

УДК 550.348. (571.56)

Афтершоки Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения 14 февраля 2013 г. с $M_w=6.7$ (северо-восток Якутии)

© 2020 г. С.В. Шибаетов¹, К.Д. Мяки², Б.М. Козьмин^{1,3}, А.Ф. Петров¹,
С.В. Петрунин¹, Д.М. Пересыпкин¹, Н.Н. Старкова¹, **К.В. Тимиршин¹**

¹ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск, Россия; ²Университет штата Мичиган, Восточный Лансинг, США;
³ИГАБМ СО РАН, г. Якутск, Россия

Аннотация. Представлены особенности развития сейсмостектонического процесса продолжительной серии афтершоков сильного 9-балльного Илин-Тасского землетрясения 2013 г. с $M_w=6.7$. Для их регистрации в ближней к эпицентру зоне была организована совместная российско-американская экспедиция с участием сотрудников Якутского филиала (ЯФ) ФИЦ ЕГС РАН и Университета штата Мичиган (США). Ими установлены четыре полевые цифровые станции, которые вместе с четырьмя стационарными станциями Якутского филиала фиксировали афтершоки с $K_p \geq 6-7$ ($M_s=1-2$). Работа цифровых приборов с использованием солнечных батарей показала их эффективность в экстремальных условиях севера. В течение года было зарегистрировано свыше 4 тыс. афтершоков. Максимум афтершоковой деятельности пришёлся на февраль–май 2013 г., когда произошло само землетрясение и почти все сильные повторные толчки. Большинство из них возникло на глубине 9–12 км вблизи очага главного события. Область афтершоков локализована в зоне влияния Илин-Тасского разлома на площади около 700 км². Параметры фокальных механизмов (бюллетень ISC) показали, что подвижки в очагах афтершоков в основном соответствовали надвигам, как и движения в очаге главного толчка, приуроченного к региональному Илин-Тасскому разлому. Землетрясение 2013 г. и его афтершоки подтверждают общую картину сжатия земной коры в Арктико-Азиатском сейсмическом поясе на северо-востоке Азиатского континента.

Ключевые слова: землетрясение, афтершок, региональный разлом Илин-Тас, глубина гипоцентра, фокальный механизм.

Для цитирования: Шибаетов С.В., Мяки К.Д., Козьмин Б.М., Петров А.Ф., Старкова Н.Н., Петрунин С.В., Пересыпкин Д.М., Тимиршин К.В. Афтершоки Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения 14 февраля 2013 г. с $M_w=6.7$ (северо-восток Якутии) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 66–75. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.06>

Введение

После Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения, которое произошло 14 февраля 2013 г. в 13^h13^m с $M_w(GCMT)=6.7$, наблюдалась продолжительная серия повторных толчков, которые регистрировались в течение всего года [Шибаетов и др., 2020]. Вместе с тем, существовавшая здесь на момент землетрясения сеть стационарных сейсмических станций Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН располагалась на значительных (125–348 км) расстояниях от эпицентра. Поэтому для детального слежения за проявлениями главного события и его афтершоков, а также для изучения сейсмостектонической обстановки потребовались дополнительные наблюдения в ближней зоне. С этой целью была организо-

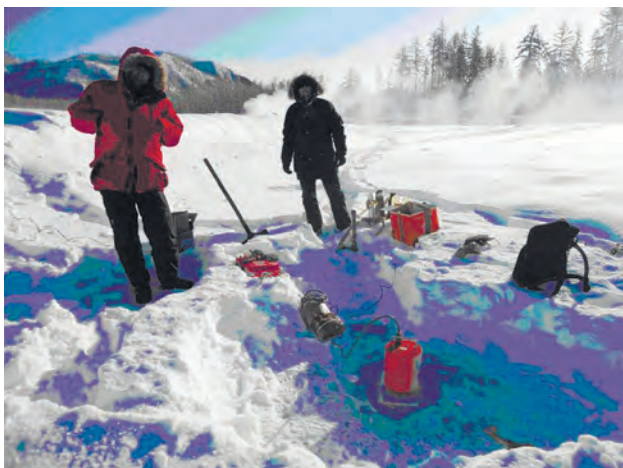
вана российско-американская полевая экспедиция, которая совместными усилиями сторон дала возможность собрать аппаратуру и необходимое снаряжение. В её работе приняли участие сотрудники Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН и доцент Университета штата Мичиган (США) К.Д. Мяки.

Целью данной статьи является анализ развития сейсмостектонических процессов на примере афтершоковых последовательностей при сильных землетрясениях в зонах активных региональных разломов, таких как Илин-Тасский дизъюнктив, в арктических районах Якутии, что позволяет объяснить природу местной сейсмичности, оценить сейсмический потенциал тектонических структур и уточнить действующую карту сейсмического районирования.

Полевые наблюдения и аппаратное обеспечение

Во время полевых работ была испытана цифровая сейсмическая аппаратура с использованием нетрадиционных источников питания в виде солнечных батарей для компьютерных устройств в условиях суровой якутской зимы при внешней температуре ниже -50°C . Для утепления приборов использовались специальные чехлы из пенофола. Они надевались на сейсмометр, регистратор и аккумуляторы, а сверху ещё укрывались кожухами. Затем всё засыпалось толстым (до 1–1.5 м) слоем снега. Такое «снежное одеяло» позволяло только за счёт аккумуляторного питания поддерживать внутри температуру до -4 – 5°C . Снаружи оставалась лишь солнечная батарея, подзаряжающая аккумуляторы. Как показал эксперимент, несмотря на короткий световой день и частые туманы, приборы работали в штатном режиме, что подтверждает возможность их применения даже в форс-мажорных обстоятельствах и экстремальных условиях севера. На рис. 1 показана установка такой аппаратуры на полевой станции.

