

УДК 550.348.436

КАТАВ-ИВАНОВСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ

4 сентября 2018 г. с $ML=5.4$, $mb=5.5$, $I_0=6.4$ балла

Ф.Г. Верхоланцев¹, Р.А. Дягилев², Д.Ю. Шулаков³, Ю.В. Варлашова³

¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь, sombra@mail.ru,

²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, dra@gsras.ru,

³ГИ УрО РАН, г. Пермь, shulakov@mi-perm.ru

Аннотация. Приведены инструментальные и макросейсмические данные по землетрясению 4 сентября 2018 г. в 22^h58^m19^s UTC, $ML=5.4$, $I_0=6.4\pm 0.3$ балла в районе города Катав-Ивановска в Челябинской области (Южный Урал). Данное событие стало сильнейшим инструментально зарегистрированным землетрясением на Урале ($ML=5.4$, $mb=5.5$) и имело наибольшую макросейсмическую интенсивность среди землетрясений России в 2018 г. – $I_0=6.4\pm 0.3$ балла по Шкале Сейсмической Интенсивности 2017 г. (ГОСТ Р 57546-2017), впервые использованной в практике обработки макросейсмических данных на Урале. Также впервые для природных землетрясений Урала был зафиксирован афтершоковый процесс, активная стадия которого продолжалась около 11 месяцев, при этом многие афтершоки имели значительный макросейсмический эффект. С учетом пространственной ориентации облака афтершоков подтверждено решение механизма и обоснована тектоническая позиция очага.

Ключевые слова: Южный Урал, землетрясение, афтершоки, макросейсмическое поле, карта изосейст, сейсмическая интенсивность.

Для цитирования: Верхоланцев Ф.Г., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю., Варлашова Ю.В. Катав-Ивановское землетрясение 4 сентября 2018 г. с $ML=5.4$, $mb=5.5$, $I_0=6.4$ балла // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 323–339. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.29> EDN: FALSTN

Введение. 4 сентября 2018 г. в 22^h58^m19^s по Гринвичу на Южном Урале в районе города Катав-Ивановска (Челябинская область) произошло сильнейшее за период инструментальных наблюдений на Урале тектоническое землетрясение с локальной магнитудой $ML=5.4$ ($mb=5.5$, $MS=4.8$ по данным телесейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН).

Данное землетрясение имело наибольший макросейсмический эффект, $I_0=6.4\pm 0.3$ балла по Шкале Сейсмической Интенсивности 2017 г. (ШСИ-2017) [1] среди всех землетрясений в России в 2018 году. Отличительной особенностью данного землетрясения стал интенсивный афтершоковой процесс – первый афтершок с магнитудой $ML=2.7$ был зарегистрирован через 16 минут после главного толчка. Всего в период с сентября 2018 г. по июль 2019 г. на региональных расстояниях было зарегистрировано 33 афтершока, из них три имели существенную макросейсмическую интенсивность [Прил. 2].

Катав-Ивановское землетрясение 2018 г. входит в тройку сильнейших ($M\geq 5.0$) землетрясений, известных на Урале. Два из них произошли довольно давно в пределах Среднего Урала: в 1798 г. – Пермь-Кунгур-Насадка, в 1914 г. – Билимбай. Первичные сведения об этих событиях состоят в основном из макросейсмических описаний. Именно они стали основой для установления их основных параметров [2]. Определенное количество инструментальных записей, имеющихся в наличии для Билимбаевского землетрясения, позволило с использованием современных подходов локации уточнить положение его эпицентра [3]. В 2015 г. недалеко (до 40 км) от очага Билимбаевского землетрясения произошло Среднеуральское землетрясение с $ML=4.7$, $I_0=6$ баллов по шкале MSK-64 [4], которое подтвердило сейсмическую активность выделенной на карте ОСР-97 Среднеуральской зоны ВОЗ [5].

Что касается района, где произошло Катав-Ивановское землетрясение, то сейсмичность в этой области до недавнего времени была изучена слабо, а природа зарегистрированных здесь ранее сейсмических событий имела спорный характер [2], так как имеющиеся инструментальные данные имели низкую представительность. Данные о механизмах очагов в этом районе также отсутствуют. Исследования, выполненные сотрудниками ФИЦ ЕГС РАН совместно с Горным институтом УрО РАН, г. Пермь (далее – «ГИ УрО РАН») в очаговой области после Катав-

Ивановского землетрясения, позволили за короткий промежуток времени получить большой объем информации и снять многие вопросы о характере сейсмичности района. Были получены представительные макросейсмические данные о главном толчке и трех его сильнейших афтершоках. Значительная магнитуда землетрясения позволила привлечь данные десятков телесейсмических станций для определения глубины и механизма очага. Инструментальные данные, полученные Уральской региональной сейсмологической сетью в 2018–2019 гг. (Прил. 1) о сейсмичности эпицентральной области Катав-Ивановского землетрясения, были существенным образом дополнены сведениями, поступавшими с временных станций, установленных в очаговой зоне менее чем через сутки после главного толчка и действовавших как локальная сеть до августа 2019 г. [6, 7]. Локальная сеть позволила получить достаточно полное представление об очаговой области благодаря тому, что впервые для Урала был зафиксирован интенсивный афтершоковый процесс.

Инструментальные данные о главном толчке и трех сильнейших афтершоках. Главный толчок Катав-Ивановского землетрясения был зарегистрирован всеми станциями Уральской региональной сейсмологической сети и более чем 600 станциями по всему миру на телесейсмических расстояниях. Подробные сведения о станциях региональной сети, методике обработки данных и шкале локальных магнитуд ML приведены в основной статье настоящего выпуска журнала, посвященной сейсмичности Урала и Западной Сибири [8].

Сейсмограммы землетрясения, по которым рассчитывалась региональная магнитуда ML , представлены на рис. 1. Максимальные скорости смещения грунта, зарегистрированные инструментально на ближайшей станции региональной сети «Уфа» (BA1R), составили 0.8 мм/с , расстояние до эпицентра 143 км .

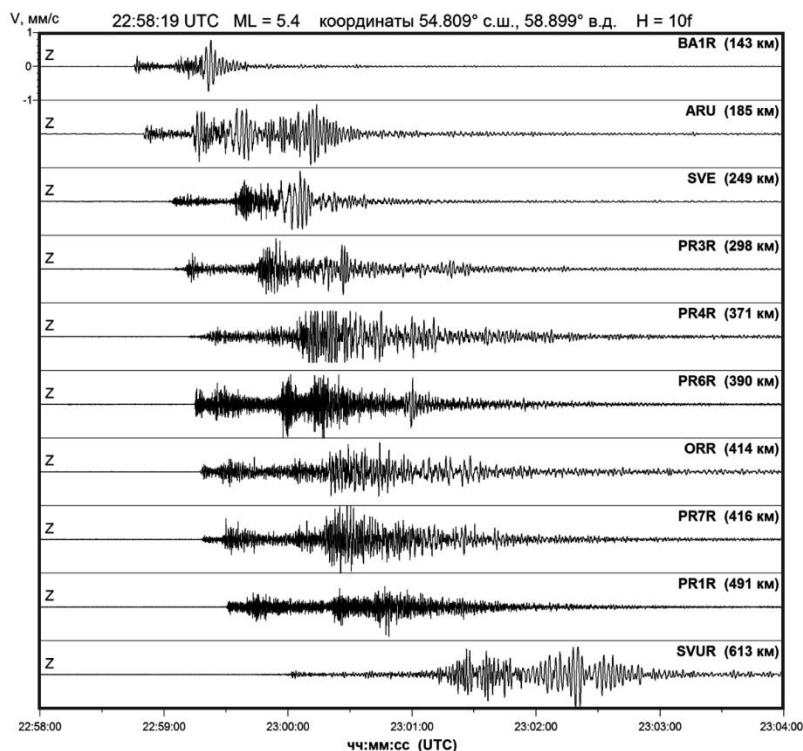


Рис. 1. Сейсмограммы главного толчка Катав-Ивановского землетрясения 4 сентября 2018 г.

