

УДК 550.311

Билимбаевское землетрясение 17 августа 1914 г.: параметры гипоцентра по инструментальным данным

© 2020 г. А.А. Маловичко¹, А.Н. Морозов^{1,2}, Н.В. Ваганова²,
В.Э. Асминг³, Р.А. Дягилев¹, З.А. Евтюгина³

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия; ²ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, г. Архангельск, Россия;

³КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты, Россия

Аннотация. Вычислены параметры гипоцентра Билимбаевского землетрясения, произошедшего 17 августа 1914 г., на основе всех доступных в настоящее время бюллетеней российских и зарубежных сейсмических станций с использованием архивов данных проектов ISC-GEM (International Seismological Centre—Global Earthquake Model) и EuroSeismos project, а также архива ФИЦ ЕГС РАН. Вычисление параметров гипоцентра производилось методом Generalized beamforming в усовершенствованном виде, реализованном в программе NAS (New Association System), и с использованием скоростных моделей *ak135* и региональной по Уральскому региону. Уточненный эпицентр удалён от эпицентров, определённых ранее по макросейсмическим и, отчасти, инструментальным данным, на расстояние, не превышающее 28 км. Ранее вычисленные эпицентры землетрясения находятся в области эллипса ошибок уточненного эпицентра. Указанные ранее значения глубины также лежат в интервале возможных глубин очага уточненного гипоцентра. Таким образом, все эпицентры, включая уточненный, актуальны и с равной вероятностью могут рассматриваться как истинный эпицентр землетрясения.

Ключевые слова: Билимбаевское землетрясение, параметры очага, уточнение.

Для цитирования: Маловичко А.А., Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Асминг В.Э., Дягилев Р.А., Евтюгина З.А. Билимбаевское землетрясение 17 августа 1914 г.: параметры гипоцентра по инструментальным данным // Российский сейсмологический журнал. — 2020. — Т. 2, № 1. — С. 40–47. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.04>

Введение

17 августа 1914 г. на Урале произошло одно из сильнейших землетрясений с $M=5.1$ и $I_0=6-7$ баллов, названное впоследствии Билимбаевским. Сбор макросейсмических проявлений был организован вскоре после землетрясения заведующей сейсмической станцией «Екатеринбург» З.Г. Вейс-Ксенофонтовой, но опубликованы результаты в виде статьи с анализом макросейсмических материалов только в 1940 г. [Вейс-Ксенофонтова, Попов, 1940]. Билимбаевскому землетрясению посвящено немало работ, в которых анализируются в основном макросейсмические данные и, отчасти, инструментальные [Кашубин и др., 2001; Ломакин и др., 2002; Годзиковская, 2016] (табл. 1). В работе [Маловичко, Чепкунас, 2011] проведено уточнение магнитудных оценок землетрясения, в частности, средняя величина магнитуды землетрясения, уточнённая по семи значениям M на пяти станциях, составила $M=5.1$. В исследовании [Годзиковская, 2016]

проведён критический анализ всех имеющихся сведений по этому землетрясению с определением наиболее достоверных параметров землетрясения, в частности, координаты из [Новый каталог..., 1977] были приняты как основные, а магнитуда MS была определена равной 5.0.

Это землетрясение было зарегистрировано инструментально сейсмическими станциями, функционировавшими в тот период времени в Российской империи и зарубежных странах. Ближайшая к эпицентру сейсмическая станция располагалась в г. Екатеринбурге на расстоянии до 100 км от эпицентра. Сейсмическая станция в Екатеринбурге была введена в строй в 1906 г. как станция 2-го класса в ходе реализации программы по развитию сети сейсмических станций, разработанной Постоянной Центральной сейсмической комиссией при Российской академии наук. С 1913 г. в рамках реализации программы по созданию новой сейсмической службы в Российской империи станция переоснащается сейсмической аппаратурой и сейсмографами