Всего в районе исследований в марте 2013 г. были открыты четыре временные полевые станции. Две из них оборудованы в ближайших к эпицентру селениях: Сяганнах (станция BG1, $\Delta=95$ км от основного эпицентра) и Куберганя (BG2, $\Delta=80$ км). Остальные пункты регистрации (BG3, $\Delta=20$ км; BG4, $\Delta=15$ км) располагались на левом берегу р. Индигирки рядом с зоной афтершоков. При этом сейсмометры из-за отсутствия фундаментов устанавливались на лёд промёрзших до дна мелких притоков р. Индигирки (рис. 1). Сеть названных пунктов наблюдений представлена на рис. 2.



а



б

Рис. 1. Установка цифровой сейсмостанции BG4 на промёрзшем до дна ручье, впадающем в реку Индигирку вблизи зоны афтершоков:

- а – начало установки, на переднем плане размещён сейсмометр на керамической плитке, примороженной ко льду этого притока;
- б – завершение установки, для сохранения рабочего температурного режима приборы покрыты плотным метровым слоем снега (фото К.Д. Мяки)



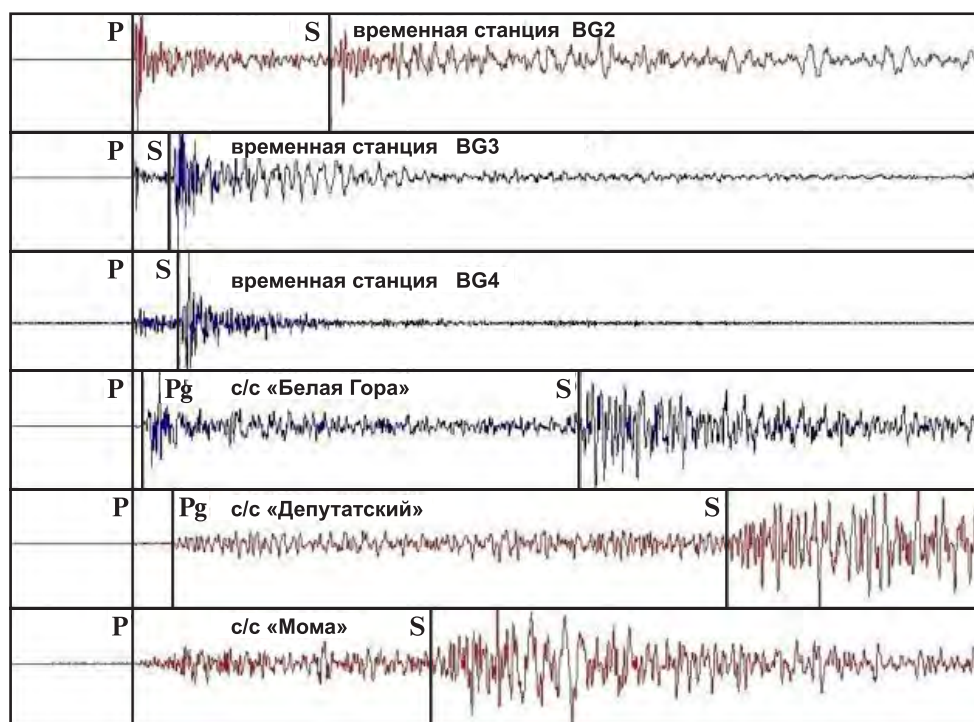
Рис. 2. Сеть стационарных и полевых цифровых сейсмических станций по наблюдению за афтершоками Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения в марте 2013 г.

- 1 – инструментальный эпицентр; 2 – стационарная станция; 3 – полевая станция

Указанная система регистрации функционировала с начала марта до середины апреля 2013 г., после чего три станции (BG1, BG3 и BG4) были закрыты. Работу продолжила лишь одна станция в селе Куберганя, но уже на постоянной основе. Параметры сейсмической аппаратуры, установленной на полевых пунктах наблюдений, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Аппаратурные данные полевых цифровых сейсмических станций

№	Название станции, код, и координаты	Тип сейсмометра и АЦП	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность велосиграфа, отсч/м/с
1	Сыганнах BG1 68.372°N 143.634°E	СМ-3КВ+ Байкал-112	SH (NZE)	0.5–20	100	24	$1.5 \cdot 10^{11}$
2	Куберганя BG2 67.772°N 144.483°E	СМG-ESPC+ CD-24 (GURALP)	BH (NZE) HH (NZE)	0.03–50 0.03–50	20 100	24 24	$1.01 \cdot 10^9$ $1.01 \cdot 10^9$
3	BG3 67.539°N 142.990°E	KS-2000+ Байкал-8	BH (NZE)	0.01–50	100	24	$7.79 \cdot 10^9$
4	BG4 67.458°N 142.529°E	KS-2000+ Байкал-8	BH (NZE)	0.01–50	100	24	$7.79 \cdot 10^9$

**Рис. 3.** Цифровая сейсмограмма афтершока с $K_p=11.4$, зафиксированного 14 марта 2013 г. в 06^h14^m на стационарных и полевых пунктах наблюдений [Пересыткин и др., 2019]**Таблица 2.** Распределение числа афтершоков в течение 2013 г.