Полученные инструментальные данные позволили определить параметры очага, представленные в табл. 1 (решение MIRAS совместно с данными других агентств). Координаты эпицентра по данным разных агентств, как видно из рис. 2, существенно различаются. В то же время оценки магнитуд по объемным волнам по данным агентств GS RAS, EMSC, ISC, NEIC достаточно близки: $mb=5.4-5.5$, а магнитуды по поверхностным волнам по данным GS RAS и ISC согласуются идеально – $MS=Ms=4.8$. Обращает на себя внимание занижение агентством IDC вышеуказанных магнитуд ($mb=5.0$, $Ms=4.5$), а также локальной магнитуды ($ML=4.9$) по сравнению с таковой по данным MIRAS ($ML=5.4$).

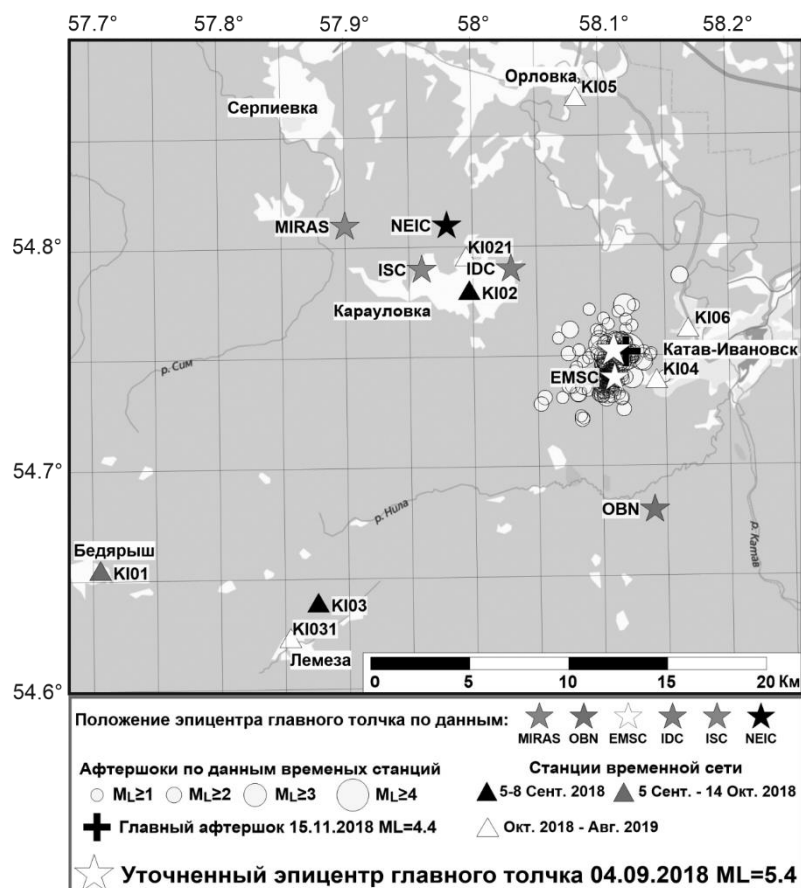


Рис. 2. Сравнение решений различных агентств для главного толчка Катав-Ивановского землетрясения и положение облака афтершоков по данным наблюдений временными станциями

Таблица 1. Параметры главного толчка Катав-Ивановского землетрясения 4 сентября 2018 г. по данным различных агентств

Агентство	t_0 , ч м с	δt_0 , с	Гипоцентр			Магнитуда/количество станций	Ссылка
			φ° , N	λ° , E	h , км		
MIRAS	22 58 19	–	54.81	57.90	10	$M_L=5.4 \pm 0.2/10$, $K_p=12.9/10$	Прил. 2
GSRAS	22 58 17	1.17	54.68	58.14	10	$m_b=5.5/58$, $MS=4.8/29$	[9, 10]
EMSC	22 58 19	1.32	54.74	58.11	10f	$m_b=5.4/199$	[10]
IDC	22 58 17	0.31	54.79	58.03	0f	$m_b=5.0 \pm 0.1/27$, $M_L=4.9 \pm 0.2/10$, $MS=4.5/61$	[10]
ISC	22 58 19	0.39	54.79	57.96	10.9 \pm 2.3	$m_b=5.4 \pm 0.1/306$, $MS=4.8 \pm 0.3/100$	[10]
NEIC	22 58 19	–	54.81	57.98	10.0 \pm 1.7	$m_b=5.5/256$, $m_{ww}=5.0 \pm 0.1/17$	[10]
NNC	22 58 24	2.93	54.42	59.01	0	$m_b=5.8/9$, $m_{pv}=5.6/3$, $K_p=13.4/8$	[10]

Примечание. MIRAS – «ГИ УрО РАН», Пермь, Россия; GSRAS – ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск, Россия; EMSC – European-Mediterranean Seismological Centre, Arpaion Cedex, France; IDC – International Data Centre, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, Vienna, Austria; ISC – International Seismological Centre, Thatcham, United Kingdom; NEIC – National Earthquake Information Center, Golden, Colorado, USA; NNC (KNDC) – National Nuclear Centre, Almaty, Kazakhstan; f – фиксированная глубина.

Принимая во внимание сложное геологическое строение Урала, представляющего собой четко выраженную субмеридиональную линейную складчатую систему с достаточно узкими по широте тектоническими элементами (надвигами), для однозначной интерпретации тектонической позиции очага необходимо точное определение положения не только эпицентра, но и гипоцентра землетрясения.

Локальная сеть временных сейсмических станций (рис. 2), развернутая в эпицентральной зоне, в период своей работы в 2018–2019 гг. меняла пространственную конфигурацию. Однако, как видно из рис. 3, где представлен кумулятивный график повторяемости для событий, зарегистрированных временными станциями (А), уровень представительной регистрации за период их

функционирования в 2018–2019 гг. составляет $ML \geq 0.8$. В соответствии с этим на рис. 2 отражены только представительные афтершоки. Кривая Б на рис. 3 – график повторяемости за тот же период для событий, зарегистрированных региональными станциями. В этом случае уровень представительной регистрации составляет $ML \geq 2.6$. Данное значение совпадает с теоретически рассчитанными оценками чувствительности сети для данной территории $ML \geq 2.6$, приведенными в обзоре сейсмичности Урала и Западной Сибири в настоящем выпуске журнала [8].

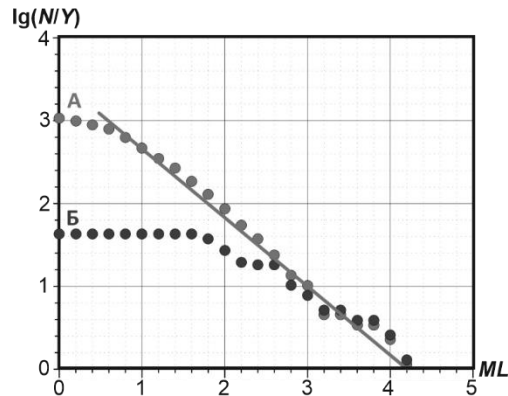


Рис. 3. Кумулятивные графики повторяемости землетрясений: А – по данным наблюдений временными станциями, Б – по данным региональной сети

По данным наблюдений локальной сетью временных станций закон повторяемости для афтершокового процесса Катав-Ивановского землетрясения (рис. 3) в аналитическом виде можно записать следующим образом:

$$\text{Lg}N = 3.5(\pm 0.15) - 0.82(\pm 0.03)ML. \quad (1)$$

Всего в эпицентральной зоне удалось зафиксировать и обработать порядка 1000 сейсмических событий. Их временная динамика в представительном диапазоне магнитуд приведена на рис. 4. Как видно из рисунка, к началу августа 2019 г. интенсивный афтершоковый процесс завершился, хотя отдельные события в эпицентральной зоне Катав-Ивановского землетрясения продолжали происходить.