Таблица 1. Параметры землетрясения 17 августа 1914 г. по разным источникам

Дата, дд.мм.гггг	Время, чч.мм.сс	Гипоцентр			Магнитуда	I_0 (MSK-64)	Источник
		φ , °N	λ , °E	h , км			
17.08.1914	04:57:01	57.00	59.40	–	$M=4.5$	–	[Атлас ..., 1962]
	04:57:01	56.80	59.40	26	$MLH=5.5$ $M_{\text{макр}}=5.9$	6–7	[Новый каталог ..., 1977]
	04:57:01	56.80	59.40	26	$M=5.5$	6–7	[Кашубин и др., 2001]
	04:57:01	57.09	59.75	26	$M=5.0$	6	[Ломакин и др., 2002]
	04:57:01	56.80	59.40	–	$MS=5.0$	6	[Годзиковская, 2016]

с гальванометрической регистрацией системы Б.Б. Голицына и становится станцией 1-го класса. На станции выполнялись наблюдения за землетрясениями и их обработка по единой программе с пятью другими станциями такого же класса, развёрнутыми к тому времени в Тифлисе, Иркутске, Ташкенте, Баку и Макеевке, и Центральной сейсмической станцией в Пулково [Кирнос и др., 1961; Кашубин и др., 2001].

Проект создания новой сейсмической службы, предложенный Б.Б. Голицыным, отражал общемировую тенденцию по развитию сетей сейсмических наблюдений в разных странах [Lee et al., 1988; Schweitzer, 2007; Storchak et al., 2015]. В тот период уже функционировали как национальные, так и международные сети сейсмических станций. Обобщение бюллетеней сейсмических станций в тот период проводилось в сборниках «Shide Circulars» (1899–1912 гг.), Центральным бюро Международной сейсмологической ассоциации (ISA, 1903–1908 гг.) и Сейсмологическим комитетом Британской Ассоциации развития науки (BAAS, 1913–1917 гг.). С 1918 г. каталог, который выпускался BAAS, стал называться "International Seismological Summary" [Storchak et al., 2015].

В настоящее время, благодаря реализации научных проектов ISC-GEM (International Seismological Centre – Global Earthquake Model, <http://storing.ingv.it/bulletins/ISC-GEM/>) и EuroSeismos (ES, http://storing.ingv.it/es_web/), у исследователей появилась возможность изучать бюллетени и сейсмограммы сейсмических станций, функционировавших с начала инструментального периода. Это позволяет оценивать параметры очагов землетрясений с привлечением инструментальных данных, в то время как ещё совсем недавно параметры некоторых из них оценивались только по макросейсмическим данным, – например, исследования [Bungum et al., 2009] по уточнению параметров землетрясения в Фенноскандии 23 октября 1904 г. с $MS=5.4$

(Oslofjord Earthquake) и [Никонов, Чепкунас, 2009] по уточнению параметров Сысольского землетрясения 13 января 1939 г. на севере Европейской части России.

В период Первой мировой войны с 1914 по 1918 г. большая часть сейсмических станций перестала либо функционировать, либо оформлять и публиковать бюллетени. В результате количество станций, которые регистрировали землетрясения в тот период времени, существенно сократилось. Именно в такой период, 17 августа 1914 г., произошло Билимбаевское землетрясение, что не могло не сказаться на количестве доступных инструментальных данных. В рамках нашего исследования мы изучили все доступные бюллетени сейсмических станций, функционировавших в то время, и использовали их для уточнения параметров гипоцентра Билимбаевского землетрясения.

Характеристика исходных данных и алгоритм расчёта параметров гипоцентра

Определение параметров гипоцентра производилось методом Generalized beamforming [Kvaerna, Ringdal, 1996] в усовершенствованном виде, реализованном в программе NAS (New Association System). Программа NAS, в свою очередь, является подпрограммой системы NSDL (New System for Detection and Location), разработанной в Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН и предназначенной для организации автоматического мониторинга сейсмической активности какого-либо региона с помощью произвольной сети сейсмостанций или отдельных сейсмостанций [Федоров и др., 2018].