Месяц	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Итого
Число событий	1812	884	368	252	182	164	129	138	128	144	134	4335

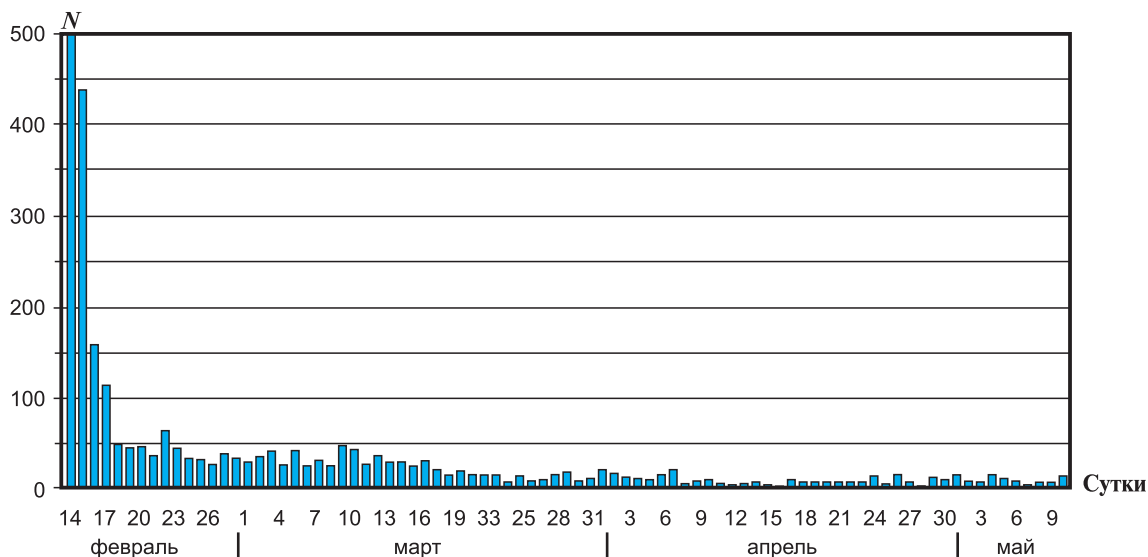


Рис. 4. Изменение во времени суточного числа N повторных толчков Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения в феврале–мае 2013 г.

Афтершоковая деятельность

Представленная сеть из четырёх автоматических сейсмических станций позволила регистрировать афтершоки с энергетическим классом, начиная с $K_p \geq 6-7$, но в каталог землетрясений за 2013 г., опубликованный в [Шибеев и др., 2019], включены лишь наиболее сильные афтершоки с $K_p \geq 67.6$. Типовая запись афтершока полевыми станциями в ближней зоне ($\Delta=15-20$ км) и стационарными станциями на удалении ($\Delta \geq 100$ км) приведена на рис. 3.

Обработка и интерпретация полученной цифровой информации показала, что за главным толчком последовала длительная серия афтершоков. Всего были определены параметры свыше 4 тыс. повторных толчков. Их распределение во времени дано в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что сейсмический процесс в очаге развивался скоротечно. Максимум выделившейся сейсмической энергии ($\Sigma E = 1.67 \cdot 10^{15}$ Дж) пришёлся на период с февраля по май 2013 г., когда произошли главный толчок и почти все сильные афтершоки (рис. 4). В течение этого периода было зарегистрировано наибольшее число землетрясений (более 3.3 тыс.) – 76% от всего их количества за год. В июне–декабре они распределились более равномерно – по 130–180 событий в месяц. Следует отметить, что сильные афтершоки с $K_p=12-14$ ($m_b=4.4-5.4$), интенсивность сотрясений от которых в эпицентре могла достигать $I_0=5-7$ баллов по шкале MSK-64 [Медведев и др., 1965], ощу-

щались в близких сёлах Куберганя, Сыганнах и Белая гора с $I_i=4-5$ баллов и сопровождались гулом.

В первые три дня (14–16 февраля) после основного события отмечено более 1 тыс. подземных толчков (до 300 в сутки) или до 10–15 сотрясений в час. Во второй половине марта частота их появления начала спадать, хотя и здесь она оставалась ещё относительно высокой, о чём свидетельствует рис. 5.

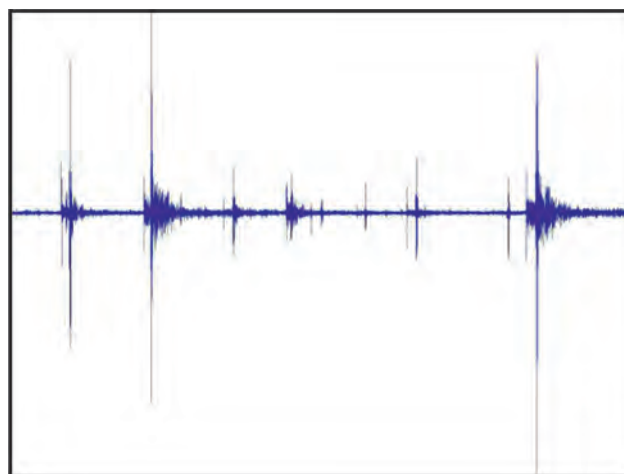


Рис. 5. Интенсивность сейсмического процесса в течение 2 мин регистрации микроафтершоков с $K_p=3-6$ Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения на ближайшей к эпицентру ($\Delta=10-15$ км) полевой станции BG3 спустя месяц после главного толчка

Рассмотрим распределение сейсмических событий в пространстве во взаимосвязи со структурно-тектоническими элементами территории, для чего используем геологическую карту масштаба 1:500 000 (лист G 54) [Геологическая карта], куда вынесены эпицентры главного толчка и его афтершоков (рис. 6). Очевидно, что вся сейсмоактивная область оказалась приуроченной к зоне влияния крупного регионального Илин-Тасского разлома, заложившегося ещё в юрском и меловом периодах [Гусев, 1979; Имаева и др., 2009]. Эпицентральное «поле» расположилось на северо-западном окончании этого тектонического нарушения в предгорьях кряжа Андрей-Тас. Эпицентры повторных толчков образовали полосу шириной до ~17 км при длине около 40 км, вытянутую в северо-западном направлении вдоль границы между Индигиро-Зырянской впадиной и поднятиями Момского хребта и кряжа Андрей-Тас. Общая площадь области афтершоков составила почти 700 км². Повторные толчки заняли территорию между рекой Индигиркой и её левым притоком Селенняхом и фиксировались также на правом

