

СРЕДНЕУРАЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 18 октября 2015 г., $ML=4.7$, $I_0=6$ баллов**Ф.Г. Верхованцев¹, И.П. Габсатарова², Н.С. Гусева³, Р.А. Дягилев²**¹ФИЦ ЕГС РАН, г. Пермь, *sombra@mail.ru*,²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, *dra@gsras.ru*,³Горный институт Уральского отделения РАН, г. Пермь, *natali.guseva.2010@mail.ru*

Аннотация. Приведены инструментальные и макросейсмические данные о землетрясении 18.10.2015 г. с $ML=4.7$, произошедшем рядом с пос. Сабик в Свердловской области (Средний Урал) и ощущавшемся в 44 населенных пунктах на расстояниях до 238 км от эпицентра с интенсивностью от 2 до 5 баллов. Значительный объем макросейсмических данных позволил построить карту макросейсмического поля, учитывающую анизотропный характер распространения сейсмического эффекта. С учетом решения механизма очага и тектоники региона обоснован выбор действующей плоскости разрыва.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.30

Для цитирования: Верхованцев Ф.Г., Габсатарова И.П., Гусева Н.С., Дягилев Р.А. Среднеуральское землетрясение 18 октября 2015 г. $ML=4.7$, $I_0=6$ баллов // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 314–323 doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.30

Введение. 18 октября 2015 г. в 21^h44^m по Гринвичу недалеко от пос. Сабик на Среднем Урале (Свердловская область) произошло уникальное сейсмическое событие – тектоническое землетрясение с магнитудой $ML=4.7$. События такой магнитуды – достаточно редкие явления для Уральского региона. Согласно историческим данным, землетрясения большей магнитуды на Урале происходили лишь дважды – 23 мая 1798 г., $MLH=5.3$, в окрестностях г. Перми и 17 августа 1914 г., $MS=5.1$, рядом с пос. Билимбаев ныне Свердловской области [1, 2]. Таким образом, землетрясение 18 октября 2015 г. стало самым сильным за последние 100 лет с момента Билимбаевского землетрясения 1914 г., которое реализовалось в раннеинструментальный период сейсмологических наблюдений и было зафиксировано инструментально [2]. Землетрясение 18 октября сопровождало макросейсмические проявления, толчки ощущались на территории в радиусе до 238 километров от эпицентра, включая такие крупные города, как Екатеринбург и Пермь. Поскольку сотрясения охватили большинство населенных пунктов Среднего Урала, землетрясение получило название Среднеуральского.

Инструментальные данные. Среднеуральское землетрясение было зарегистрировано десятью станциями Уральской сейсмологической сети. Подробные сведения о станциях региональной сети, методике обработки данных и шкале локальных магнитуд ML приведены в основной статье текущего выпуска ежегодника, посвященной обзору сейсмичности Урала в 2015 г. [3]. Сейсмограммы землетрясения представлены на рис. 1. Полученные инструментальные данные позволили определить параметры очага (табл. 1). В этой же таблице представлены решения по данным других агентств. Распределение эпицентров в плане показано на рис. 2.

Таблица 1. Решения параметров очага Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 г.

| Агентство | t_0 , ч мин с | δt_0 , с | Гипоцентр | | | | | Магнитуда/количество станций |
|-----------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------|---|
| | | | φ° , N | $\delta\varphi^\circ$ | λ° , E | $\delta\lambda^\circ$ | h , км | |
| MIRAS | 21 44 55 | – | 57.12 | 0.04 | 59.05 | 0.11 | 12 | $ML_{\text{пер}}=4.7\pm 0.2/10$ |
| OBN | 21 44 51 | – | 57.13 | – | 58.83 | – | 5 | $mb=4.1/8$ |
| EMSC | 21 44 53 | – | 57.09 | – | 58.95 | – | 10f | $mb=4.1$ |
| IDC | 21 44 53 | 0.71 | 57.21 | – | 59.00 | – | 0f | $mb=3.6\pm 0.1/6$, $ML=3.9\pm 0.1/6$ |
| ISC | 21 44 54 | 1.12 | 57.08 | – | 59.03 | – | 14.3 \pm 7.8 | $mb=4.4\pm 0.3/17$ |
| NEIC | 21 44 55 | – | 57.18 | 0.05 | 58.87 | 0.05 | 15.4 \pm 5 | $mb=4.2\pm 0.1/33$ |
| NNC | 21 45 00 | 8.17 | 56.63 | – | 59.57 | – | 4 | $mb=4.4$, $m_{\text{pv}}=4.0$, $K_p=10.3$ |

Примечание. MIRAS – ГИ УрО РАН, Пермь, Россия; OBN – ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск, Россия; EMSC – European-Mediterranean Seismological Centre, Arpajon 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.