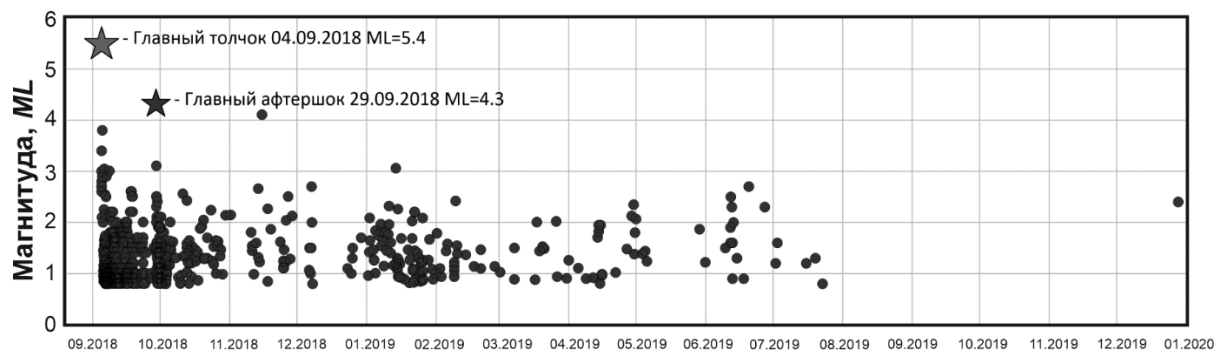


Рис. 4. Временная динамика афтершоков Катав-Ивановского землетрясения

Расчет координат эпицентра в MIRAS, выполненный по данным региональной сети с привлечением телесеизмических станций (всего 57 станций), указывает на положение очага в районе пос. Карауловка (рис. 2), как и эпицентры по данным IDC и NEIC. Однако облако афтершоков, полученное по результатам наблюдений временными станциями, свидетельствует, что этот эпицентр определен со значительной ошибкой (>10 км). Такие же ошибки имеют определения других агентств за исключением EMSC. Что касается решения EMSC, вероятнее всего, точное попадание в область афтершоков является случайным, поскольку определения эпицентров трех следующих сильных афтершоков, полученные этим агентством, имеют ошибки, сопоставимые с ошибкой решения MIRAS для главного толчка. Это касается и определений, выполненных для данных афтершоков другими агентствами [Прил. 2].

В свою очередь нами, с использованием афтершока 15 ноября 2018 г. с $ML=4.0$ в качестве мастер-события, имеющего точно рассчитанные координаты гипоцентра по данным локальной (временной) сети, был выполнен пересчет эпицентра главного толчка с применением метода относительной локации [11]. Расчеты показали, что главное событие произошло у западной окраины г. Катав-Ивановска. Та же процедура была произведена для двух других сильных афтершоков: 5 сентября 2018 г. с $ML=3.8$ и 29 сентября 2018 г. с $ML=4.3$, для которых сейсмические записи есть только по региональной сети. Уточнение глубины очага главного толчка было выполнено с использованием функции согласования фазовых спектров первых вступлений [12]. Итоговая оценка глубины главного толчка – 6.4 ± 1.0 км. Глубина двух других афтершоков, 5 и 29 сентября, принята равной глубине афтершока 15 ноября с известной глубиной.

Уточненные параметры эпицентров главного толчка 4 сентября 2018 г., афтершока 5 сентября 2018 г., наиболее сильного афтершока 29 сентября 2018 г. и афтершока 15 ноября 2018 г., выступившего в качестве мастер-события, представлены в табл. 2.





Таблица 2. Параметры Катав-Ивановского землетрясения и трех его сильнейших афтершоков по инструментальным данным

Дата, д м г.	t_0 , ч м с	Гипоцентр							Магнитуда
		φ , °N	λ , °E	h , км	δh , км	Эллипс ошибок			
						a , км	b , км	A_z , °	
04.09.2018	22 58 19	54.752	58.110	6.4	1.0	2.25	1.35	137	$ML=5.4$, $mb=5.5$, $MS=4.8$
05.09.2018	07 27 20	54.757	58.106	3.6f	–	2.95	0.82	101	$ML=3.8$, $mb=4.6$
29.09.2018	09 06 52	54.749	58.099	3.6f	–	2.00	0.65	110	$ML=4.3$, $mb=4.7$
15.11.2018	07 48 25	54.752	58.119	3.6	0.3	0.44	0.44	–	$ML=4.0$, $mb=4.5$

Примечание: f – фиксированная глубина. Значения MS и mb приведены по данным [9].

Механизм и тектоническая позиция очага. Механизм очага главного толчка рассчитан по знакам первых вступлений продольных волн с привлечением данных телесеизмических станций. Всего были использованы 42 станции, из них на 20 станциях зарегистрированы волны сжатия (знаки плюс), на 22 станциях – волны разрежения (знаки минус). Станции расположены в интервале эпицентральных расстояний $1.5\text{--}94.6^\circ$ в азимутальном створе $AZ=12\text{--}355^\circ$. Данные о механизме очага MIRAS и других агентств приведены в табл. 3.

Таблица 3. Параметры механизма очага Катав-Ивановского землетрясения

Агентство	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Диаграмма механизма очага
	T		N		P		$NP1$			$NP2$			
	PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
MIRAS	29	249	53	27	21	147	285	54	173	19	85	37	
GSRAS	39	260	36	27	30	142	286	37	171	23	85	54	
NEIC	48	234	42	42	6	137	264	53	146	16	64	42	
GCMT	63	247	26	46	9	140	257	43	130	29	58	59	

Примечание: GCMT – The Global Centroid-Moment-Tensor, <https://www.globalcmt.org/>

Согласно данным большинства агентств, в очаге произошел правосторонний сдвиг с компонентами взброса по близширотной плоскости ($NP1$), или левосторонний взбросо-сдвиг по плоскости север–северо-восточного простирания ($NP2$). На рис. 5 представлен механизм очага Катав-Ивановского землетрясения по данным MIRAS в сопоставлении с картой распределения его афтершоков, которое показывает, что предпочтительной является плоскость $NP2$.

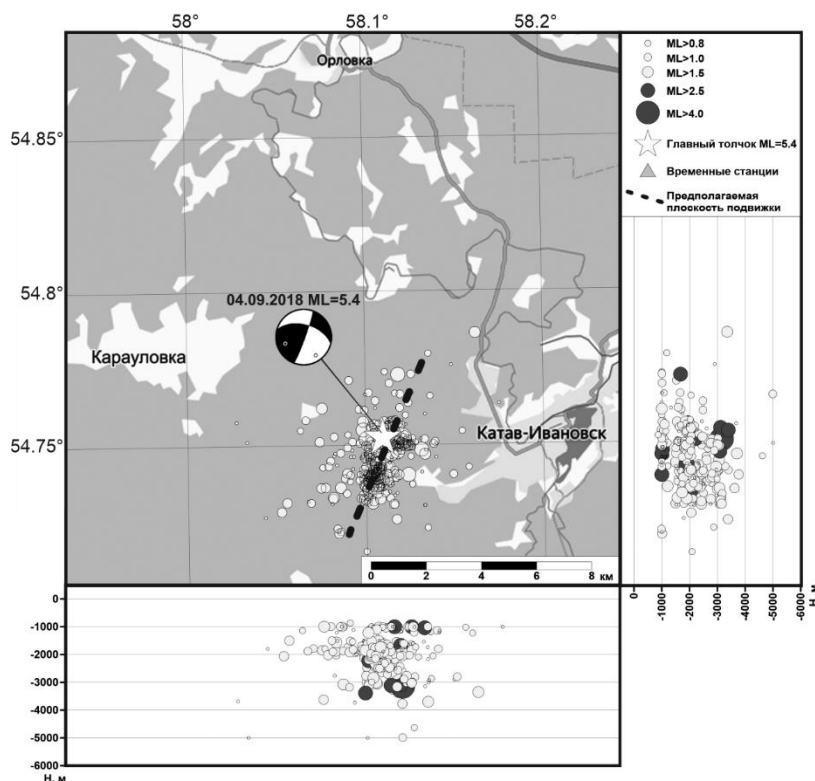


Рис. 5. Механизм очага в сопоставлении с пространственным положением афтершоков Катав-Ивановского землетрясения

Ориентация напряжений в очаге практически совпадает с полем напряжений, установленным альтернативными методами в районе [13]. В районе геофизической обсерватории «Арти» в 185 км от очага, по данным гравиметрических и геодезических наблюдений, после главного толчка зарегистрирован подъем высоты точки наблюдения на 4 мм [14], что также свидетельствует о присутствии в движении в очаге значительной взбросовой компоненты. Разрыв по плоскости $NP2$ совпадает по простиранию и характеру подвижки с Тараташско-Кураганским (Зильмердакским) надвигом. Также плоскость $NP2$ хорошо согласуется с геологическими данными: субмеридиональные складки Урала, осложненные надвигами, захватывающими палеозой, обнаруживают эшелонированность, указывая на левостороннюю компоненту смещений [15].