В программе NAS задаётся исходная точка пространства-времени – приблизительная локация сейсмического события и его примерное время. NAS производит ассоциацию и уточнение координат и времени в окрестности этой исходной точки. Программа выбирает круг большого

радиуса (в данной работе используется радиус 500 км) вокруг исходной точки. В этом круге ищется более точная локация. Круг покрывается перекрывающимися кругами меньших радиусов, формирующими сетку. Для каждого такого меньшего круга вычисляется рейтинговая функция $R(c,t)$, оценивающая гипотезу о том, что событие произошло в ячейке "с" в момент времени t . Сетка уменьшается несколько раз. Каждый раз из сетки исключается $\frac{3}{4}$ ячеек с наименьшими рейтингами, а каждая оставшаяся ячейка делится на четыре меньших. Рейтинги пересчитываются для этих уменьшенных ячеек. Такой поиск выполняется для набора фиксированных глубин (в этой работе – от 0 до 100 км с шагом 5 км). Окончательно за предварительную локацию события выбирается ячейка с максимальным рейтингом. Время t_0 , на котором рейтинговая функция достигла максимума, считается оценкой времени в очаге. Только те фазы, которые внесли ненулевые вклады в этот максимальный рейтинг, считаются ассоциированными с лоцируемым событием. Такой подход позволяет автоматически игнорировать фазы с нереалистическими (ошибочными) временами вступления. Это очень полезно при использовании времён, измеренных по старым аналоговым сейсмограммам.

На втором этапе локация уточняется с помощью минимизации невязки оценки времени в очаге. По этим, найденным таким образом, временам и их весам строится доверительная область локации (эллипс ошибок). Доверительная область вместо точки истинной локации возникает из-за того, что важные для локации величины известны неточно. Во-первых, времена приходов волн на станции измеряются с ошибками. Будем обозначать интервал этих ошибок $[-\Delta t_{\text{прихода}}, +\Delta t_{\text{прихода}}]$. Другими словами, будем считать, что ошибки измерения времён прихода с некой большой вероятностью (скажем, 95 %) лежат в этом интервале. Во-вторых, скоростная модель, которой мы пользуемся для расчёта времён пробега, также неточна. Будем считать, что если кажущаяся скорость в некотором случае согласно модели равна V , то с той же большой вероятностью (95 %) истинная кажущаяся скорость лежит в интервале $[V-\Delta V, V+\Delta V]$.

Таким образом, для расчёта доверительной области, помимо знания известных фаз и координат датчиков, необходимы оценки погрешностей скоростной модели ΔV и измерения вступлений Δt для разных типов волн. В данном исследовании значения погрешностей скоростной модели были приняты равными 0.15 км/с, а значения погрешностей измерения вступле-

ний – равными 3 с. Эффективность алгоритма расчёта параметров гипоцентра и эллипса ошибок была показана ранее в [Morozov et al., 2018] на примере локации ядерных взрывов, произведённых на ядерном полигоне «Новая Земля» и на севере Европейской части России.

При вычислении параметров гипоцентра землетрясения использовались две скоростные модели: *ak135* [Kennett et al., 1995] для сейсмических станций на телесеизмических расстояниях и региональная модель по Уральскому региону [Верхоланцев, 2011; Маловичко и др., 2011] для сейсмической станции «Екатеринбург». Вычисление параметров гипоцентра по двум моделям осуществлялось методом регионализации по И. Бондарю [Bondar, North, 1999]. Бюллетени сейсмических станций по Билимбаевскому землетрясению привлекались с использованием общедоступных архивов научных проектов ISC-GEM и ES, а также из архива Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН).