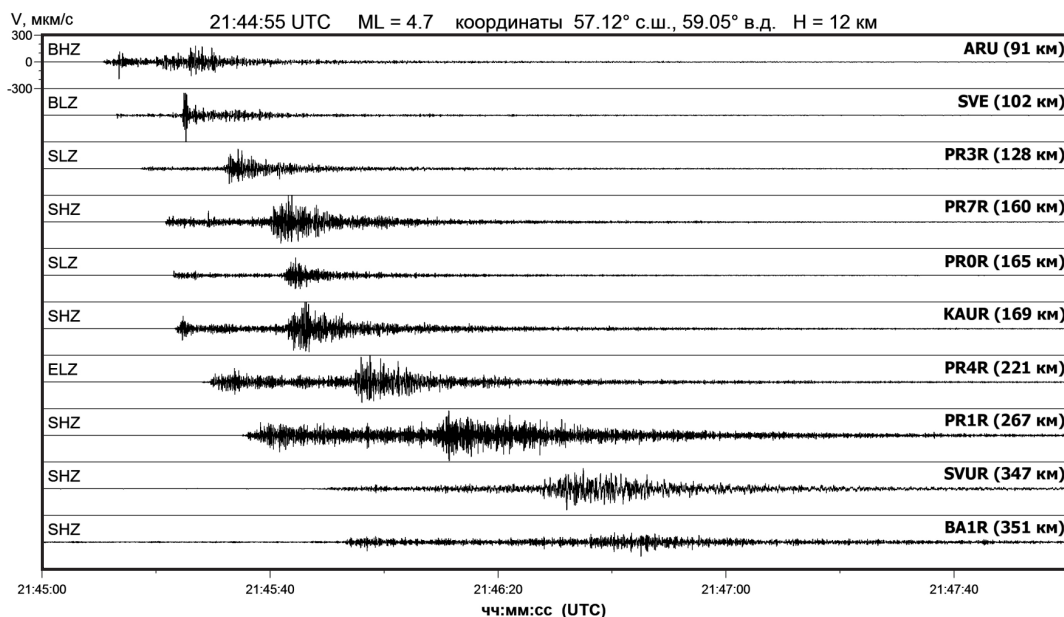


Рис. 1. Сейсмограммы Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 г.

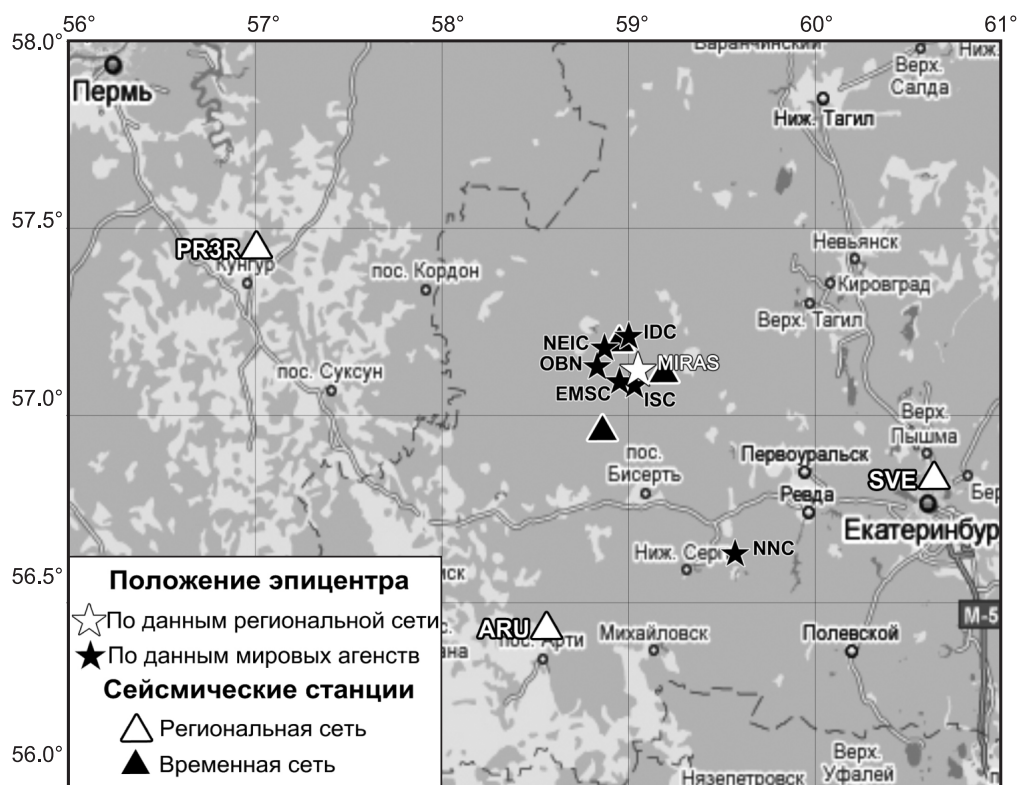


Рис. 2. Решения положения эпицентра Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 г. и положение сейсмических станций

Глубина очага определена инструментально как точка, обеспечивающая минимальные невязки времен вступления объемных волн на ближайших семи станциях.

Решение механизма очага производилось по данным телесеизмических станций, поскольку станции Уральской региональной сети не обеспечивали удовлетворительного окружения эпицентра. В то же время станции, расположенные на удалениях от 0.74° до 19.4° , достаточно равномерно окружали эпицентр. Поэтому с использованием записей 22 телесеизмических станций удалось с приемлемой точностью построить механизм очага (рис. 3 и табл. 2) Среднеуральского землетрясения в программе FA [4].

Согласно полученному решению механизма, движение в очаге произошло под действием преобладающих сил сжатия субширотного направления. Данное представление совпадает с современными данными о напряженном состоянии верхней части земной коры в зоне динамического влияния Уфимского выступа Восточно-Европейской платформы [5]. Тип движения в очаге по крутой нодалной плоскости $NP1$ близмеридионального простираения ($STK=13^\circ$) определен как взбросо-сдвиг с правосторонней сдвиговой компонентой, а по пологой нодалной плоскости $NP2$ юго-восточного простираения ($STK=117^\circ$) – как левосторонний сдвиг со взбросовой компонентой. Плоскость $NP1$ является наиболее вероятной плоскостью подвижки, поскольку она совпадает по направлению с общей (субмеридиональной) ориентацией тектонических структур Урала. Согласно решению для $NP1$, данное землетрясение вызвано поддвигом (погружением) Восточно-Европейской платформы под складчатые сооружения Урала в северо-восточном направлении [6].