берегу Индигирки. Размеры области повторных толчков соответствуют «подновлённому» участку данного разлома, где также преимущественно развиты юрские и меловые (мезозойские) отложения. Именно на контакт названных пород и пришёл очаг основного события. Этот дизъюнктив является крупной фронтальной границей, по которой древние толщи юры и мела Момского поднятия взброшены и надвинуты на молодые кайнозойские образования Индигиро-Зырянской впадины. Граница имеет яркое геоморфологическое выражение, за ней горы «встают стеной» [Гайдук, Прокотьев, 1999].

Глубина очага

Для анализа глубинных особенностей развития сейсмотектонических процессов во времени воспользуемся расчётными данными по глубине залегания гипоцентров афтершоковой последовательности. За февраль–май 2013 г. было выполнено в общей сложности 781 определение глубины (рис. 7). Глубина очага и точность её определения находились по программе WSG

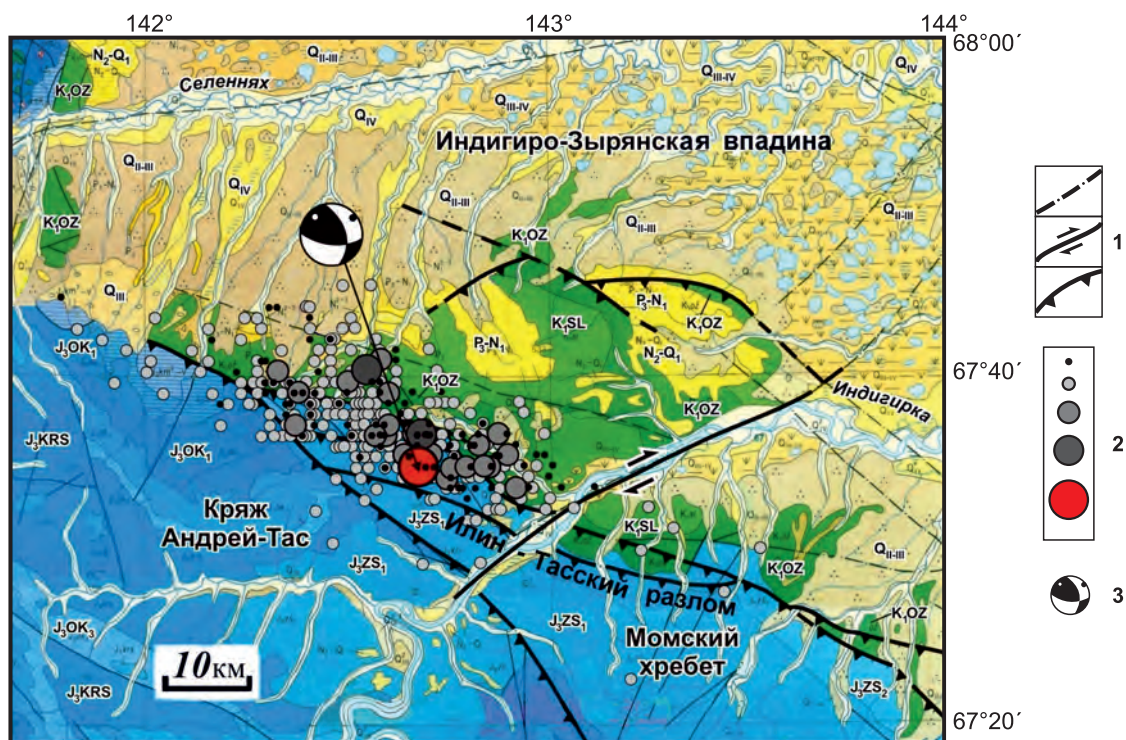


Рис. 6. Карта эпицентров Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения 2013 г. и его повторных толчков.

1 – разломы: предполагаемые, сдвиги и надвиги; 2 – афтершоки с энергетическим классом сверху вниз, соответственно: $K_p \geq 7$, $K_p = 8-9$, $K_p = 10-12$, $K_p = 13-14$ и $K_p = 15$; 3 – фокальный механизм землетрясения. Красным цветом помечен эпицентр главного толчка. Синим тоном показаны древние породы мезозойского возраста, принадлежащие Момскому горному поднятию, светло-коричневым и жёлтым – молодые осадочные толщи кайнозоя, широко распространённые в Индигиро-Зырянской впадине [Имаева и др., 2016]

[Красилов и др., 2006]. Весь массив данных был получен, главным образом, за время работы близких полевых пунктов регистрации (март–апрель 2013 г.), когда повторные толчки происходили непосредственно под станциями или на расстоянии до 25–30 км от них. Это позволило получить для 70% событий минимальный разброс в определении глубин $\Delta h = \pm(1-5)$ км. После закрытия полевых станций, когда расчёт глубины стал производиться по записям действующей стационарной сети, точность определений ухудшилась в отдельных случаях вплоть до $\Delta h \approx h$ [Шубаев и др., 2019]. Сведения по глубине также сопоставлялись и дополнялись данными из бюллетеня ISC [International ...] и Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [Сейсмологический ...].