Если рассматривать тектоническую позицию очага землетрясения в целом, то можно однозначно утверждать, что гипоцентр приурочен к передовым опережающим структурам Зильмердакского надвига Башкирского антиклинория Центрально-Уральского поднятия в районе, где этот жесткий консолидированный блок надвинут на Западно-Уральскую зону складчатости, разделяя ее на две части: Северную и Южную [16, 17]. По результатам магнитотеллурического зондирования, выполненного в эпицентральной зоне после землетрясения сотрудниками Института Геофизики УрО РАН, в верхней коре на глубинах 12–18 км под очаговой зоной выделена «глубинная магнитная неоднородность» [18]. Этот результат хорошо согласуется со схемой глубинного строения Урала [19], согласно которой в основании очаговой зоны лежит грабен в теле верхней коры, заполненный рифейско-вендскими вулканогенно-осадочными образованиями.

Макросейсмические данные. Главный толчок Катав-Ивановского землетрясения имел значительный макросейсмический эффект. Радиус зоны ощутимости составил 200–300 км, включая такие крупные города как Уфа, Челябинск, Екатеринбург. Наиболее удаленным от эпицентра населенным пунктом, где ощущались толчки, стал г. Пермь (~380 км). Сбор макросейсмических данных был начат в первые несколько часов после землетрясения. Ввиду обширности географии, частично анкеты заполнялись специалистами-сейсмологами на основе данных от пользователей социальных сетей, также была выполнена рассылка в администрации органов власти, расположенные на периферии зоны сотрясений.

В эпицентральной зоне в период с 5 по 8 сентября 2018 г. специалистами Горного Института УрО РАН и ФИЦ ЕГС РАН производился опрос местных жителей и визуальное обследование повреждений, вызванных землетрясением. Кроме главного толчка, также были собраны данные о макросейсмических проявлениях сильного афтершока 5 сентября 2018 г. в 07^h27^m UTC

с $ML=3.8$. Непосредственно было обследовано 18 населенных пунктов, часть из них, расположенных близко друг к другу, впоследствии при обработке анкет были объединены в один: Вязовая и Юрюзань рассматривались совместно как Юрюзань, Аратское было присоединено к Серпиевке, Рудничный присоединен к Бакалу. Во всех «присоединенных» пунктах имелось только по одной анкете.

Дистанционным способом были получены сведения из 35 населенных пунктов. В итоге было собрано порядка 250 анкет из 53 населенных пунктов.

При обработке макросейсмических данных впервые была использована новая шкала ШСИ-2017, которая позволяет получать наиболее объективные статистические оценки сейсмической интенсивности в населенных пунктах по различным категориям-сенсорам. Специально для макросейсмического обследования была создана новая анкета, учитывающая особенности ШСИ-2017.

В соответствии со шкалой по каждой категории-сенсору из данных анкет определялись коэффициенты реакции на сейсмические воздействия. При Катав-Ивановском землетрясении наиболее представительными были ощущения людей, реакции предметов быта и повреждения зданий. Обобщение воздействий осуществлялось по населенным пунктам. В каждом из них рассчитывалась средневзвешенная реакция категорий-сенсоров, после чего определялась средневзвешенная величина по всем категориям-сенсорам. Попутно также рассчитывалось стандартное отклонение интенсивности, зависящее от количества и разброса исходных величин.

Ниже приведены сведения о результатах обследования эпицентральной зоны. Необходимо учитывать, что указанное для населенного пункта количество анкет не равно общему количеству участвовавших в опросе людей. Достаточно часто одна анкета содержит обобщенные специалистом-сейсмологом данные, полученные от нескольких (до шести) человек. Также по населенным пунктам приведены фотографии повреждений зданий и проявлений сотрясений на земной поверхности, сделанные в процессе макросейсмического обследования.

Несмотря на то, что самое любопытное макросейсмическое проявление в эпицентре землетрясения было обнаружено через 20 дней после главного толчка, приведем его описание в первую очередь. Днем 25 сентября 2018 г. в лесу, на склоне горы Песчаная, расположенной непосредственно над очагом, местными жителями было замечено движение оползня. Вязкий обводненный грунт вместе с растущими на нем деревьями стал медленно сползать вниз по склону с уклоном 6° . В самой интенсивной фазе движения грязевой поток шириной от 10 до 30 м перемещался со скоростью около 1 м/с. Сам процесс был зафиксирован на видео (имеется в распоряжении авторов). После того, как оползень остановился, был выполнен его облет на квадрокоптере и примерно оценена его протяженность – порядка 500 метров. Впоследствии сотрудниками Института Геофизики УрО РАН было выполнено исследование параметров оползня [20]. В итоге было установлено, что смещение оползня по склону составило около 780 м при средней глубине рва 3 м (рис. 6). Объем вынесенного грунта составил около 162 тыс. m^3 при массе перемещенного грунта ~320 тыс. тонн. По классификации данный оползень относится к крупным. Причинами образования оползня может являться разжижение грунта и изменение гидрогеологического режима подземных вод над эпицентром вследствие главного толчка и последующих афтершоков. Наличие такого оползня по классификации ШСИ-2017 подтверждает интенсивность сотрясений в эпицентре не менее 6 баллов.



а



б

Рис. 6. Чаша (а) и зеркало скольжения (б) оползня на склоне горы Песчаная, расположенной непосредственно над очагом Катав-Ивановского землетрясения

Катав-Ивановск ($\Delta=6$ км), количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 10/51. Все опрошенные жители города ощущали землетрясение. Землетрясение ощущалось сильно, раскачивались здания. Те, кто спал, просыпались. Люди испытывали сильный испуг, выбегали из жилых помещений на улицу. Легкие предметы падали и переворачивались, тяжелые – сдвигались. Висячие предметы раскачивались, посуда звенела, двери распахивались. В некоторых случаях замечено колебание жидкостей в сосудах. Отмечалось несколько толчков (два-три) в течение 20–30 минут. В городе отмечены многочисленные повреждения зданий, в основном в виде трещин, отколов крупных кусков штукатурки (рис. 7), а также разрушений печей и дымоходов (рис. 8). Всего в администрацию Катав-Ивановска поступило 495 обращений о случаях повреждений с общим ущербом на сумму порядка 5 млн. рублей.



Рис. 7 а. Подъезд жилого дома, ул. Степана Разина, 49



Рис. 7 б. Боковая стена школы № 1



Рис. 8 а. Разрушенная печь в частном доме



Рис. 8 б. Трещина в печи, ул. Герцена 1

Наиболее сильно пострадало здание Катав-Ивановской районной больницы. Здесь отмечены массовые отколы крупных кусков штукатурки, осыпание побелки, сквозные трещины во внутренних перегородках (рис. 9 а), трещины в межэтажных перекрытиях, массовые отколы кафельной плитки со стен (рис. 9 б), секущие трещины в наружных несущих стенах с первого до третьего этажа (рис. 9 в). После землетрясения здание было признано аварийным, работа больницы была приостановлена, впоследствии был произведен капитальный ремонт.