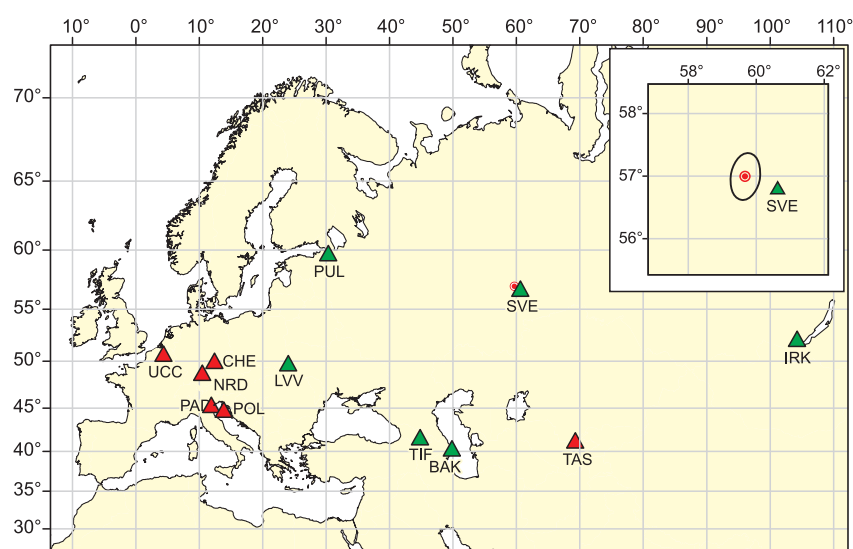
Обсуждение результатов

Времена вступлений сейсмических фаз от Билимбаевского землетрясения 1914 г. были обнаружены в бюллетенях 12 сейсмических станций (табл. 2), однако алгоритмом программы NAS для расчётов параметров гипоцентров было использовано только десять вступлений сейсмических фаз P и S по семи станциям (рис. 1, табл. 3). Вступления на других станциях были отклонены по двум причинам. Во-первых, из-за низкой чувствительности сейсмографов в первые годы инструментальных наблюдений многие из зарегистрированных вступлений являются вступлениями от поверхностных волн, поэтому не могут использоваться для локации [Bungum et al., 2009]. Во-вторых, часть времён вступлений сейсмических фаз P и S из бюллетеней сильно отличаются от теоретических времён пробега волн P и S по данным используемых годографов.

Таким образом, процедура уточнения была проведена на основе следующих параметров: $N_{\text{sta}}=7$, $N_{\text{phases}}=10$, $\text{Gap}=211^\circ$. Расстояния от эпицентров до станций варьировали от 81 до 2859 км. Площадь эллипса ошибок составила 3430 км². Размер эллипса объясняется удалённостью большинства сейсмических станций от эпицентра. Алгоритмом программы NAS интервал возможных глубин очага определён от 0 до 53 км. Параметры эпицентра вычислены при глубине очага 6 км. При этой глубине очага рейтинговая функция достигает максимального значения.

Таблица 2. Перечень сейсмических станций и времена вступлений сейсмических фаз от землетрясения 17 августа 1914 г.

Станция				Фаза	Времена вступлений, чч:мм:сс
код	название, страна	φ, °N	λ, °E		
BAK	Baku, Azerbaijan	40.37	49.82		05:00:59 05:04:17
CHE	Cheb, Czech Republic	50.08	12.38		05:11:00
IRK	Irkutsk, Russia	52.24	104.27		05:02:36 05:07:00 05:07:15
LVV	L'voy, Ukraine	49.82	24.03	P_E P_N	05:06:00 05:06:43 05:08:30 05:08:54
NRD	Nordlingen, Germany	48.85	10.48		05:10:14 05:12:54
PAD	Padua, Italy	45.41	11.89		05:10:00
POL	Pola, Croatia	44.87	13.85	P L	05:10:04 05:07:36 05:12:36
PUL	Pulkovo, Russia	59.77	30.32		05:00:32 05:01:45 05:03:13 05:04:52
SVE	Ekaterinburg, Russia	56.83	60.64		04:57:12 04:57:57 04:59:11
TAS	Tashkent, Uzbekistan	41.33	69.30		05:03:38 05:04:19 05:06:12
TIF	Tbilisi, Georgia	41.72	44.80		05:01:07 05:04:43
UCC	Uccle, Belgium	50.80	4.36	L	05:14:00

**Рис. 1.** Карта сейсмических станций, которые зарегистрировали землетрясение 17 августа 1914 г.

Обведённая кружком красная точка обозначает уточнённый эпицентр, эллипс ошибок изображён чёрной линией. Зелёными треугольниками обозначены сейсмические станции, времена вступлений по которым были использованы в процедуре уточнения параметров гипоцентра, а красными треугольниками обозначены станции, времена вступлений по которым были отклонены алгоритмом программы NAS

Таблица 3. Перечень сейсмических станций и времена вступлений сейсмических фаз от землетрясения 17 августа 1914 г., которые были использованы алгоритмом программы NAS для уточнения параметров гипоцентра