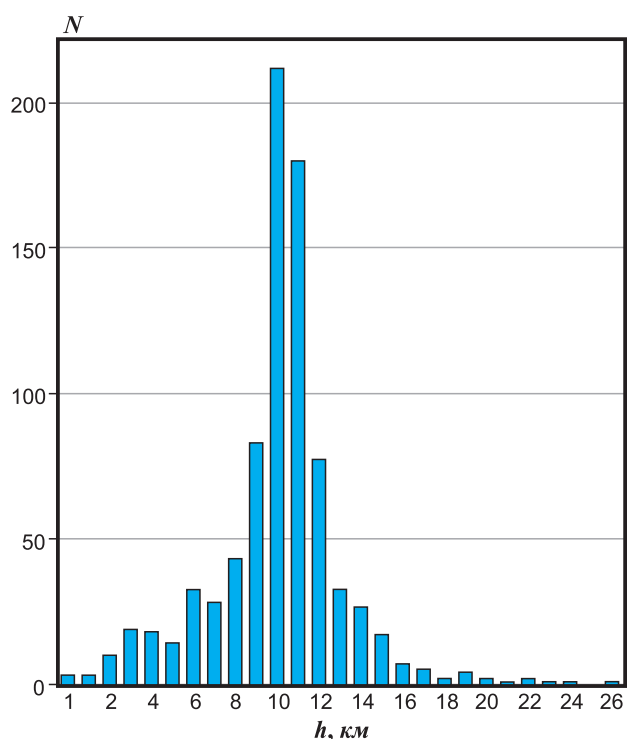


Рис. 7. Распределение глубин афтершоков Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения по данным наблюдений ЯФ ФИЦ ЕГС РАН за февраль–март 2013 г.

N – число событий, h – глубина повторных толчков в км

Из диаграммы распределения глубин (рис. 7) следует, что афтершоки возникали как вблизи земной поверхности ($h=0-5$ км), так и почти до низов земной коры ($h=22-26$ км), мощность которой достигает здесь 35–40 км [Mackey et al., 1998]. При этом чаще всего очаги повторных толчков реализовывались в среднем слое 9–12 км, куда тяготеет также гипоцентр главного толчка с $h=14$ км [Шубаев и др., 2019]. Так,

в первые два месяца вторичные события регистрировались как в среднем слое, так и в верхней части коры, где наблюдалось их «всплывание» к земной поверхности. Глубокофокусные события стали появляться вблизи границы Моховичича позднее, лишь в апреле–мае. Сначала как бы «прорабатывалась» верхняя часть земной коры, и только позднее активизировалась нижняя. В итоге современными активными тектоническими движениями оказалась затронута почти вся толща земной коры.

Фокальные механизмы

Ориентация тектонических напряжений в очаге Илин-Тасского землетрясения и его афтершоков определялась из диаграмм механизмов очагов главного толчка и его сильных афтершоков [Козьмин, Лукаш, 2019], построенных по методу тензора момента центраида [International ...]. Они представлены на рис. 8, а их параметры приведены в табл. 3.

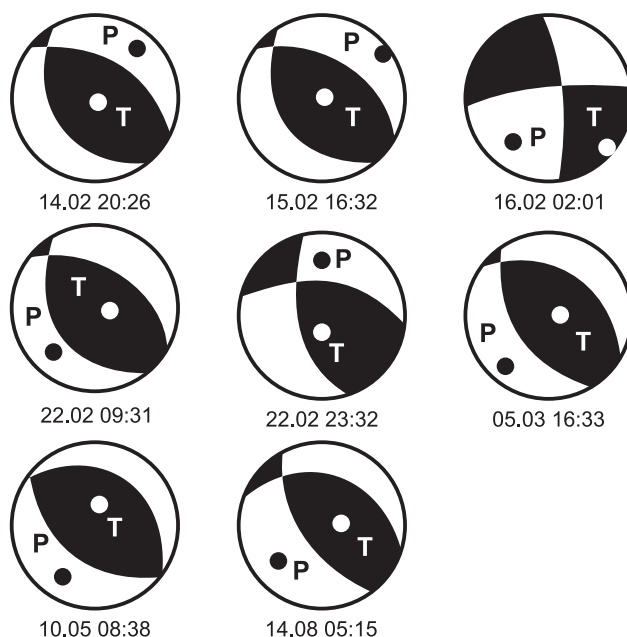


Рис. 8. Фокальные механизмы афтершоков (из табл. 3) Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения 2013 г. по данным агентства GCMT из [International ...]

Структура очага основного толчка по данным его фокального механизма была рассмотрена ранее в статье [Шубаев и др., 2020], где показано, что обе плоскости разрыва имели северо-западное простирание ($STK_2=324^\circ$ и $STK_1=118^\circ$) и были наклонены: плоскость NP_2 – к юго-западу (угол $DP_2=43^\circ$), а NP_1 – к северо-востоку (угол $DP_1=50^\circ$). Кинематический тип подвижки

Таблица 3. Параметры механизмов очагов афтершоков Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения 14 февраля 2013 г. по данным агентства GCMT из [International ...]