Рис. 9 а. Сквозные трещины во внутренних перегородках



Рис. 9 б. Массовые отколы кафельной плитки



Рис. 9 в. Секущие трещины в несущей стене

Карауловка, $\Delta=8$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 1/3. Землетрясение ощущалось отчетливо, как тряска или дрожь. Ощутившие люди встревожились. Легкая мебель подрагивала.

Орловка, $\Delta=13$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 6/20. Все опрошенные жители поселка ощущали землетрясение. Землетрясение ощущалось сильно, как тряска, дрожь, раскачивание. Некоторые отмечают, что землетрясение ощущалось «как будто в угол дома въехал грузовик», «стоял грохот, тряслись крыши и провода». Те, кто спал, просыпались. Люди испытывали сильный испуг, выбегали из жилых помещений на улицу. Легкие предметы падали, легкая мебель раскачивалась. Окна и двери распахивались. Домашние животные пугались и выбегали из укрытий. Отчетливо ощущались три толчка в течение 20 минут. В поселке отмечены повреждения печей и дымоходов, на некоторых домах обвалились печные трубы (рис. 10), часть домов получила повреждения, выражающиеся в появлении трещин, отколах крупных кусков штукатурки.



Рис. 10. Обвалившиеся печные трубы, пос. Орловка, ул. Катавская, д. 1

Урочище Аннавка, $\Delta=15$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 1/1. Землетрясение ощущалось сильно, как тряска или дрожь, раскачивание помещения в целом. Домашние животные пугались и выбегали из укрытий.

Верх-Катавка, $\Delta=19$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 8/27. Все опрошенные жители поселка ощущали землетрясение. Землетрясение ощущалось сильно, как тряска, дрожь, раскачивание. Те, кто спал, просыпались. Люди испытывали сильный испуг, выбегали из жилых помещений на улицу. Отмечается, что землетрясение сопровождалось гулом. Легкие предметы перемещались, легкая мебель раскачивалась. Окна и двери распахивались. Висящие предметы покачивались. Посуда звенела. В некоторых случаях замечалось колебание жидкостей в небольших сосудах и наполненных бочках. Домашние животные проявляли беспокойство, пугались и выбегали из укрытий. Повреждений зданий и сооружений не отмечено.

Усть-Катав, $\Delta=20$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 4/10. Землетрясение почувствовали все опрошенные. Оно ощущалось сильно, как тряска или дрожь. Те, кто спал, просыпались. Люди испытывали удивление. Легкие предметы перемещались, легкая мебель раскачивалась. Окна и двери распахивались. Домашние животные проявляли беспокойство и пугались. Повреждений зданий и сооружений не отмечено.

Сергиевка, $\Delta=20$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 7/17. Все опрошенные жители поселка ощущали землетрясение. Землетрясение ощущалось сильно, как тряска, дрожь, раскачивание. Те, кто спал, просыпались. Люди испытывали удивление, некоторые испуг. Окна и двери скрипели и подрагивали. Висящие предметы покачивались. Легкие предметы перемещались, легкая мебель раскачивалась. Посуда звенела. Домашние животные проявляли беспокойство. Повреждений зданий и сооружений не отмечено.

Лемеза, $\Delta=21$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 4/12. Все опрошенные жители поселка ощущали землетрясение. Землетрясение ощущалось слабо, как тряска

или дрожь. Те, кто спал, просыпались. Люди испытывали испуг. Висящие предметы легко покачивались. Окна и двери скрипели и подрагивали. Легкая мебель раскачивалась. Посуда звенела. В отдельных домах отмечены микротрещины в стенах.

Юрюзань, $\Delta=23$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 12/54. Все опрошенные жители ощущали землетрясение. Землетрясение ощущалось отчетливо, как тряска или дрожь, раскачивание. Те, кто спал, просыпались. Люди испытывали испуг, некоторые выбегали из жилых помещений на улицу. Висящие предметы отчетливо покачивались. Окна и двери скрипели и подрагивали. Посуда звенела. Легкие предметы перемещались, легкая мебель раскачивалась. Отдельные предметы мебели сдвигались. Повреждений зданий и сооружений не отмечено.

Кропачево, $\Delta=28$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 1/2. Землетрясение ощущалось сильно, как тряска или дрожь. Те, кто спал, просыпались. Люди испытывали испуг, панику. Висящие предметы отчетливо покачивались. Окна и двери скрипели и подрагивали. Оконные стекла звенели. Легкая мебель подрагивала. Повреждений зданий и сооружений не отмечено.

Бедярыши, $\Delta=29$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 5/9. Все опрошенные жители ощущали землетрясение. Землетрясение ощущалось отчетливо, как тряска или дрожь. Те, кто спал, просыпались. Некоторые испытывали чувство тревоги. Окна и двери скрипели и подрагивали. В отдельных случаях отмечен сдвиг мебели. Домашние животные проявляли беспокойство. В отдельных домах отмечены микротрещины в стенах.

Меседа, $\Delta=38$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 7/11. Не все опрошенные жители ощущали землетрясение. Землетрясение ощущалось отчетливо, как тряска, дрожь или раскачивание. Некоторые из тех, кто спал, просыпались. Некоторые испытывали чувство тревоги. Висящие предметы легко покачивались. Повреждений зданий и сооружений не отмечено.

Бакал, $\Delta=49$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 41/5. Не все опрошенные жители ощущали землетрясение. Землетрясение ощущалось отчетливо, как тряска или дрожь. Некоторые из тех, кто спал, просыпались. Посуда звенела. Легкая мебель раскачивалась. Повреждений зданий и сооружений не отмечено.

Сатка, $\Delta=64$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 4/5. Не все опрошенные жители ощущали землетрясение. Землетрясение ощущалось отчетливо, как тряска, дрожь или раскачивание. Некоторые из тех, кто спал, просыпались. Люди испытывали удивление. Посуда легко звенела. Легкая мебель подрагивала. Висящие предметы легко покачивались. Отмечено колебание жидкостей в сосудах. В отдельных случаях отмечен сдвиг предметов мебели. Повреждений зданий и сооружений не отмечено.

Месягутово, $\Delta=87$ км, количество анкет/определений по категориям-сенсорам – 2/3. Все опрошенные жители ощущали землетрясение. Землетрясение ощущалось сильно, как раскачивание. Те, кто спал, просыпались. Легкая мебель раскачивалась. Повреждений зданий и сооружений не отмечено.

Итоговые данные об интенсивности в баллах шкалы ШСИ-2017 с ошибками определения по всем населенным пунктам, откуда были получены и обработаны макросейсмические данные, обобщены в табл. 4. Часть населенных пунктов, как мы указывали выше, в силу географической близости и особенностей расчета при обработке объединялись в один общий.

Таблица 4. Макросейсмические данные о главном толчке Катав-Ивановского землетрясения 4 сентября 2018 г. в баллах ШСИ-2017

№	Пункт	$I \pm \delta I$	Δ , км	Координаты пункта		№	Пункт	$I \pm \delta I$	Δ , км	Координаты пункта	
				φ° , N	λ° , E					φ° , N	λ° , E
1	Орловка	6.4±0.3	14	54.87	58.09	23	Чебаркуль	4.4±0.7	147	54.98	60.37
2	Катав-Ивановск	6.0±0.3	6	54.75	58.21	24	Бакал	4.3±1.7	49	54.94	58.81
3	Кропачево	6.0±0.1	30	55.01	57.98	25	Миньяр	4.2±0.3	50	55.07	57.55
4	Златоуст	5.7±0.6	110	55.17	59.67	26	Уфа	3.7±1.9	139	54.74	55.96
5	Верх-Катавка	5.6±0.9	19	54.62	58.28	27	Еманжелинск	3.4±0.0	206	54.75	61.32
6	Месягутово	5.6±0.6	86	55.53	58.24	28	Красноуфимск	3.4±1.5	208	56.62	57.77