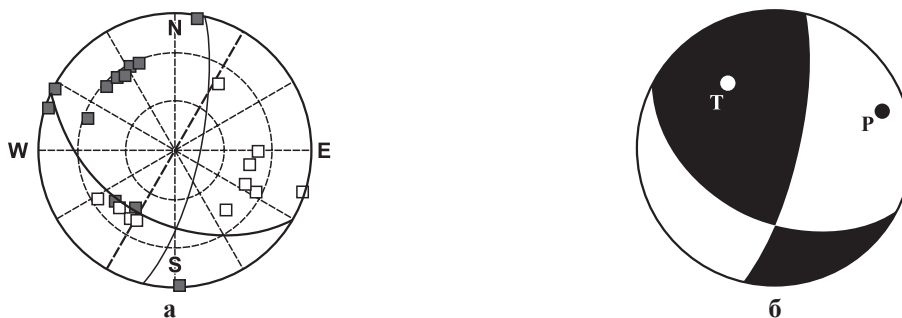


Рис. 3. Механизм очага Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 г.:

- а – расположение знаков первого движения в P -волне на сетке Вульфа относительно нодалных плоскостей (нижняя полусфера), черные квадраты – знаки «+», белые – знаки «-»;
б – диаграмма механизма очага (нижняя полусфера) в соответствии с наиболее вероятным решением по знакам первого вступления P -волн, зачернены области сжатия

Таблица 2. Параметры механизма очага Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 г.

| Оси главных напряжений | | | | | | Нодалные плоскости | | | | | |
|------------------------|-------|------|-------|------|-------|--------------------|------|--------|-------|------|--------|
| T | | N | | P | | $NP1$ | | | $NP2$ | | |
| PL | AZM | PL | AZM | PL | AZM | STK | DP | $SLIP$ | STK | DP | $SLIP$ |
| 42 | 324 | 43 | 179 | 18 | 71 | 13 | 76 | 134 | 117 | 46 | 20 |

В первые сутки после землетрясения в эпицентральной области были установлены три временные сейсмические станции (рис. 2) для регистрации возможных афтершоков. Предполагалось, что по пространственному распределению афтершоков можно будет уточнить размер очаговой зоны, ее ориентацию и глубину. Итоги трехдневных (19–21 октября) наблюдений показали, что очаговая зона «молчит» и слабых афтершоков за землетрясением не последовало.

Макросейсмические данные. Сбор макросейсмических данных был начат в первые сутки после землетрясения. В период с 19 по 21 октября 2015 г. специалистами ГИ УрО РАН и ФИЦ ЕГС РАН производился опрос местных жителей непосредственно в эпицентральной зоне, в результате которого получена большая часть анкет (18) об ощутимости землетрясения. Данные о макросейсмических проявлениях также собирались через Интернет-сайт «Сейсмологический мониторинг территории Западного Урала» [7], где жители населенных пунктов могли ответить на те же вопросы заочно. Кроме того, опросные анкеты были высланы в администрации 50 населенных пунктов, расположенных на периферии зоны сотрясений. В итоге было собрано более 200 анкет из 56 населенных пунктов (табл. 3). Далее приводятся обобщенные сведения о макросейсмических проявлениях землетрясения в различных населенных пунктах. Для каждого указывается расстояние от эпицентра (Δ , км) и количество собранных анкет. При описании использованы количественные характеристики интенсивности в соответствии с определениями, данными в шкале MSK-64 [8]. Стоит отметить, что согласно данным органов ГО и ЧС ни в одном населенном пункте жертв и разрушений нет. В то же время в результате выезда в эпицентральной зону и анализа многочисленных сообщений в Интернете выявлены единичные случаи незначительных повреждений зданий и сооружений.

Сабик. $\Delta=8$ км, количество анкет – 7. Все жители поселка ощущали землетрясение. Нарастающий гул и удар. Многие были встревожены, выбегали на улицу. Некоторые отмечают, что землетрясение ощущалось «как будто в угол дома въехал грузовик» или «земля расходится под домом». Поселок расположен у железной дороги, поэтому первое предположение жителей было, что поезд сошел с рельсов. Дома в основном деревянные, одноэтажные. Повреждений зданий и сооружений нет.

Сарга. $\Delta=11$ км, количество анкет – 5. Практически все жители поселка ощущали землетрясение. Многие просыпались от тряски и дрожи, выбегали на улицу. Некоторые отметили, что землетрясение ощущалось как взрыв. Легкие предметы покачивались. Дома в поселке в основном деревянные, одноэтажные. Повреждений зданий и сооружений нет.

Первомайский. $\Delta=21$ км, количество анкет – 7. Ощущали все жители поселка, кто не спал. Тряска, дрожь, раскачивание. Некоторые просыпались от дрожания кровати. Стекла тряслись, легкие предметы раскачивались. Шумовых эффектов не наблюдалось. Дома все деревянные одноэтажные. Повреждений зданий и сооружений нет.

Старобухарово. $\Delta=24$ км, количество анкет – 4. Практически все жители села ощущали землетрясение. Многие просыпались от тряски и дрожи продолжительностью 20–30 с. Был слышен нарастающий гул. Дома все деревянные одноэтажные. По словам местных жителей, сильнее землетрясение ощущалось у реки: «кровать тряслась, посуда звенела, крупная бытовая техника шаталась». Повреждений зданий и сооружений нет.

Шаля. $\Delta=24$ км, количество анкет – 9. Многие жители поселка, кто не спал, чувствовали землетрясение. Все опрошенные находились во время события на 1-х или 2-х этажах зданий. Прохождение сейсмических волн сопровождалось шумовыми эффектами. Ощущали «толчок, вибрацию, будто снег упал с крыши», «гул, грохот, будто в угол дома въехал грузовик». Висящие предметы слегка раскачивались. Легкие предметы дребезжали. Трактор скатился с пригорка. В администрации отмечают, что увеличилось количество вызовов на станцию скорой помощи. Повреждений зданий и сооружений нет.

Кузино. $\Delta=26$ км, количество анкет – 3. Многие чувствовали прохождение сейсмических волн. Некоторые просыпались от тряски, дрожи, раскачивания. Домашние животные пугались, выбегали из укрытий во время землетрясения. Легкие предметы слегка раскачивались. Повреждений зданий и сооружений нет. В то же время на Каменском водохранилище (пос. Каменка в 5 км от Кузино) глава Кузинского СТУ Александр Овсянников обнаружил небольшую трещину в верхней плите.