Дата, дд.мм	t_0 , чч:мм:сс.с	h , км	Магнитуды			Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
			M_S	M_s	M_w	T		N		P		$NP1$			$NP2$		
						PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
14.02	20:26:14.1	21.6	4.3	4.1	4.9	74	187	8	308	13	40	142	32	106	303	59	80
15.02	16:32:55.7	19.2	4.2	3.9	4.7	87	148	3	314	1	44	138	44	95	311	44	86
16.02	02:01:16.3	23.4	4.2	4.2	4.8	1	135	77	40	13	225	1	81	-170	269	80	-9
22.02	09:31:55.6	19.5	4.0	4.2	4.9	72	95	14	318	12	225	146	59	106	297	35	66
22.02	23:32:00.4	16.9	3.8	4.1	4.8	39	320	48	117	11	221	96	72	38	352	54	158
05.03	08:33:54.2	12.0	4.8	4.8	5.2	73	354	12	129	12	221	137	53	100	301	38	77
10.05	08:38:28.1	20.8	4.9	4.7	5.2	76	38	00	307	14	217	127	59	90	307	31	90
14.08	05:15:50.4	18.0	4.2	4.0	4.8	60	97	21	326	21	228	155	69	113	286	31	45

в очаге землетрясения соответствовал надвигу по обеим плоскостям сместителей. Сравнивая эти параметры с элементами залегания Илин-Тасского разлома по геолого-структурным сведениям [Гусев, 1979; Имаев и др., 2000] (простираение – 310° , падение его плоскости на юго-запад под углом в 60°), за рабочую в очаге была принята плоскость $NP2$ (с простираением $STK_2=324^\circ$) с наклоном на юго-запад под углом $DP_2=43^\circ$. Это поддерживается пространственной ориентацией зоны афтершоков, вытянутой в северо-западном направлении (азимут 310°). Идентичный тип смещений в гипоцентрах повторных толчков отмечен для событий, произошедших 14–15 и 22 февраля в 09^h31^m , а также 5 марта, 10 мая и 14 августа, которые повторяют тип подвижки (надвиг) в очаге главного толчка. Исключение составляют два случая: 16 и 22 февраля в 23^h32^m , где появляются левобокковые перемещения (рис. 8).

Для более наглядного представления о системе главных тектонических напряжений, выявленных в очагах обсуждаемой серии повторных толчков, была составлена сводная диаграмма (рис. 9) расположения векторов сжатия и растяжения по азимутам и их углам наклона к горизонту на основе данных из табл. 3.

Наглядно видно, что наиболее устойчивая ориентация (разброс меньше 5°) сохраняется для напряжения горизонтального сжатия P (углы наклона к горизонту в интервале $0-26^\circ$), действовавшего по направлению с северо-востока на юго-запад (средний азимут 42°). В то же время напряжение растяжения T – субвертикально (углы с горизонтом $45-90^\circ$). Оно ориентировано в направлении с юго-востока на северо-запад (средний азимут 121°) и менее стабильно (широкий разброс до 60°).

Таким образом, характер сейсмотектонических процессов в районе Илин-Тасского

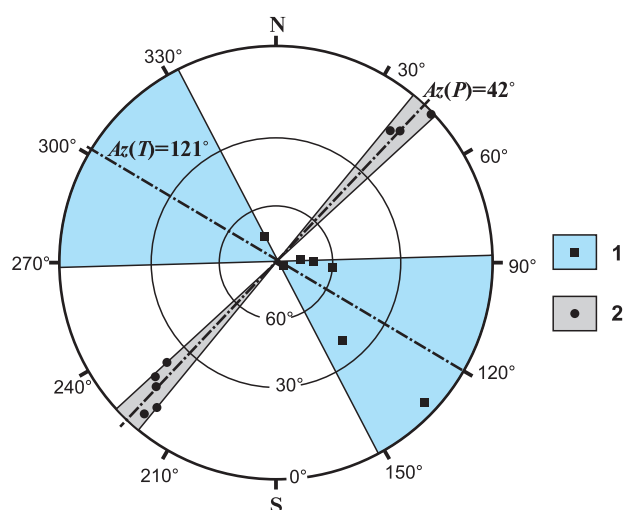


Рис. 9. Главные тектонические напряжения в очагах основного землетрясения и его сильных афтершоков по данным параметров фокальных механизмов.

1 – растяжение «Т» (квадрат); 2 – сжатие «Р» (точка) по сведениям из рис. 8 и табл. 3. Штрихпунктирная линия указывает средние азимуты тренда действия векторов P и T

(Абыйского) землетрясения 2013 г. и его афтершоков подтверждает общую картину напряжённого состояния земной коры, существующую в Арктико-Азиатском сейсмическом поясе, обусловленную сжатием, вызванным коллизией Евразийской и Североамериканской литосферных плит в северо-восточном направлении [Шибаетов и др., 2020; Имаева и др., 2009; Имаев и др., 2000; Burk et al., 2013]. Совокупность полученных данных позволяет уверенно связать возникновение этого события с современными тектоническими движениями по крупному Илин-Тасскому региональному разлому. Здесь за последние полтора столетия регистрировались лишь местные слабые землетрясения, хотя события, подобные Илин-Тасскому (Абыйскому)

землетрясению, исходя из распространения разновозрастных складчатых деформаций, могли происходить ранее в данном месте многократно [Гусев, 1979; Гайдук, Прокопьев, 1999].

Сравнение регионального поля тектонических напряжений в мезозое и кайнозое, действовавших на рассматриваемой территории и реконструированных по геолого-структурным изысканиям [Гусев, 1979], с полем напряжений, выявленным в настоящее время по сейсмологическим данным, указывает на их хорошее согласие. Это может свидетельствовать о том, что древняя (MZ-KZ) система напряжений наследуется современной. Результаты инструментальных наблюдений позволяют уточнить морфотектоническую характеристику Илин-Тасского разлома. Так, впервые появилась возможность утверждать, что подвижки по этому дизъюнктиву обусловлены не только надвигами, но имеют и левобокую составляющую. Это поддерживают два решения фокальных механизмов афтершоков 16 и 22 февраля 2013 года. Другой структурный элемент разлома — ширина его зоны влияния — может аппроксимироваться с шириной области афтершоков (около 20 км). Не менее важно оценить глубину проникновения разломов в земную кору. Расположения гипоцентров повторных событий в земной коре указывают на глубину залегания нижней кромки рабочей плоскости упомянутого разлома, которая прослеживается до 26 км, но не достигает подошвы коры [Mackey et al., 1998]. Выявленные сеймотектонические связи дают возможность детально рассмотреть природу местной сейсмичности во взаимосвязи со структурными особенностями территории и уточнить действующую карту сейсмического районирования.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-01304-20.