Станция				Фаза	Времена вступлений, чч:мм:сс
код	название, страна	φ, °N	λ, °E		
PUL	Pulkovo, Russia	59.77	30.32	(P)	05:00:32
				(S)	05:03:13
TIF	T'bilisi, Georgia	41.72	44.80	(P)	05:01:07
IRK	Irkutsk, Russia	52.24	104.27	(P)	05:02:36
				(S)	05:07:00
SVE	Ekaterinburg, Russia	56.83	60.64	(P)	04:57:12
LVV	L'voy, Ukraine	49.82	24.03	(S)	05:06:00
BAK	Baki, Azerbaijan	40.37	49.82	(P)	05:00:59
				(S)	05:04:17
TAS	Tashkent, Uzbekistan	41.33	69.30	(S)	05:04:19

Примечание: фазы в скобках были идентифицированы программой NAS.

Таблица 4. Уточнённые параметры гипоцентра землетрясения 17 августа 1914 г.

Дата, дд.мм.гггг	Время, чч:мм:сс.с	Гипоцентр			N_{CT}/N_{Φ}	Gap, °	Δ, км	Эллипс ошибок		
		φ, °N	λ, °E	h, км				$A_{Zmajor}, °$	$R_{minor}, км$	$R_{major}, км$
17.08.1914	04.56:59.2	57.00	59.67	6	7/10	211	81–2859	10	25.8	42.0

(0–53)

Уточнённый эпицентр удалён от эпицентров из табл. 1 на расстояния (Δ), не превышающие 28 км (рис. 2, табл. 4). Все эпицентры из табл. 1 лежат в области эллипса ошибок уточнённого эпицентра. Это означает, что все эти эпицентры, включая уточнённый, актуальны и с равной вероятностью могут рассматриваться как истинный эпицентр землетрясения.

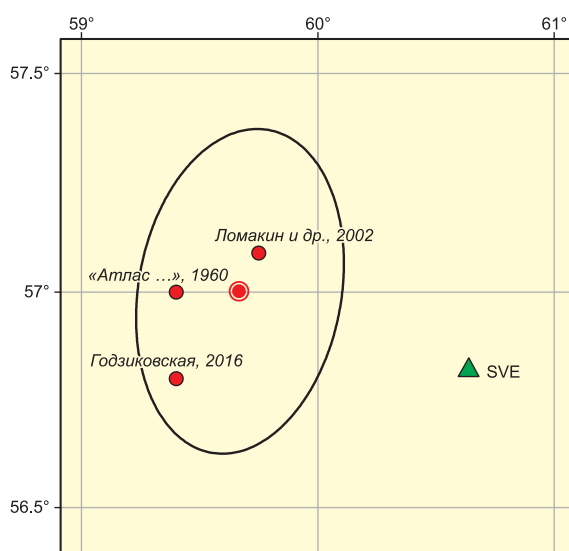


Рис. 2. Карта с обозначением уточнённого эпицентра с эллипсом ошибок и эпицентров из табл. 1.

Условные обозначения см. на рис. 1

Выводы

На основе десяти времён вступлений сейсмических фаз *P* и *S* на семи сейсмических станциях и моделей *ak135* и Уральского региона, были найдены параметры гипоцентра Билимбаевского землетрясения 17 августа 1914 г. с вычислением эллипса ошибок. Эпицентры, определённые ранее по макросейсмическим и отчасти инструментальным данным, находятся в области эллипса ошибок уточнённого эпицентра. Указанные ранее значения глубины также лежат в интервале возможных глубин очага уточнённого гипоцентра. Таким образом, все эпицентры, включая уточнённый, актуальны и с равной вероятностью могут рассматриваться как истинный эпицентр землетрясения.

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

Литература

Атлас землетрясений в СССР. Результаты наблюдений сети сейсмических станций СССР в 1911–1957 гг. – М.: Наука, 1962. – 336 с.

Вейс-Ксенофонтова З.Г., Попов В.В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала. – М.–Л.: АН СССР, 1940. – 68 с.

Верхоланцев А.В. Построение одномерной скоростной модели земной коры Западного Урала //

Вестник Поморского государственного университета. — 2011. — № 4. — С. 5–10.