Сылва. $\Delta=27$ км, количество анкет – 1. Землетрясение ощущалось отчетливо, как тряска, дрожь. Очевидец находился на 1 этаже. Повреждений зданий и сооружений нет.

Чусовое. $\Delta=27$ км, количество анкет – 3. Многие жители поселка ощущали землетрясение. Некоторые просыпались от тряски, грохота. Легкие предметы раскачивались, дребезжали. У одного из очевидцев в доме на втором этаже осыпалась штукатурка. Падали фотографии, приклеенные к стене. Некоторые отмечали сильный шум и свист. Крупная бытовая техника покачивалась. Повреждений зданий и сооружений нет.

Бисертъ. $\Delta=30$ км, количество анкет – 22. Многие ощущали землетрясение (16 из 22) как тряску, дрожь или раскачивание. Некоторые просыпались. Легкие предметы слегка раскачивались, оконные стекла дребезжали, межкомнатные двери скрипели. Домашние животные проявляли беспокойство до и во время землетрясения. Некоторые очевидцы отмечают шум при прохождении сейсмических волн. Вода в емкостях колебалась. Повреждений зданий и сооружений нет.

Новоуткинск. $\Delta=34$ км, количество анкет – 4. Люди отчетливо чувствовали прохождение сейсмических волн. Некоторые просыпались от тряски, дрожи. Реакция – испуг, удивление. Легкие предметы раскачивались, подрагивали. Легкая мебель подрагивала. В детском саду № 30 на втором этаже потрескались четыре оконных стекла. Других повреждений нет.

Прогресс. $\Delta=34$ км, количество анкет – 1. Землетрясение ощущалось отчетливо на 1 этаже. Спавшие люди проснулись. Реакция на землетрясение спокойная. Повреждений зданий и сооружений нет.

Крылосово. $\Delta=43$ км, количество анкет – 1. Землетрясение ощущалось сильно на 4 этаже. Очевидцы проснулись от тряски. Событие сопровождалось гулом. Повреждений зданий и сооружений нет.

Билимбай. $\Delta=49$ км, количество анкет – 4. Большинство жителей поселка почувствовали землетрясение как тряску, дрожь, некоторые – раскачивание. Землетрясение ощущалось отчетливо. Некоторые просыпались. Движений, раскачиваний предметов не отмечалось. В основном повреждений зданий и сооружений нет. Однако на заводском пруду есть плотина, где периодически делается замер ширины трещины в фундаменте на стыке двух блоков. До землетрясения ширина трещины была 5 мм, после землетрясения ширина трещины увеличилась до 15 мм.

Починок. $\Delta=53$ км, количество анкет – 1. Землетрясение ощущалось отчетливо. Очевидец проснулся от толчка. Землетрясение сопровождалось шумом.

Первоуральск. $\Delta=60$ км, количество анкет – 3. Население города намного превышает количество населения ближайших к эпицентру поселков. При очном опросе небольшой группы людей макросейсмических проявлений не было выявлено. Однако согласно данным опроса через Интернет, макросейсмический эффект в Первоуральске все же имел место. Землетрясение отчетливо ощущалось людьми в помещении на 1–2 этажах. Люди, которые спали, просыпались, испытывали тревогу, испуг. Легкие предметы раскачивались, дребезжали, оконные стекла дрожали, «отражение в зеркале от вибрации искривлялось». Жидкости в емкостях колебались. Очевидцы отметили гул и последующую вибрацию. У некоторых от вибрации «разболелась голова», «затошнило». Повреждений зданий и сооружений нет.

Тарасково. $\Delta=61$ км, количество анкет – 2. Ощущалось некоторыми людьми в помещении на 2–3 этажах. Ощущение – «будто машина въехала в дом». Оконные стекла дрожали, легкие предметы двигались, шатались. Прохождение сейсмических волн сопровождалось шумом. Повреждений зданий и сооружений нет.

Арти. $\Delta=84$ км, количество анкет – 12. Ощущалось некоторыми людьми в помещении на первом этаже. Большинство опрошенных проснулось от отчетливо ощущаемых тряски и дрожи. Сотрудник сейсмической станции бодрствовал и выбежал из помещения. Отдельные жители поселка отмечают дребезжание посуды и перемещение мелких предметов, при этом лишь один обратил внимание, что висячие предметы не раскачиваются. Повреждений зданий и сооружений нет.

Екатеринбург. $\Delta=96–105$ км, количество анкет – 8. Землетрясение ощущалось в помещениях различной этажности. На первых этажах – отчетливо, на втором и третьем – сильно, на шестом и седьмом – отчетливо, на восьмом-одиннадцатом – отчетливо, на двенадцатом и выше – слабо. Прохождение сейсмических волн ощущалось как тряска, дрожь, вибрация. Легкие висячие предметы раскачивались, фарфор и стеклянные предметы дребезжали, легкая мебель раскачивалась. Люди просыпались, испытывали удивление, тревогу, испуг. Повреждений зданий и сооружений нет.

Кунгур. $\Delta=130$ км, количество анкет – 4. Ощущалось людьми в помещениях на 1–2 этажах. Опрошенные очевидцы отчетливо почувствовали землетрясение как тряску, дрожь. Легкие предметы слегка раскачивались, оконные стекла дребезжали, межкомнатные двери поскрипывали. Повреждений зданий и сооружений нет.

Пермь. $\Delta=193$ км, количество анкет – 17. Землетрясение ощущалось только на разных этажах в разных зданиях. Среди опрошенных более половины не почувствовали землетрясения, остальные чувствовали слабо или отчетливо. Некоторые ощущали раскачивание, в большинстве случаев тряску, дрожь. Люди удивлялись, но сохраняли спокойствие. Несколько человек отметили легкое раскачивание легких предметов, волнение домашних животных. Шумовых эффектов не отмечалось. Повреждений зданий и сооружений нет.