№	Пункт	$I \pm \delta I$	Δ , км	Координаты пункта		№	Пункт	$I \pm \delta I$	Δ , км	Координаты пункта	
				φ° , N	λ° , E					φ° , N	λ° , E
7	Аша	5.5±0.8	59	54.99	57.28	29	Кунгур	3.1±0.2	307	57.43	56.94
8	Аннавка	5.4±0.0	15	54.68	57.91	30	Коелга	3.0±1.0	181	54.65	60.90
9	Серпиевка	5.3±0.1	20	54.86	57.86	31	Карабаш	2.0±1.0	157	55.49	60.20
10	Лемеза	5.3±1.2	22	54.62	57.86	32	Челябинск	2.0±1.0	216	55.16	61.40
11	Юрюзань	5.3±2.3	23	54.85	58.43	33	Екатеринбург	1.6±1.0	280	56.84	60.60
12	Карауловка	5.1±0.1	8	54.78	57.99	34	Пермь	1.6±1.0	381	58.01	56.23
13	Бедярыш	5.1±0.6	29	54.65	57.69	<i>Не ощущалось</i>					
14	Новый Субай	5.1±0.7	83	55.14	57.00	35	Мулдакаево		110	54.76	59.82
15	Красная горка	5.1±0.8	104	55.19	56.67	36	Толбазы		166	54.01	55.89
16	Усть-Катав	5.0±1.4	20	54.93	58.17	37	Стерлитамак		189	53.63	55.93
17	Меседа	4.9±0.9	38	54.77	58.70	38	Южно-Уральск		207	54.44	61.27
18	Сим	4.6±1.5	37	54.99	57.69	39	Новобатурино		209	54.85	61.36
19	Миасс	4.6±1.5	132	55.05	60.11	40	Еткуль		223	54.82	61.58
20	Сатка	4.5±2.4	64	55.05	58.97	41	Печенкино		227	54.84	61.64
21	Магнитогорск	4.5±2.2	161	53.41	58.98	42	Троицк		236	54.08	61.56
22	Павловка	4.4±0.6	124	55.42	56.56	43	Кумертау		270	52.76	55.80

Карта макросейсмического поля приведена на рис. 11. Изосейсты на карте построены с использованием аппроксимации тригонометрическим полиномом по опробованной нами ранее методике [21, 22], которая позволяет учесть азимутальную неоднородность распространения макросейсмического эффекта в условиях низкой пространственной представительности исходных данных, что особенно актуально в малозаселенных районах Урала. Макросейсмический эпицентр (максимум макросейсмического поля) расположен в районе пос. Орловка и имеет координаты: 54.87°N , 58.09°E – это в 14 км севернее инструментального эпицентра. Однако при сопоставлении координат эпицентров необходимо учитывать неоднородность геологического строения и то, что очаг землетрясения с $M=5.0-5.5$ имеет размер 5–10 км.

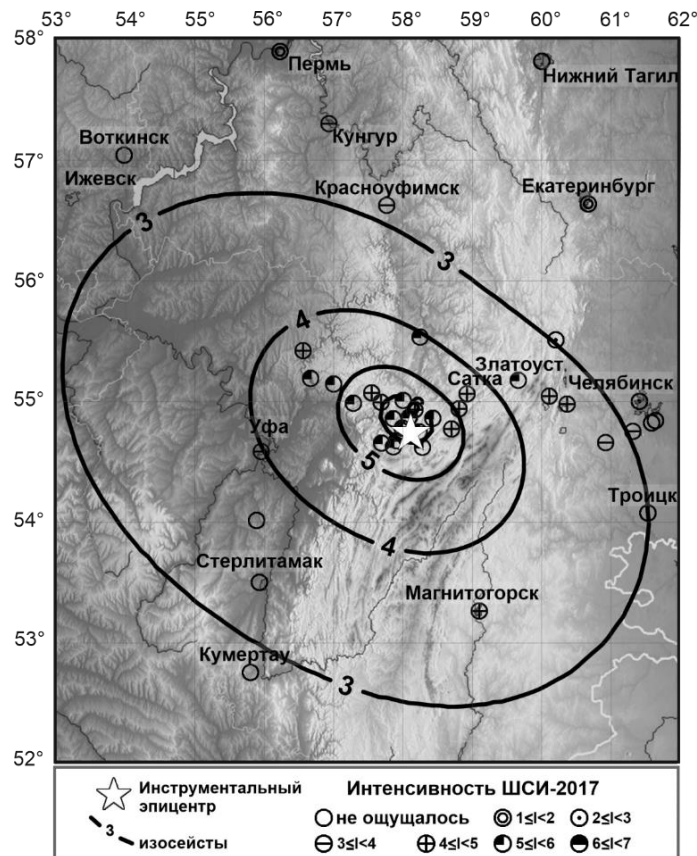


Рис. 11. Карта макросейсмического поля Катав-Ивановского землетрясения

Помимо главного толчка, макросейсмические проявления имели и последующие афтершоки. Все они, за исключением события 5 сентября 2018 г. в 07^h27^m UTC, ощущались только жителями города Катав-Ивановск. Для события 5 сентября 2018 г. в 07^h27^m ниже приведены данные в формате «пункты-баллы» (табл. 5). Как видно из таблицы, афтершок ощущался в 6 населенных пунктах, и этих данных недостаточно для построения карты макросейсмического поля. Сведения об остальных 12 ощутимых афтершоках содержатся в Прил. 4.

Таблица 5. Макросейсмические данные об ощутимом афтершоке Катав-Ивановского землетрясения 5 сентября 2018 г. 07^h27^m UTC в баллах ШСИ-2017

№	Пункт	$I \pm \delta I$	Δ , км	Координаты пункта	
				φ° , N	λ° , E
1	Орловка	5.5±0.04	14	54.87	58.09
2	Верх-Катавка	5.1±0.3	19	54.62	58.28
3	Катав-Ивановск	4.7±2.0	6	54.75	58.21
4	Меседа	4.7±2.0	38	54.77	58.70
5	Юрюзань	4.0±2.0	23	54.85	58.43
6	Сатка	2.0±1.4	64	55.05	58.97

Заключение. Катав-Ивановское землетрясение стало самым сильным инструментально зафиксированным землетрясением на Урале с магнитудой $ML=5.4$ ($mb=5.5$, $MS=4.8$ по данным GSRAS) [9], а также самым ощутимым на территории России в 2018 г. – $I_0=6.4 \pm 0.3$ по шкале ШСИ-2017. Уникальность данному событию придал тот факт, что после него впервые для землетрясений Урала был зафиксирован мощный афтершоковый процесс, активная стадия которого продолжалась 11 месяцев. Стоит отметить, что в 2004 и 2006 гг. в этом же районе было зарегистрировано пять землетрясений небольших магнитуд $2.3 \leq M \leq 3.0$. Дважды наблюдались парные события, которые отделялись друг от друга во времени не более чем 10 минутами. Событие 04.07.2004 в 20^h29^m имело макросейсмические проявления в районе г. Катав-Ивановска интенсивностью до 4 баллов, как было установлено нами ретроспективно. Из-за низкой плотности сети стационарных станций на Южном Урале ранее трудно было что-либо сказать о природе этих событий, ведь из-за активной разработки месторождений для данного района характерна также техногенная сейсмичность [23]. Сейчас же, после детальных наблюдений в эпицентральной зоне, стало вполне очевидно, что события 2004–2006 гг. – это слабые тектонические землетрясения с афтершоками, из которых были инструментально зарегистрированы только самые сильные. Сейсмический процесс в данном районе Южного Урала в виде единичных слабых событий продолжается. Событие 28 декабря 2019 г. в 09^h16^m с $ML=2.4$ отделено по времени от афтершоковой последовательности более чем пятью месяцами и в силу этого выделено нами как самостоятельное. Впоследствии, в 2020–2021 гг., в эпицентральной области Катав-Ивановского землетрясения было зарегистрировано еще шесть отдельных землетрясений в диапазоне магнитуд $1.0 \leq ML \leq 3.5$ [24, 25].