Годзиковская А.А. Каталог сейсмических событий Уральского региона с древнейших времён до 2002 г. (сопутствующие первичные материалы). — М.: ИФЗ РАН, 2016. — 258 с.

Кашубин С.Н., Дружинин В.С., Гуляев А.Н., Кусонский О.А., Ломакин В.С., Маловичко А.А., Никитин С.Н., Парыгин Г.И., Рыжий Б.П., Уткин В.И. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона. — Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. — 124 с.

Ломакин В.С., Годзиковская А.А., Прибылова Н.Е., Силина И.К., Митенкова Н.В. Сейсмические события Уральского региона за 1914–2000 гг. — М.: Гидропроект, 2002. — 96 с.

Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Дягилев Р.А., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Верхоланцев А.В. Пермский край 2000–2005 гг. // Землетрясения Северной Евразии, 2005. — Обнинск: ГС РАН, 2011. — С. 269–289.

Маловичко А.А., Чепкунас Л.С. Уточнение магнитуды Билимбаевского землетрясения 17 августа 1914 г. // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. — Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2011. — С. 240–242.

Никонов А.А., Чепкунас Л.С. Сысольское землетрясение 13 января 1939 г. на Русской плите — уточнение параметров // Вопросы инженерной сейсмологии. — 2009. — Т. 36, № 4. — С. 25–41.

Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. — М.: Наука, 1977. — 536 с.

Федоров А.В., Асминг В.Э., Евтюгина З.А., Прокудина А.В. Система автоматического мониторинга сейсмичности Европейской Арктики // Сейсмические приборы. — 2018. — Т. 54, № 1. — С. 25–41.

Abe K. Magnitudes and origin times from Milne seismograph data: earthquakes in China and California, 1898–1912 // Historical seismograms and earthquakes of the world. — Academic Press, 1988. — P. 37–50.

Bondar I., North R.G. Development of calibration techniques for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT) International Monitoring System // Physics of the Earth and Planetary Interiors. — 1999. — V. 113, N 1–4. — P. 11–24.

Bungum H., Pettenati F., Schweitzer J., Sirovich L., Faleide J.I. The 23 October 1904 MS 5.4 Oslofjord earthquake: Reanalysis based on macroseismic and instrumental data // Bulletin of the Seismological Society of America. — 2009. — V. 99, N 5. — P. 2836–2854.

Kennett B.L.N., Engdahl E.R., Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from travel times // Geophysical Journal International. — 1995. — V. 122, N 1. — P. 108–124.

Kvaerna T., Ringdal F. Generalized beamforming, phase association and threshold monitoring using a Global Seismic Network // Monitoring a Comprehensive Test Ban Treaty. — Dordrecht: Springer, 1996. — P. 447–466.

Lee W.H.K., Meyers H., Shimazaki K. Historical seismograms and earthquakes of the World. — Academic Press, 1988. — 513 p.

Morozov A.N., Vaganova N.V., Asming V.E., Konechnaya Y.V., Evtyugina Z.A. The instrumental seismicity of the Barents and Kara sea region: relocated event catalog from early twentieth century to 1989 // Journal of Seismology. — 2018. — V. 22, N 5. — P. 1171–1209.

Schweitzer J. The birth of modern seismology in the Nineteenth and Twentieth Centuries // Earth Sciences History. — 2007. — V. 26, N 2. — P. 263–280.

Storchak D.A., Di Giacomo D., Engdahl E.R., Harris J., Bondar I., Lee W.H.K., Bormann P., Villasenor A. The ISC-GEM global instrumental earthquake catalogue (1900–2009): introduction // Physics of the Earth and Planetary Interiors. — 2015. — V. 239. — P. 48–63.