Сведения об интенсивности, в баллах шкалы MSK-64, обобщены в табл. 3. По результатам обработки макросейсмических анкет была построена карта макросейсмического поля (рис. 4 а).

Таблица 3. Макросейсмические данные о Среднеуральском землетрясении 18 октября 2015 г.

| № | Пункт | Δ , км | Координаты пункта | | № | Пункт | Δ , км | Координаты пункта | |
|---|-------------------|---------------|---------------------|---------------------|----|-------------|---------------|---------------------|---------------------|
| | | | φ° , N | λ° , E | | | | φ° , N | λ° , E |
| | 5 баллов | | | | 5 | Шаля | 24 | 57.25 | 58.73 |
| 1 | Сабик | 8 | 57.11 | 59.18 | 6 | Кузино | 26 | 57.02 | 59.44 |
| 2 | Сарга | 11 | 57.2 | 58.94 | 7 | Сылва | 27 | 57.31 | 58.79 |
| | 4-5 баллов | | | | 8 | Чусовое | 27 | 57.34 | 59.25 |
| 3 | Первомайский | 21 | 56.96 | 58.86 | 9 | Бисерть | 30 | 56.85 | 59.06 |
| 4 | Старобухарово | 24 | 56.92 | 58.94 | 10 | Новоуткинск | 34 | 56.99 | 59.56 |

| № | Пункт | Δ , км | Координаты пункта | |
|------------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| | | | φ° , N | λ° , E |
| 11 | Крылосово | 43 | 56.95 | 59.69 |
| 12 | Первоуральск | 60 | 56.9 | 59.96 |
| 4 балла | | | | |
| 13 | Староуткинск | 21 | 57.23 | 59.33 |
| 14 | Илим | 28 | 57.37 | 58.97 |
| 15 | Прогресс | 34 | 57.03 | 59.59 |
| 16 | Первомайское | 44 | 56.82 | 59.53 |
| 17 | Билимбай | 49 | 56.97 | 59.82 |
| 18 | Нижние Серги | 53 | 56.66 | 59.30 |
| 19 | Тарасково | 61 | 57.13 | 60.06 |
| 20 | Новоуральск | 64 | 57.25 | 60.08 |
| 21 | Русский Потам | 65 | 56.89 | 58.07 |
| 22 | Калиново | 66 | 57.13 | 60.15 |
| 23 | Арти | 84 | 56.42 | 58.53 |
| 24 | Екатеринбург | 99 | 56.84 | 60.61 |
| 25 | Кунгур | 131 | 57.43 | 56.96 |
| 3-4 балла | | | | |
| 26 | Починок | 53 | 57.07 | 59.93 |
| 27 | Афанасьевское | 56 | 56.82 | 58.29 |
| 28 | Висим | 65 | 57.65 | 59.51 |
| 29 | В.Пышма | 92 | 56.98 | 60.55 |
| 30 | Нязепетровск | 125 | 56.04 | 59.6 |
| 31 | Большое Заозерье | 142 | 57.59 | 56.86 |
| 3 балла | | | | |
| 32 | Шамары | 56 | 57.34 | 58.22 |
| 33 | Большой Ут | 65 | 57.01 | 57.99 |

| № | Пункт | Δ , км | Координаты пункта | |
|---------------------|-----------------|---------------|---------------------|---------------------|
| | | | φ° , N | λ° , E |
| 34 | Молебка | 68 | 57.24 | 57.95 |
| 35 | Кын | 82 | 57.8 | 58.51 |
| 36 | Красноуфимск | 94 | 56.63 | 57.79 |
| 37 | Нижний Тагил | 105 | 57.92 | 59.98 |
| 38 | Спасо-Барда | 106 | 57.36 | 57.35 |
| 39 | Сысерть | 127 | 56.5 | 60.82 |
| 2-3 балла | | | | |
| 40 | Ачит | 78 | 56.8 | 57.9 |
| 41 | Кыштым | 180 | 55.72 | 60.55 |
| 42 | Чернушка | 192 | 56.51 | 56.07 |
| 43 | Пермь | 193 | 58 | 56.30 |
| 2 балла | | | | |
| 44 | Миасс | 238 | 55.05 | 60.11 |
| Не ощущалось | | | | |
| 45 | Манчаж | 90 | 56.48 | 58.14 |
| 46 | Полевской | 101 | 56.48 | 60.24 |
| 47 | Сарана | 107 | 56.48 | 57.73 |
| 48 | Октябрьский | 130 | 56.51 | 57.21 |
| 49 | Лысьва | 132 | 58.1 | 57.81 |
| 50 | Сарс | 132 | 56.55 | 57.13 |
| 51 | Щучье Озеро | 162 | 56.47 | 56.64 |
| 52 | Артемовский | 172 | 57.36 | 61.87 |
| 53 | Нововильвенский | 178 | 58.71 | 58.71 |
| 54 | Медведка | 180 | 58.74 | 59.10 |
| 55 | Троицкое | 188 | 56.71 | 62.08 |
| 56 | Средняя Усьва | 209 | 59 | 58.92 |

Карта изосейст, построенная по первичным данным с использованием программного пакета Surfer 13 (метод Kriging), показывает не только вытянутый в субмеридиональном направлении характер макросейсмического поля (рис. 4 а), но и демонстрирует наличие в нем двух максимумов интенсивности: наибольший (5 баллов) – в эпицентре и второй по значимости (3–4 балла) – к западу-северо-западу от эпицентра, на территории Пермского края. Пространственная анизотропия характерна для многих реальных макросейсмических полей [9, 10]. В то же время, несмотря на то, что был получен большой объем первичных данных, исследуемая территория не обеспечивает благоприятных географических условий для представительного сбора сведений о макросейсмических проявлениях. Неравномерное расположение населенных пунктов и наличие обширных необитаемых районов делает уместным применение для расчета макросейсмического поля специальных аппроксимационных подходов. Мы воспользовались способом, предложенным в работе [11] для корректного построения макросейсмических полей землетрясений зоны Вранча и Крыма, имевших ограниченную территориальную представительность первичных макросейсмических данных.

