмом, соответствующим северо-восточному сжатию, на предполагаемой границе Охотской и Северо-Американской литосферных плит, пересекающей Камчатский перешеек.

Согласно оперативному каталогу это землетрясение вызвало активизацию линейной пространственной области, существенно превышающей по своим размерам типичную афтершоковую зону для землетрясений с магнитудой $M \sim 6$.

Анализ сейсмологического материала показал, что выявленная в 2013 г. при оперативной обработке линейная структура эпицентров в Карагинском заливе является артефактом. Основной причиной этого стало неудачное линейное расположение ближайших сейсмостанций, относительно афтершоковой области, что обусловило неоднозначность определения координат землетрясений и их значительный пространственный разброс.

В результате проведения повторной обработки и перерасчетов, размеры афтершоковой области Ильпырского землетрясения существенно уменьшились. При этом ориентация облака афтершоков осталась прежней.

Проведенная работа позволила развеять опасения, связанные с появившимися после Ильпырского землетрясения предположениями, что наблюдается активизация разломной структуры, размеры которой соответствуют очагу землетрясения с магнитудой $M \sim 7.5$. Выход этой зоны активизации в Карагинский залив предполагал и угрозу появления цунами в случае землетрясения такой магнитуды. Таким образом, был исключен фактор тревоги развивающегося сильного землетрясения в районе Карагинского залива.

Проведенное исследование показало успешное применение поляризационного анализа в спорной ситуации, связанной с выявлением ошибок определения координат землетрясений. Этот опыт может быть полезен при обработке землетрясений, происходящих на окраинах наблюдательных сетей при критических параметрах их разрешающей способности.

Авторы выражают благодарность А.В. Ландеру за полезное обсуждение вопросов, связанных с Ильпырским землетрясением, на всех этапах представленной работы.

Список литературы

- Викулин А.В.* Природный риск Северной Камчатки // Тихоокеанская геология. 1998. Т. 17. № 2. С. 85-92.
- Гусев А.А.* Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. 1979. № 1. С. 74-81.
- Дрознин Д.В., Дрознина С.Я.* Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 3. С. 22-34.
- Ежов Б.В.* Геоморфоструктурное развитие Курило-Камчатской секции Тихоокеанского подвижного пояса. Владивосток: изд-во ДВНЦ АН СССР, 1983. 142 с.
- Ландер А.В., Бучкин Б.Г., Дрознин Д.В. и др.* Тектоническая позиция и очаговые параме-

- тры Хаилинского (Корякского) землетрясения 8 марта 1991 г.: существует ли плита Берингия? // Вычислительная сейсмология. 1994. Вып. 26. С. 103-122.
- Ландер А.В., Левина В.И., Иванова Е.И.* Сейсмическая история Корякского нагорья и афтершоковый процесс Олюторского землетрясения 20(21) апреля 2006 г. $M_w = 7.6$ // Вулканология и сейсмология. 2010. № 2. С. 16-30.
- Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В. и др.* Сейсмичность Камчатского региона 1962-2011 гг. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 41-64.
- Мелекесцев И.В., Курбатов А.В.* Частота крупнейших палеосейсмических событий на северо-западном побережье и в Командорской котловине Берингова моря в позднем плейстоцене-голоцене // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 3-11.
- Салтыков В.А.* Необычная сейсмическая активизация в Карагинском заливе (март – сентябрь 2013 г.) // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября - 5 октября 2013 г. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 195-199.
- Сильные камчатские землетрясения 2013 г. Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2014. 400 с.
- Тимощев В.Ю., Ардюков Д.Г., Соловьев В.М. и др.* Межплитные границы Дальневосточного региона России по результатам GPS измерений, сейсморазведочных и сейсмологических данных // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 4. С. 376-391.
- Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А. и др.* Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 18-40.
- Яроцкий Г.П.* Поперечные дислокации активных окраин континентов Тихоокеанского рудного пояса. Петропавловск-Камчатский: изд-во КамГУ им. Витуса Беринга, 2008. 307 с.
- Mackey Kevin G., Kazuya Fujita, Larissa V. Gunbina et al.* Seismicity of the Bering Strait region: Evidence for a Bering block // Geology. 1997. V. 25. № 11. P. 979-982.
- Donald L. Wells, Kevin J. Coppersmith.* New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bulletin of the Seismological Society of America. 1994. V. 84. № 4. P. 974-1002.

THE MARCH 13, 2013 ILPYRSKOYE EARTHQUAKE $M_w = 5.8$ (THE NORTHERN KAMCHATKA): ABNORMAL LENGTH OF FOCAL ZONE AS AN ARTIFACT

V.A. Saltykov, S.Ya. Droznina

*Kamchatka Branch, Geophysical Survey, the Russian Academy of Sciences
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006; e-mail: salt@emsd.ru*

The article describes the sequence of aftershocks of the March 13, 2013 Ilpyrskoye earthquake, $M_L = 6.2$, $M_w = 5.8$ in the region of the Karaginsky Gulf (Northern Kamchatka). The unusual features of the aftershock sequence (the linearity of aftershock distribution and large size (~150 km) of this group of earthquakes) were revealed using primary processing. The analysis of seismic data and recalculation of hypocenters allows qualifying these anomalies as an artifact.

Keywords: earthquake, aftershock, hypocenter, linear structure, polarization analysis, artifact.