Сведения об авторах

Маловичко Алексей Александрович, член-корреспондент РАН, научный руководитель ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия. E-mail: frc@gsras.ru

Морозов Алексей Николаевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотр. ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия; вед. науч. сотр. ФГБУН ФИЦКИА УрРАН, г. Архангельск, Россия. E-mail: morozovalexey@yandex.ru

Ваганова Наталья Владиславовна, канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотр. ФГБУН ФИЦКИА РАН, г. Архангельск, Россия. E-mail: nvag@yandex.ru

Асминг Владимир Эрнестович, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. Кольского филиала (КоФ) ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты, Россия. E-mail: asmingve@mail.ru

Дягилев Руслан Андреевич, канд. физ.-мат. наук, зам. директора ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия. E-mail: dra@gsras.ru

Евтюгина Зинаида Анатольевна, канд. хим. наук, науч. сотр. КоФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Апатиты, Россия. E-mail: zina_evt@mail.ru

The August 17, 1914 Bilimbaev earthquake: location based on instrumental data

© 2020 A.A. Malovichko¹, A.N. Morozov^{1,2}, N.V. Vaganova², V.E. Asming³, R.A. Dyagilev¹, Z.A. Evtyugina³

¹GS RAS, Obninsk, Russia; ²FCIARctic, Arkhangelsk, Russia; ³KB GS RAS, Apatity, Russia

Abstract The parameters of the hypocenter of the Bilimbaev earthquake that occurred on August 17, 1914 are located. We performed earthquake location based on our compilation of all available seismological bulletins of the time that included data from the ISC-GEM (International Seismological Centre-Global Earthquake Model) project, the EuroSeismos project and the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences. The location was performed using a modified generalized beamforming method based on the ak135 travel time model and regional model by the Ural region. The new epicenter is removed from the epicenters, previously determined from macroseismic and partly instrumental data, at a distance not exceeding 28 km. The previously calculated earthquake epicenters are in the region of the error ellipse of the new epicenter. The depth values indicated earlier also lie in the range of possible depths of the focus of the specified hypocenter. Thus, all the epicenters, including the new one, are relevant and with equal probability can be considered as the true epicenter of the earthquake.

Keywords Bilimbaev earthquake, parameters of the hypocenter, relocate.

For citation Malovichko, A.A., Morozov, A.N., Vaganova, N.V., Asming, V.E., Dyagilev, R.A., & Evtyugina, Z.A. (2020). [The August 17, 1914 Bilimbaev earthquake: location based on instrumental data]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(1), 40-47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.04>

References

- Abe, K. (1988). Magnitudes and origin times from Milne seismograph data: earthquakes in China and California, 1898-1912. *Historical seismograms and earthquakes of the world*, 37-50.
- Atlas zemletriasenii v SSSR. Rezul'taty nabliudenii seti seismicheskikh stantsii SSSR v 1911-1957 gg.* (1962) [Atlas of earthquakes in the USSR. The results of observations of the network of seismic stations of the USSR in 1911-1957]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 336 p. (In Russ.).
- Bondar, I., & North, R.G. (1999). Development of calibration techniques for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT) international monitoring system. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 113(1-4), 11-24.
- Bungum, H., Pettenati, F., Schweitzer, J., Sirovich, L., & Faleide, J.I. (2009). The 23 October 1904 MS 5.4 Oslofjord earthquake: Reanalysis based on macroseismic and instrumental data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99(5), 2836-2854.
- Fedorov, A.V., Asming, V.E., Jevtjugina, Z.A., & Prokudina, A.V. (2019). Automated Seismic Monitoring System for the European Arctic. *Seismic Instruments*, 55(1), 17-23.
- Godzikovskaia, A.A. (2016). *Katalog seismicheskikh sobytii Ural'skogo regiona s drevneishikh vremen do 2002 g. (soputstvuiushchie pervichnye materialy)* [The catalog of seismic events of the Ural region from ancient times until 2002 (related primary materials)] (p. 258). Moscow, Russia: IFZ RAS Publ. (In Russ.).
- Kashubin, S.N., Druzhinin, V.S., Guliaev, A.N., Kusonskii, O.A., Lomakin, V.S., Malovichko, A.A., Nikitin, S.N., Parygin, G.I., Ryzhii, B.P., & Utkin, V.I. (2001). *Seismichnost' i seismicheskoe raionirovanie Ural'skogo regiona* [Seismicity and seismic zoning of the Ural region]. Ekaterinburg, Russia: UB RAS Publ., 124 p. (In Russ.).
- Kennett, B.L., Engdahl, E.R., & Buland, R. (1995). Constraints on seismic velocities in the Earth from travel times. *Geophysical Journal International*, 122(1), 108-124.
- Kvaerna, T., & Ringdal, F. (1996). Generalized beamforming, phase association and threshold monitoring using a global seismic network. *Monitoring a Comprehensive Test Ban Treaty*, 447-466. Springer Netherlands.
- Lee, W.H.K., Meyers, H., Shimazaki, K. (1988). *Historical seismograms and earthquakes of the World*. Academic Press, 513 p.
- Lomakin, S.V., Godzikovskaia, A.A., Pribylova, N.E., Silina, I.K., & Mitenkova, N.V. (2002). *Seismicheskie sobytia Ural'skogo regiona za 1914-2002 gg.* [Seismic events of the Ural region for 1914-2002]. Moscow, Russia: Hidroproekt Publ., 96 p. (In Russ.).