Согласно данному подходу, основой для описания анизотропных макросейсмических полей служит уравнение Блейка-Шебалина:

$$I(r)=1.5MLH-b\lg(r)+c, \quad (1)$$

где r – гипоцентрально-расстояние в км, b и c – эмпирические коэффициенты. Здесь для b может быть выделена азимутально-зависимая неоднородность вида:

$$b = b_0 + \sum_{k=1}^n [B_{sk} \sin(ak) + B_{ck} \cos(ak)], \quad (2)$$

где n – порядок тригонометрического полинома, отвечающего за пространственную асимметрию расчетного поля. Для поиска неизвестных компонент – c , b_0 , B_{sk} , B_{ck} – используется метод наименьших квадратов.

Использование данного подхода применительно к Среднеуральскому землетрясению детально изложено нами в работе [12]. Итоговое представление макросейсмического поля, характеризующегося простой овальной формой изосейст, получается при $n=2$ и коэффициентах $b_0=3.18$, $c=2.48$, $B_{sk1}=0.0963$, $B_{ck1}=-0.0484$, $B_{sk2}=-0.136$, $B_{ck2}=-0.0574$ (рис. 4 б).

Поле изосейст при $n=2$ отражает генерализованное представление об анизотропии затухания сейсмических волн, характер которого говорит о сильном азимутальном различии коэффициентов макросейсмического уравнения. Ось распространения преобладающих колебаний имеет азимут 306° . Очевидно, это связано с положением и ориентацией основных тектонических структур Урала, проходя через которые сейсмический эффект затухает слабее. Аппроксимация поля в виде тригонометрического полинома позволяет оценить интенсивность непосредственно в эпицентре, где нет точек наблюдения. Подставив найденные коэффициенты в выражения (1) и (2), получаем $I_0=5.8$ баллов, что, с учетом возможной ошибки в 1 балл, близко к фактическим величинам, выявленным в результате опроса в ближайших к эпицентру населенных пунктах (Сабик, Сарга и Чусовое). Положение эпицентра, определенное по макросейсмическим данным ($\varphi=57.09^\circ$ N, $\lambda=59.10^\circ$ E.), совпадает, с учетом ошибок, с инструментальным определением эпицентра ($\varphi=57.12\pm 0.04^\circ$ N, $\lambda=59.05\pm 0.11^\circ$ E), что свидетельствует о корректности аппроксимации.

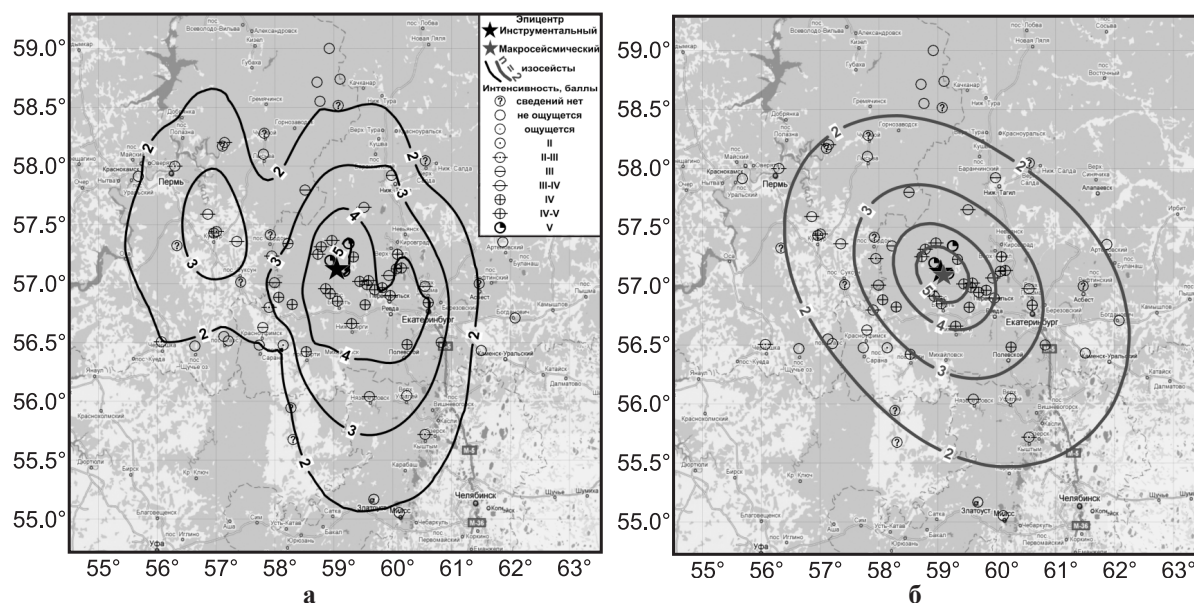


Рис. 4. Варианты представления карты макросейсмического поля Среднеуральского землетрясения: а – интерполяция методом Kriging; б – аппроксимация рядом Фурье с порядком тригонометрического полинома $n=2$

Наличие аппроксимированного макросейсмического поля позволило произвести оценку макросейсмической глубины h_m с использованием уточненного для условий Урала [13] уравнения Блейка–Шебалина (3). Магнитуда $M=M_{LN}=M_S$, используемая в (3), рассчитывалась из соотношения (4) [13].

$$I_0=1.5M-2.9\lg h+2.13 \quad (3)$$

$$M_S=1.33ML-1.73 \quad (4)$$

Также были получены решения по площадям высших изосейст макросейсмического поля ($S_5=2234 \text{ км}^2$, $S_4=7982 \text{ км}^2$, $S_3=26298 \text{ км}^2$) согласно формулам, представленным в [14]. В табл. 4 приведены в сравнении варианты решения глубины гипоцентра Среднеуральского землетрясения по инструментальным и макросейсмическим данным.