Применение традиционных подходов к обработке первичных инструментальных данных дало приблизительные параметры очага и двух его афтершоков (в том числе сильнейшего), которые пространственно плохо согласовывались с сейсмичностью, регистрируемой после установки в эпицентральной зоне сети временных станций. Использование метода относительной локации позволило уточнить положение гипоцентров проблемных очагов и снизить ошибку определения координат в несколько раз. Расчеты параметров механизма очага в совокупности с ориентацией поля афтершоков говорят о предпочтительном варианте подвижки в виде левостороннего взбросо-сдвига с субмеридиональным простираем, что хорошо согласуется с геологическими данными.

Макросейсмический эффект главного удара и последующих ощутимых афтершоков впервые в сейсмологической практике на Урале проанализирован в терминах шкалы ШСИ-2017. В результате такого анализа построена карта макросейсмического поля главного толчка с учетом азимутальной неоднородности распространения макросейсмического эффекта. Полученное поле свидетельствует о низком затухании интенсивности сотрясений в северо-западном направлении. Аналогичная анизотропия наблюдалась для еще одного сильного Уральского землетрясения – 18.09.2015 г. с $ML=4.7$, $I_0=6$ баллов [21].

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Бахтиярова Г.М., Белевская М.А., Варлашова Ю.В., Верховланцев Ф.Г., Голубева И.В., Гусева Н.С., Дягилев Р.А., Злобина Т.В., Лукаш Н.А., Малянова Л.С., Нестеренко М.Ю., Пойгина С.Г., Старикович Е.Н.

Электронное приложение App15_Ural_West_Siberia_2018–2019 (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): 1 – Сейсмические станции региона Урал и Западная Сибирь в 2018–2019 гг.; 2 – Сводный каталог землетрясений, горных и горно-тектонических ударов на территории Урала и Западной Сибири в 2018–2019 гг.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений Урала и Западной Сибири за 2018–2019 гг.; 4 – Макросейсмический эффект землетрясений, ощутимых в населенных пунктах Урала в 2018–2019 гг.; 5 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях сейсмических событий Урала в 2018–2019 гг.

Л и т е р а т у р а

- ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 27 с.
- Годзиковская А.А. Каталог сейсмических событий Уральского региона с древнейших времен по 2002 г. (Сопутствующие первичные материалы). – М.: ИФЗ РАН, 2016. – 258 с.
- 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>
- Верхоланцев Ф.Г., Габсатарова И.П., Гусева Н.С., Дягилев Р.А. Среднеуральское землетрясение 18 октября 2015 г. $M_L=4.7$, $I_0=6$ баллов // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 314–323. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.30>
- Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах / В.И. Уломов, Л.С. Шумилина. – М., 1999. – 57 с.
- Варлашова Ю.В., Верховланцев Ф.Г., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю. Эпицентральная область Катав-Ивановского землетрясения 04.09.2018 г. с $M=5.0$ (Урал) // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 127–132.
- Варлашова Ю.В., Верховланцев Ф.Г., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю. Эпицентральная область Катав-Ивановского землетрясения 04.09.2018 г. с $M=5.0$ (Урал) // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 128–130.
- Верхоланцев Ф.Г., Дягилев Р.А., Голубева И.В., Злобина Т.В. Сейсмичность Урала и Западной Сибири в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 225–238. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.19> EDN: UCPMTP
- Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2018–2019. (2023) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2018/
- International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
- Spence W. Relative epicenter determination using P-wave arrival-time differences // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1980. – V. 70, N 1. – P. 171–183.
- Дягилев Р.А., Верховланцев Ф.Г., Варлашова Ю.В., Шулаков Д.Ю., Габсатарова И.П., Епифанский А.Г. Катав-Ивановское землетрясение 04.09.2018 г., $m_b=5.4$ (Урал) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 7–20. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.01>
- Тевелев Ал.В., Тевелев Арк.В., Хотылев А.О., Прудников И.А., Володина Е.А., Мосейчук В.М. Землетрясения 2018 года в Катав-Ивановске (Южный Урал): кинематика инициирующих разрывов // Проблемы тектоники континентов и океанов. Материалы LI Тектонического совещания. – М.: ГЕОС, 2019. – С. 286–290.
- Кусонский О.А., Бебнев А.С. Сейсмические и гравиметрические данные землетрясений, произошедших в Челябинской области 5 и 29 сентября 2018 года // Уральский геофизический вестник. – 2018. – № 4 (34). – С. 26–35. – EDN YSAZZZ.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
- Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. – Уфа: ГИЛЕМ, 2000. – 146 с.
- Князев Ю.Г., Князева О.Ю., Сначев В.И., Жданов А.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская кая. Лист N-40 – Уфа. Объяснительная записка. – СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. – 512 с. + 6 вкл.

18. Овчаренко А.В., Давыдов В.А., Шапов В.А., Юрков А.К. Геофизические исследования в эпицентральной области Катав-Ивановского землетрясения (05.09.2018, $M5.8$) // Литосфера. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 432–448. DOI: <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-3-432-448>
19. Берлянд Н.Г. Глубинное строение литосферы Урала. – СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. – 256 с.
20. Овчаренко А.В. Изучение грязевого потока в эпицентральной области Катав-Ивановского землетрясения (5.09.2018, $M5.8$) // Уральский геофизический вестник. – 2019. – № 1(35). – С. 28–32. – DOI: <https://doi.org/10.25698/UGV.2019.1.5.28>. EDN: ZZCONH.
21. Дягилев Р.А., Гусева Н.С., Верхоланцев Ф.Г. Анизотропия макросейсмического поля Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 года // Геофизика. – 2016. – № 5. – С. 42–46.
22. Гусева Н.С., Дягилев Р.А. Макросейсмическое поле Билимбаевского землетрясения 1914 г. на Урале // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 133–137.
23. Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Дягилев Р.А., Злобина Т.В. Сейсмичность Урала и Западной Сибири в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 222–234. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.20>. EDN: CFBNRE
24. Габсатарова И.П., Асминг В.Э., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Дягилев Р.А., Карпинский В.В., Конечная Я.В., Мехрюшев Д.Ю., Надёжка Л.И., Нестеренко М.Ю., Носкова Н.Н., Петров С.И., Пивоваров С.П., Пойгина С.Г., Санина И.А. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь // Землетрясения России в 2020 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 25–32.
25. Габсатарова И.П., Асминг В.Э., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Дягилев Р.А., Карпинский В.В., Конечная Я.В., Мехрюшев Д.Ю., Надёжка Л.И., Нестеренко М.Ю., Носкова Н.Н., Петров С.И., Пивоваров С.П., Пойгина С.Г., Санина И.А. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь // Землетрясения России в 2021 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 25–32.

SEPTEMBER 4, 2018 KATAV-IVANOVSK EARTHQUAKE with $ML=5.4$, $mb=5.5$, $I_0=6.4$

F.G. Verkholantsev,¹ R.A. Diagilev², D.Yu. Shulakov³, Yu.V. Varlashova³

¹Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Perm, sombra@mail.ru,

²Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, dra@gstras.ru,

³Mining Institute, Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, natali.guseva.2010@mail.ru

Abstract. The instrumental and macroseismic data on the earthquake of September 4, 2018 at 22^h58^m19^s UTC, $ML=5.4$, $I_0=6.4\pm 0.3$ near the city of Katav-Ivanovsk in the Chelyabinsk region (South Urals) are presented. This event with $ML=5.4$ $mb=5.5$ became the strongest instrumentally recorded earthquake in the Urals and had the highest macroseismic effect among the Russian earthquakes in 2018 ($I_0=6.4\pm 0.3$). For the first time in the practice of processing macroseismic data in the Urals, the Seismic Intensity Scale 2017 (GOST R 57546-2017) was used. For the first time for natural earthquakes in the Urals, an aftershock process was recorded, the active stage of which lasted about 11 months, while many aftershocks had a significant macroseismic effect. Taking into account the spatial orientation of the aftershock cloud, the focal mechanism solution was confirmed and the tectonic position of the source was substantiated.