- Malovichko, A.A., & Chepkunas, L.S. (2011). [Clarification of the magnitude of the Bilimbaev earthquake on August 17, 1914]. *Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiia geofizicheskikh polei* [Deep structure, geodynamics, thermal field of the Earth, interpretation of geophysical fields] (pp. 240-242). Ekaterinburg, Russia. (In Russ.).
- Malovichko, A.A., Malovichko, D.A., Dyagilev, R.A., Verkholantsev, F.G., Golubeva, I.V., & Verkholantsev, A.V. [Perm Region]. In *Zemletryaseniia Severnoi Evrazii, 2005 god* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2005] (pp. 269-289). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
- Morozov, A.N., Vaganova, N.V., Asming, V.E., Konechnaya, Y.V., & Evtugina, Z.A. (2018). The instrumental seismicity of the Barents and Kara sea region: relocated event catalog from early Twentieth Century to 1989. *Journal of Seismology*, 22(5), 1171-1209.
- Nikonov, A.A., & Chepkunas, L.S. (2009). The Sysol earthquake of January 13, 1939 on Russian plate - New approach. *Seismic Instruments*, 36, 25-41.
- Novyi katalog sil'nykh zemletriasenii na territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 g.* (1977) [A new catalogue of strong earthquakes in the USSR from ancient times to 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 536 p. (In Russ.).
- Schweitzer, J. (2007). The birth of modern seismology in the nineteenth and twentieth centuries. *Earth Sciences History*, 26(2), 263-280.
- Storchak, D.A., Di Giacomo, D., Engdahl, E.R., Harris, J., Bondar, I., Lee, W.H.K., Bormann, P., & Villasenor, A. (2015). The ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue (1900-2009): Introduction. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 239, 48-63, doi: 10.1016/j.pepi.2014.06.009.
- Veis-Ksenofontova, Z.G., & Popov, V.V. (1940). *K voprosu o seismicheskoi kharakteristike Urala* [On the issue of seismic characteristics of the Urals]. Moscow-Leningrad, Russia, 68 p. (In Russ.).
- Verkholantsev, A.V. (2011). [Construction of a one-dimensional velocity model of the Earth's crust of the Western Urals]. *Vestnik Pomorskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Pomor State University], 4, 5-10. (In Russ.).

Information about authors

Malovichko Aleksey Aleksandrovich, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Scientific Leader of the Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences (GS RAS), Obninsk, Russia. E-mail: frc@gsras.ru

Morozov Alexey Nikolaevich, PhD, Leading Researcher of the GS RAS, Obninsk, Russia. E-mail: morozovalexey@yandex.ru

Vaganova Natalya Vladislavovna, PhD, Senior Researcher of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research (FCIARctic), Arkhangelsk, Russia. E-mail: nvag@yandex.ru

Asming Vladimir Ernestovich, PhD, Leader Scientist of the Kola Branch of Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences (KB GS RAS), Apatity, Russia. E-mail: asmingve@mail.ru

Dyagilev Ruslan Andreevich, PhD, Deputy Director of the GS RAS, Obninsk, Russia. E-mail: dra@gsras.ru

Evtugina Zinaida Anatol'evna, PhD, Researcher of the KB GS RAS, Apatity, Russia. E-mail: zina_evt@mail.ru