Таблица 4. Решения параметров гипоцентра Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 г.

| Вариант решения | h , км |
|----------------------------------|----------|
| По инструментальным данным | 12.0 |
| Уравнение Блейка–Шебалина (3) | 9.3 |
| По площади высшей изосейсты | 12.0 |
| По площадям трех высших изосейст | 11.2±2.5 |

Учитывая, что глубины, полученные по результатам обработки макросейсмических данных, близки к инструментальному определению, глубину $h=12$ км можно принять близкой истинному значению.

Тектоническая позиция очага. Эпицентр землетрясения пространственно локализован в зоне контакта Предуральского краевого прогиба с шарьяжной структурой Западно-Уральской зоны складчатости [15] (рис. 5). Локализация очага на глубине около 12 км может отражать динамическое проявление структурно-вещественных процессов в земной коре на границе восточной окраины Русской плиты и неотектонической области складчатого Урала.

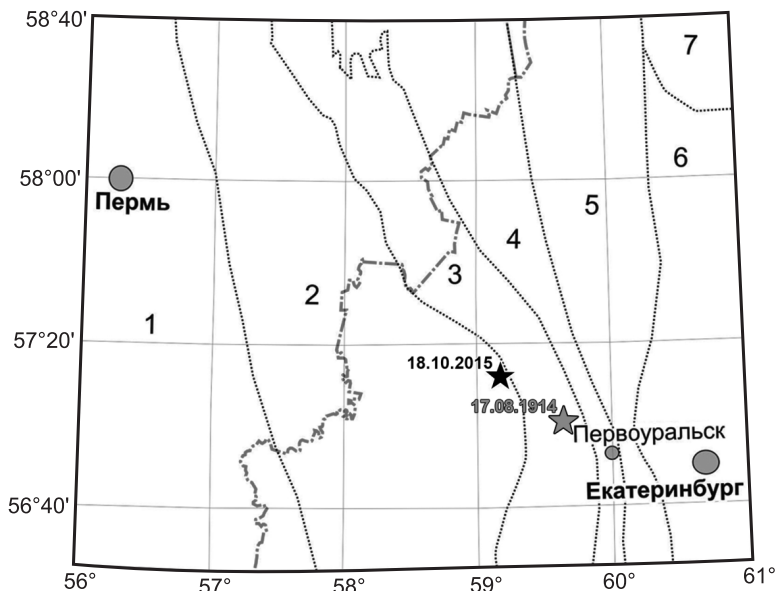


Рис. 5. Пространственное положение эпицентров Среднеуральского 18.10.2015 (черный) и Билимбаевского землетрясений 17.08.1914 (серый) на тектонической схеме Среднего Урала

Цифрами показаны тектонические структуры: 1 – Волго-Уральская антеклиза; 2 – Предуральский краевой прогиб; 3 – Западно-Уральская зона складчатости; 4 – Центрально-Уральское поднятие; 5 – Тагило-Магнитогорский прогиб; 6 – Восточно-Уральское поднятие; 7 – Восточно-Уральский прогиб; пунктирной линией – граница Пермского края и Свердловской области.

Закключение. Рассматривая положение гипоцентра Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 г. относительно уточненного положения [2] другого сильнейшего Уральского землетрясения – Билимбаевского 17 августа 1914 г. – можно отметить следующее. Несмотря на близость очагов данных землетрясений – порядка 40 км, их тектоническая позиция несколько отличается (рис. 5). Гипоцентр Среднеуральского землетрясения, скорее всего, приурочен к блоковым структурам архейско-протерозойского фундамента Восточно-Европейской платформы, погружающимся под складчатые сооружения Урала. В то же время гипоцентр Билимбаевского землетрясения, с учетом его глубины, приурочен к границе с собственно Уральскими складчатыми сооружениями. Вместе с тем не вызывает сомнений тот факт, что оба землетрясения обусловлены продолжающимся и в современное время движением Уфимского выступа Восточно-Европейской плиты. Данное тектоническое образование медленно (до 20 мм в год) смещается на восток, вклиниваясь в Уральскую складчатую область [6]. Напряжения, возникающие в земной коре вследствие этого процесса, периодически сбрасываются в виде ощутимых землетрясений.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках темы НИР АААА-А20-120060890034-7 госзадания № 075-00576-21, с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Л и т е р а т у р а

1. Годзиковская А.А. Каталог сейсмических событий Уральского региона с древнейших времён по 2002 г. (Сопутствующие первичные материалы). – М.: ИФЗ РАН, 2016. – 258 с.
2. 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: 10.35540/2686-7907.2020.1.04

3. Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Злобина Т.В. Сейсмичность Урала и Западной Сибири в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 200–209. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.19
4. Ландер А.В. Описание и инструкция для пользователя комплекса программ FA (расчет и графическое представление механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений Р-волн). – М.: Фонды автора, 2006. – 27 с.
5. Кашубин С.Н., Дружинин В.С., Гуляев А.Н., Кусонский О.А., Ломакин В.С., Маловичко А.А., Никитин С.Н., Парыгин Г.Н., Рыжий Б.П., Уткин В.И. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 124 с.
6. Уткин В.И., Белоусова А.А., Тягунов Д.С., Баландин Д.В. Исследование геодинамики Северного и Среднего Урала по данным GPS // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 431, № 2. – С. 246–251.
7. Сейсмологический мониторинг Западного Урала. (2021). [Site]. – URL: <http://pts.mi-perm.ru/region/index.htm>
8. Сейсмическое районирование СССР / под ред. С.В. Медведева. – М.: Наука, 1968. – 476 с.
9. Дягилев Р.А., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В. Качканарское землетрясение 29 марта 2010 г. с $K_p=12.1$, $M_w=4.4$, $I_0=5$ (Средний Урал) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 19 (2010 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 336–346.
10. Джанузаков К.Д. Региональные особенности затухания интенсивности сотрясений сильных землетрясений Кыргызстана и прилегающих к нему районов. // Вестник института сейсмологии НАН КР. – 2003. – № 2. – С. 11–16.
11. Кульчицкий В.Е. Оценка параметров затухания интенсивности анизотропных макросейсмических полей // Геофизический журнал. – 2014. – Т. 36, № 2. – С. 138–149.
12. Дягилев Р.А., Гусева Н.С., Верхоланцев Ф.Г. Анизотропия макросейсмического поля Среднеуральского землетрясения 18 октября 2015 года // Геофизика. – 2016. – № 5. – С. 42–46.
13. Петрова Н.В., Дягилев Р.А., Габсатарова И.П. Особенности затухания сейсмического эффекта землетрясений Русской платформы и Урала // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 5–25. doi: 10.21455/VIS2020.4-1
14. Шебалин Н.В. Количественная макросейсмика // Вычислительная сейсмология. – 2003. – № 34. – С. 57–200.
15. Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. – Уфа: ГИЛЕМ, 2000. – 146 с.

MIDDLE URAL EARTHQUAKE on October 18, 2015, $ML=4.7$, $I_0=6$

F.G. Verkholtantsev¹, I.P. Gabsatarova², N.S. Guseva³, R.A. Dyagilev²

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

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

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

Abstract. Instrumental and macroseismic data on the earthquake of 18.10.2015 at 21^h44^m UTC, $ML=4.7$, $I_0=6$ in the Sverdlovsk region, near the village of Sabik (Middle Urals) are presented. A significant amount of macroseismic data made it possible to build a map of the macroseismic field, taking into account the anisotropic nature of the propagation of the seismic effect. Taking into account the decision of the focal mechanism, the tectonic position of the source was substantiated.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.30

For citation: Verkholtantsev, F.G., Gabsatarova, I.P., Guseva, N.S., & Dyagilev, R.A. (2021). [Middle Ural earthquake on October 18, 2015, $ML=4.7$, $I_0=6$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 314–323. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.30

References

1. Godzikovskaya, A.A. (2016). *Katalog seysmicheskikh sobytiy Ural'skogo regiona s drevneyshikh vremyon 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.).

2. Malovichko, A.A., Morozov, A.N., Vaganova, N.V., Asming, V.E., Dyagilev, R.A., & Evtuygina, 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: 10.35540/2686-7907.2020.1.04
3. Malovichko, A.A., Dyagilev, R.A., Verkholtantsev, F.G., Golubeva, I.V., & Zlobina, T.V. (2021). [Seismicity of the Urals and Western Siberia in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 200–209. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.19
4. Lander, A.V. (2006). *Opisaniye i instruktsiya dlya pol'zovatelya kompleksa programm FA (raschet i graficheskoye predstavleniye mekhanizmov ochagov zemletryaseniya po znakam pervykh vstupleniy R-voln)* [Description and instructions for the user of the FA program complex (calculation and graphical representation of the focal mechanism by the signs of the first arrivals of P-waves)]. Moscow, Russia. 27 p. (In Russ.).
5. Kashubin, S.N., Druzhinin, V.S., Gulyaev, A.N., Kusonskiy, O.A., Lomakin, V.S., Malovichko, A.A., Nikitin, S.N., Parigin, G.N., Ryzhiy, B.P., & Utkin, V.I. (2001). *Seysmichnost' i seysmicheskoye rayonirovaniye Ural'skogo regiona* [Seismicity and seismic zonation of the Ural region]. Ekaterinburg, Russia: UrO RAN Publ., 124 p. (In Russ.).
6. Utkin, V.I., Belousova, A.A., Tiagunov, D.S., & Balandin, D.V. (2010). [Research of geodynamics of the Northern and Middle Urals according to GPS data]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], 431(2), 246–251. (In Russ.).
7. Seismological monitoring of the Western Urals. (2021). Retrieved from <http://pts.mi-perm.ru/region/index.htm>
8. Medvedev, S.V. (1968). *Seismicheskoe raionirovaniye SSSR* [Seismic zonation of the USSR]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 476 p. (In Russ.).
9. Dyagilev, R.A., Verkholtantsev, F.G., & Golubeva, I.V. (2016). [Kachkanar earthquake on March 29, 2010 with $K_R=12.1$, $M_w=4.4$, $I_0=5$ (Middle Urals)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2010 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 336–346). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
10. Dzhanzuzakov, K.D. (2003). [Regional features of attenuation of the intensity of shaking of strong earthquakes in Kyrgyzstan and adjacent regions]. *Vestnik instituta seismologii NAN KR* [Bulletin of the Institute of Seismology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic], 2, 13–16. (In Russ.).
11. Kulchitsky, V.E. (2014). [Estimation of attenuation parameters of the intensity of anisotropic macroseismic fields]. *Geofizicheskiy zhurnal* [Geophysical journal], 36(2), 138–149. (In Russ.).
12. 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* [Russian Geophysics], 5, 42–46. (In Russ.).
13. Petrova, N.V., Dyagilev, R.A., & Gabsatarova, I.P. (2020). [Features of seismic effect attenuation of the Russian platform and Ural earthquakes]. *Voprosy Inzhenernoi Seismologii* [Seismic Instruments], 47(4), 5–25. (In Russ.). doi: 10.21455/VIS2020.4-1
14. Shebalin, N.V. (2003). [Quantitative macroseismic]. *Vychislitel'naya seysmologiya* [Computational seismology], 34, 57–200. (In Russ.).
15. Puchkov, V.N. (2000). *Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Russia: GILEM Publ., 280 p. (In Russ.).