Литература

Гайдук В.В., Прокопьев А.В. Методы изучения складчато-надвиговых поясов. — Новосибирск: Наука, 1999. — 160 с.

Геологическая карта. — М.: 1:500 000. — Лист G 54.

Гусев Г.С. Складчатые структуры и разломы Верхояно-Колымской системы мезозой. — М.: Наука, 1979. — 208 с.

Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сеймотектоника Якутии. — М.: ГЕОС, 2000. — 227 с.

Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С. Сеймотектоника северо-восточного сегмента зоны хр. Черского // Отечественная геология. — 2009. — № 5. — С. 94–100.

Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С., Маккей К.Г. Сеймотектонические исследования плейстоценовой области Илин-Тасского землетрясения с $M_S=6.9$ (северо-восток Якутии) // Физика Земли. — 2016. — № 6. — С. 39–53.

Козьмин Б.М., Лукаш Н.А. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Якутии за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. — Вып. 22 (2013 г.). — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. — Приложение на CD-ROM.

Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы. — Обнинск: ГС РАН, 2006. — С. 77–83.

Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. — М.: МГК АН СССР, 1965. — 11 с.

Пересыткин Д.М., Шибеев С.В., Козьмин Б.М. (отв. сост.). Сейсмические станции Якутии в 2013 г. (код сети YARS) // Землетрясения Северной Евразии. — Вып. 22 (2013 г.). — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. — Приложение на CD-ROM.

Сейсмологический бюллетень (ежедекадный), 2013 [Электронный ресурс]. — URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2013. — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019.

Шибеев С.В., Козьмин Б.М. (отв. сост.), Старкова Н.Н., Каратаева А.С., Хастаева Е.В., Москаленко Т.П. (сост.). Каталог землетрясений и взрывов Якутии с $K_p \geq 7.6$ за 2013 г. // Землетрясения Северной Евразии. — Вып. 22 (2013 г.). — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. — Приложение на CD-ROM.

Шибеев С.В., Козьмин Б.М., Имаева Л.П., Имаев В.С., Петров А.Ф., Старкова Н.Н. Илин-Тасское (Абыйское) землетрясение 14 февраля 2013 г. с $M_w=6.7$ (северо-восток Якутии) // Российский сейсмологический журнал. — 2020. — Т. 2, № 1. — С. 92–102. doi: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.09>

Burk D.R., Johnson B.G., Fujita K., Mackey K.G. Active deformation within North America-Eurasia boundary zone in Northeast Asia: evidence from aftershocks of the February 14, 2013, Yakutia earthquake and geomorphology // Abstract. Transactions of the American Geophysical Union (Eos). — 2013. — V. 83 (47). — Supplement, P. F1241.

International Seismological Centre (ISC). On-line Bulletin [Site]. — URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>. — Thatcham, United Kingdom: ISC, 2015.

Mackey K.G., Fujita K., Ruff L.J. Crustal thickness of Northeast Russia // Tectonophysics. — 1998. — V. 284. — P. 283–297.

Сведения об авторах

Шибает Сергей Валентинович, директор Якутского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ЯФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Якутск, Россия. E-mail: shibaev@emsd.ru

Мяки Кевин Джордж, PhD, доцент Университета штата Мичиган, г. Восточный Лансинг, США. E-mail: mackeyke@msu.edu

Козьмин Борис Михайлович, канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН); ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск, Россия. E-mail: b.m.kozmin@diamond.ysn.ru

Петров Анатолий Фирсович, канд. геол.-мин. наук, гл. спец. ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск, Россия. E-mail: afpetrov80@yandex.ru

Петрунин Сергей Владимирович, зав. сект. ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск, Россия. E-mail: aldan@ya.ru

Пересыпкин Дмитрий Михайлович, зав. сект. ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск, Россия. E-mail: dimaperes@yandex.ru

Старкова Нюргустана Николаевна, зав. сект. ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск, Россия. E-mail: stark_nn@mail.ru

Aftershocks of the February 14, 2013 Ilin-Tas (Abyi) earthquake (Mw=6.7), Northeast Yakutia

© 2020 S.V. Shibaev¹, K.G. Mackey², B.M. Koz'min^{1,3}, A.F. Petrov¹, S.V. Petrunin¹, D.M. Peresykin¹, N.N. Starkova¹, **K.V. Timirshin¹**

¹YB GS RAS, Yakutsk, Russia; ²Michigan State University, East Lansing, USA;

³DPMGI SB RAS, Yakutsk, Russia

Abstract The features of the development of the seismotectonic process of a long series of aftershocks of the strong Ilin-Tas earthquake in 2013 with Mw=6.7 are presenting. For their registration in the closest to the epicenter zone, a joint Russian-American expedition with the participation of employees of the Yakutsk Branch of the Federal Research Center of the Unified Geophysical Service, RAS and the Michigan University (USA) was organized. As a result, most of the aftershocks with $K_R \geq 6-7$ ($M_S=1-2$) were registered by four field digital stations and four stationary stations of the Yakutsk Branch. The operation of digital stations using solar panels has shown their effectiveness in the extreme conditions of the north. During the year, over 4 thousand aftershocks were recording. The maximum aftershock activity occurred in February-May 2013 when the earthquake itself and almost all strong aftershocks occurred. Most of them arose at a depth of 9-12 km near the focus of the main event. The aftershocks area was localized in the zone of influence of the Ilin-Tas fault on an area of about 700 sq. km. The parameters of the focal mechanisms (ISC Bulletin) showed that the movements in the focus of the aftershocks are thrust and its coincided with the movements in the center of the mainshock. This event and its aftershocks confirm the general picture of the Earth's crust compression in the Arctic-Asian seismic belt in the northeast of the Asian continent.