Key words: South Ural, earthquake, aftershocks, macroseismic field, isoseismal map, seismic intensity.

For citation: Verkholantsev, F.G., Diagilev, R.A., Shulakov, D.Yu., & Varlashova, Yu.V. (2023). [September 4, 2018 Katav-Ivanovsk earthquake with $ML=5.4$, $mb=5.5$, $I_0=6.4$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 323–339. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.29> EDN: FALSTN

References

1. GOST R 57546-2017. (2017). [Earthquakes. Seismic Intensity Scale]. Moscow, Russia: Standardin form Publ., 27 p. (In Russ.).
2. Godzikovskaya, A.A. (2016). *Katalog seysmicheskikh sobytiy Ural'skogo regiona s drevneyshikh vremen po 2002 g. (Soputstvuyushchiye pervichnyye materialy)* [Catalog of seismic events in the Ural region from ancient times to 2002 (Accompanying primary materials)]. Moscow, Russia: IFZ RAN Publ., 258 p. (In Russ.).
3. 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>

4. Verkholtantsev, F.G., Gabsatarova, I.P., Guseva, N.S., & Diagilev, R.A. (2021). [Middle Ural earthquake on October 18, 2015, $M_L=4.7$, $I_0=6$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 314–333. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.30>
5. Ulomov, V.I., & Shumilina, L.S. (1999). *Komplekt kart obshchego seismicheskogo raionirovaniia territorii Rossiiskoi Federatsii – OSR-97. Masshtab 1:8 000 000. Ob'iasnitel'naiia zapiska i spisok gorodov i naselennykh punktov, raspolozhennykh v seismoopasnykhraiona* [Set of common seismic zonation maps for the territory of Russian Federation – OSR-97. Scale 1:8 000 000. Explanation note and the list of cities and settlements in seismic prone regions]. Moscow, Russia: UIPE RAS Publ., 57 p. (In Russ.).
6. Varlshova, Yu.V., Verkholtantsev, F.G., Dyagilev, R.A., & Shulakov, D.Yu. (2020). [The epicentral area of the Katav-Ivanovsk earthquake on September 4, 2018 with $M=5.0$ (Urals)]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2018 godu* [Earthquakes in Russia, 2018] (pp. 127–132). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
7. Varlshova, Yu.V., Verkholtantsev, F.G., Dyagilev, R.A., & Shulakov, D.Yu. (2021). [The epicentral area of the Katav-Ivanovsk earthquake on September 4, 2018 with $M=5.0$ (Urals)]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2019 godu* [Earthquakes in Russia, 2019] (pp. 128–130). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
8. Verkholtantsev, F.G., Golubeva, I.V., Dyagilev, R.A., & Zlobina, T.V. (2023). [Seismicity of the Urals and Western Siberia in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 225–238. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.19> EDN: UCPMTP
9. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2018–2019. (2023). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2018/
10. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
11. Spence, W. (1980). Relative epicenter determination using P-wave arrival-time differences. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 70(1), 171–183.
12. Dyagilev, R.A., Verkholtantsev, F.G., Varlshova, Yu.V., Shulakov, D.Yu., Gabsatarova, I.P., & Epifanskiy, A.G. (2020). [Katav-Ivanovsk earthquake on 04.09.2018, $m_b=5.4$ (Urals)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(2), 7–20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.01>
13. Tevelev, Al.V., Tevelev, Ark.V., Khotylev, A.O., Prudnikov, I.A., Volodina, E.A., & Moseichuk, V.M. (2019). [Earthquakes of 2018 in Katav-Ivanovsk (Southern Urals): kinematics of initiating failures]. In *Problemy tektoniki kontinentov i okeanov. Materialy LI Tektonicheskogo soveshchaniya* [Problems of tectonics of continents and oceans. Proceedings of LI seminar on tectonics] (pp. 286–290). Moscow, Russia: GEOS Publ. (In Russ.).
14. Kusonsky, O.A., & Bebnov, A.S. (2018). [Seismic and gravimetric data of earthquakes that occurred in the Chelyabinsk region on September 5 and 29, 2018]. *Ural'skiy geofizicheskiy vestnik* [Ural Geophysical Bulletin], 4(34), 26–35. (In Russ.). EDN: YSAZZZ
15. Puchkov, V.N. (2010). *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nyye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and the near Urals region (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, Russia: DizaynPoligrafServis Publ., 280 p. (In Russ.).
16. Puchkov, V.N. (2000). *Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Russia: GILEM Publ., 146 p. (In Russ.).
17. Knyazev, Yu.G., Knyazeva, O.Yu., Snachev, V.I., Zhdanov, A.V. et al. (2013). *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii Masshtab 1:1 000 000 (tret'ye pokoleniye). Seriya Ural'skaya. List N-40 – Ufa. Ob'iasnitel'naya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Series Ural. Sheet N40 – Ufa. Explanatory letter]. Saint Petersburg, Russia: Kartfabrika VSEGEI Publ., 512 p. + 6 incl. (In Russ.).
18. Ovcharenko, A.V., Davydov, V.A., Shchapov, V.A., & Yurkov, A.K. (2020). [Geophysical research in the epicentral region of the Katav-Ivanovo earthquake (05.09.2018, $M_5.8$)]. *Litosfera* [Lithosphere], 20(3), 432–448. DOI: <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-3-432-448> (In Russ.).
19. Berlyand, N.G. (2007). *Glubinnoye stroyeniye litosfery Urala* [Deep structure of the lithosphere of the Urals]. Saint Petersburg, Russia: VSEGEI Publ., 256 p. (In Russ.).
20. Ovcharenko, A.V., Shchapov, V.A., & Yurkov, A.K. (2019). [Study of the mud flow in the epicentral region of the Katav-Ivanovo earthquake (5.09.2018, $M_5.8$)]. *Ural'skiy geofizicheskiy vestnik* [Ural Geophysical Bulletin], 1(35), 28–32. DOI: <https://doi.org/10.25698/UGV.2019.1.5.28>. EDN: ZZCOHH

21. Dyagilev, R.A., Guseva, N.S., & Verkholtantsev, F.G. (2016). [Anisotropy of the macroseismic field of the Middle Ural earthquake on October 18, 2015]. *Geofizika [Geophysics]*, 5, 42–46. (In Russ.).
22. Guseva, N.S., & Dyagilev, R.A. (2017). [Macroseismic field of Bilimbay earthquake in 1914 at the Urals]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Materialy XII Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of XII International Seismological School] (pp. 133–137). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
23. Verkholtantsev, F.G., Golubeva, I.V., Dyagilev, R.A., & Zlobina, T.V. (2022). [Seismicity of the Urals and Western Siberia in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii [Earthquakes in Northern Eurasia]*, 25(2016–2017), 222–234. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.20>. EDN: CFBNRE
24. Gabsatarova, I.P., Asming, V.E., Verkholtantsev, F.G., Golubeva, I.V., Diaghilev, R.A., Karpinsky, V.V., Konechnaya, Ya.V., Mekhryushev, D.Yu., Nadezhka, L.I., Nesterenko, M.Yu., Noskova, N.N., Petrov, S.I., Pivovarov, S.P., Poigina, S.G., & Sanina, I.A. (2022). [Results of seismic monitoring of various regions of Russia. East European Platform, Urals and Western Siberia]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2020 godu [Earthquakes in Russia, 2020]* (pp. 25–32). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
25. Gabsatarova, I.P., Asming, V.E., Verkholtantsev, F.G., Golubeva, I.V., Diaghilev, R.A., Karpinsky, V.V., Konechnaya, Ya.V., Mekhryushev, D.Yu., Nadezhka, L.I., Nesterenko, M.Yu., Noskova, N.N., Petrov, S.I., Pivovarov, S.P., Poigina, S.G., & Sanina, I.A. (2022). [Results of seismic monitoring of various regions of Russia. East European Platform, Urals and Western Siberia]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2021 godu [Earthquakes in Russia, 2021]* (pp. 25–32). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).