Keywords earthquake, aftershock, regional Ilin-Tas fault, hypocenter depth, focal mechanism, Arctic-Asian seismic belt.

For citation Shibaev, S.V., Mackey, K.G., Koz'min, B.M., Petrov, A.F., Petrunin, S.V., Peresykin, D.M., Starkova, N.N., & Timirshin, K.V. (2020). [Aftershocks of the February 14, 2013 Ilin-Tas (Abyi) earthquake (Mw=6.7), Northeast Yakutia]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(2), 66–75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.06>

References

- Burk, D.R., Johnson, B.G., Fujita, K., & Mackey, K.G. (2013). Active deformation within North America–Eurasia boundary zone in Northeast Asia: evidence from aftershocks of the February 14, 2013, Yakutia earthquake and geomorphology. *Abstract. Transactions of the American Geophysical Union (Eos)*, 83(47), F1241.
- Gajduk, V.V., & Prokop'ev, A.V. (1999). *Metody izuchenii skladchato-nadvigovykh pojasov* [Methods for studying fold-thrust belts]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 160 p. (In Russ.).
- Geologicheskaja karta* [Geological map]. Scale: 1:500 000, sheet G 54. (In Russ.).
- GS RAS. (2019). Bulletin of Teleseismic Stations. Retrieved from ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2013/
- Gusev, G.S. (1979). *Skladchatye struktury i razlomy Verkhoyano-Kolymskoi sistemy mezozoid* [Folded structures and faults of the Verkhoyansk-Kolyma system of the Mesozoic]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 207 p. (In Russ.).
- Imaev, V.S., Imaeva, L.P., & Koz'min, B.M. (2000). *Seismotektonika Iakutii* [Seismotectonics of Yakutia]. Moscow, Russia: GEOS Publ., 227 p. (In Russ.).
- Imaeva, L.P., Koz'min, B.M., & Imaev, V.S. (2009). [Seismotectonics of the northeastern segment of the Chersky ridge zone]. *Otechestvennaia geologiya* [Domestic Geology], 5, 94-100. (In Russ.).
- Imaeva, L.P., Koz'min, B.M., Imaev, V.S., & Mackey, K.G. (2016). [Seismotectonic studies of the pleistocene region of the Ilin-Tas earthquake with MS=6.9 (Northeast Yakutia)]. *Fizika Zemli* [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], 6, 39-53. (In Russ.).
- International Seismological Centre. (2019). On-line Bulletin, Internat. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom. Retrieved from: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
- Koz'min, B.M., & Lukash, N.A. (2019). [Catalog of focal mechanisms of earthquake of Yakutia for 2013]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013). Appendix on CD-ROM. (In Russ.).
- Krasilov, S.A., Kolomiyets, M.V., & Akimov, A.P. (2006). [Organization of processing of digital seismological data using the WSG software package]. In *Materialy Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly "Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannyykh"*. [Proceedings of the International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 77-83). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Mackey, K.G., Fujita, K., & Ruff, L.J. (1998). Crustal thickness of Northeast Russia. *Tectonophysics*, 284, 283-297.
- Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaia shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
- Peresyppkin, D.M., Shibaev, S.V., & Koz'min, B.M. (2019). [Yakutia seismic stations in 2013 (YARS network code)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013). Appendix on CD-ROM. (In Russ.).
- Shibaev, S.V., Koz'min, B.M., Starkova, N.N., Karataeva, A.S., Hastaeva, E.V., & Moskalenko, T.P. (2019). [Catalog of earthquakes and explosions of Yakutia with $K_R \geq 7.6$ for 2013]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013). Appendix on CD-ROM. (In Russ.).
- Shibaev, S.V., Koz'min, B.M., Imaev, V.S., Imaeva, L.P., Petrov, A.F., & Starkova, N.N. (2020). [The February 14, 2013 Ilin-Tas (Abyi) earthquake (Mw=6.7), Northeast Yakutia]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(1), 92-102. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.09>

Information about authors

Shibaev Sergey Valentinovich, Director of the Yakutian Branch of Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences (YB GS RAS), Yakutsk, Russia. E-mail: shibaev@emsd.ysn.ru

Mackey Kevin George, PhD, Associate Professor of the Department of Geological Sciences, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA. E-mail: mackeyke@msu.edu

Koz'min Boris Michailovich, PhD, Leading Researcher of the Diamond and Precious Metal Geology Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Science (DPMGI SB RAS); YB GS RAS, Yakutsk, Russia. E-mail: b.m.kozmin@diamond.ysn.ru

Petrov Anatoliy Firsovich, PhD, Chief Specialist of the YB GS RAS, Yakutsk, Russia. E-mail: petrov@emsd.ysn.ru

Petrinin Sergey Vladimirovich, Sector Manager of the YB GS RAS, Yakutsk, Russia. E-mail: aldan@ya.ru

Peresyppkin Dmitriy Michailovich, Sector Manager of the YB GS RAS, Yakutsk, Russia. E-mail: dimaperes@yandex.ru

Starkova Nyurgustana Nikolaevna, Sector Manager of the YB GS RAS, Yakutsk, Russia. E-mail: stark_nn@mail.ru