УДК 550.23 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-68-80

Зоны возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений на Урале

Гуляев А. Н.[1]*, Осипова А. Ю.[1]
[1] Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: usc_alex@mail.ru

Реферат

Введение. *Современный Уральский горный пояс, представляет собой новейший эпиплатформенный эпипалеозойский ороген, возникший предположительно в течение последних 30 млн лет в западной части более древнего допалеозойско-палеозойского горно-складчатого пояса, центральной структурой которого является древнее (рифей-вендское) Центрально-Уральское поднятие. В мезозойско-кайнозойское время активность тектонических и вулкано-магматических процессов в недрах Урала снизилась, и Урал вступил в период платформенного развития, характеризующийся медленными эпейрогеническими движениями земной коры. В последние приблизительно 30 млн лет в эпоху альпийского тектогенеза произошло возрождение Уральского горного пояса. Этот процесс продолжается на современном этапе и сопровождается редко происходящими ощутимыми землетрясениями силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64, не представляющими опасности для инженерных сооружений и жизни людей.*

Целью работы *является оценка связи сейсмичности Урала с разновозрастными геолого-тектоническими структурами и составление схемы зон возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зон ВОЗ).*

Методика работы *заключалась в оценке пространственного положения эпицентров ощутимых землетрясений в центральной части Уральского региона относительно палеозойских и допалеозойских геолого-тектонических структур.*

В результате *выполненного исследования установлено, что эпицентры ощутимых землетрясений центральной части Уральского региона сосредоточены в пределах Среднего Урала и прилегающих частях Северного и Южного Урала и локализованы преимущественно в субмеридиональных зонах, охватывающих с запада и с востока субмеридиональную область допалеозойского Центрально-Уральского поднятия, сложенного метаморфическими породами допалеозойского возраста. Упомянутые зоны могут рассматриваться как зоны ВОЗ, а область Среднего Урала и прилегающие части Северного и Южного Урала – как область возможного возникновения очагов землетрясений силой до 5–6 баллов по шкале MSK-64.*

Ключевые слова: *новейший эпипалеозойский эпиплатформенный ороген; эпоха альпийского тектогенеза; Центрально-Уральское поднятие; зоны возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зоны ВОЗ).*

Введение. Земная кора Урала за последние 1,5 млрд лет пережила ряд мегациклов тектонического развития [1, 2], в результате которых возник современный Уральский горно-складчатый пояс, представляющий собой, согласно [1–3], новейший эпиплатформенный эпипалеозойский ороген, возникший предположительно в течение последних 30 млн лет в западной части более древнего допалеозойско-палеозойского горно-складчатого пояса, центральной структурой в рельефе земной поверхности которого является древнее (рифей-вендское) Центрально-Уральское поднятие.

В мезозойско-кайнозойское время активность тектонических и вулкано-магматических процессов в недрах Урала снизилась, и земная кора Урала вступила в период платформенного развития, характеризующийся более медленными, чем в палеозое, эпейрогеническими движениями. В этот период возникшие в палеозой-

ское время Уральские горы были в значительной степени разрушены процессами выветривания и денудации.

Позднее, в новейшее время, произошло обновление Уральского горного пояса [1–3]. На современном этапе в Уральском регионе и прилегающих к нему территориях земная поверхность погружается со скоростью около нескольких миллиметров в год (*Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территорию СССР (СВДЗК). Масштаб 1:5 000 000 / под ред. Л. А. Кашина. ГУГК, 1989.*). На фоне этого процесса в регионе отмечаются редко происходящие ощутимые землетрясения силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64, не представляющие опасности для инженерных сооружений и жизни людей. Можно предположить, что эти землетрясения сопровождают процесс становления новейшего Уральского орогена на современном этапе.

До 1997 г. Урал относился к асейсмичным и слабосейсмичным регионам, в пределах которых при проектировании и строительстве инженерных сооружений не было необходимости учитывать величину расчетной силы сейсмического воздействия, но в 1997 г. по результатам Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97 Урал был отнесен к потенциально сейсмичным регионам (*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 / под ред. В. Н. Страхова, В. И. Уломова. Москва, 1999. 56 с.*), и актуальной стала задача детального сейсмического районирования Урала. В рамках решения этой задачи важным является выделение зон возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зон ВОЗ) и детальное районирование рассматриваемой территории по величине силы сейсмического воздействия на инженерные сооружения.

Целью работы является оценка связи сейсмичности Урала с разновозрастными геолого-тектоническими структурами и составление схемы зон возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зон ВОЗ) и схемы детального сейсмического районирования центральной части Уральского региона.

Методика работы заключалась в оценке пространственного положения эпицентров ощутимых землетрясений в центральной части Уральского региона относительно палеозойских и допалеозойских геолого-тектонических структур.

Методика включала:

– анализ пространственного расположения эпицентров наблюдавшихся ранее ощутимых Уральских землетрясений относительно геолого-тектонических структур центральной части Уральского региона и зон ВОЗ;

– детальное районирование центральной части Уральского региона по величине силы сейсмического воздействия с использованием данных о наблюдавшихся в предыдущие годы ощутимых землетрясениях.

Результаты. Анализ имеющегося сейсмологического материала [4–10] позволяет выделить в пределах Среднего и северной части Южного Урала Западно-Уральскую и Восточно-Уральскую субмеридиональные зоны ВОЗ, в которых ранее отмечалось возникновение очагов ощутимых землетрясений. Эти зоны протягиваются вдоль западного и восточного склонов и подножья Среднего Урала и примыкающих к нему участков Южного и Северного Урала. Они приурочены к западной и восточной пограничным зонам Центрально-Уральского поднятия, в пределах которого обнажаются метаморфиты допалеозойского фундамента и предположительно могут представлять собой реликтовые палеозойские зоны деформации верхней части земной коры (флексурно-разрывные зоны), являющиеся на современном этапе структурами, проницаемыми для флюидов и газов, ко-

торые могут способствовать возникновению ощутимых землетрясений. Предполагается, что в пределах этих зон возможно возникновение очагов ощутимых землетрясений в будущем.

Западно-Уральская зона ВОЗ протягивается в субмеридиональном направлении вдоль западного склона южной части Северного, Среднего Урала и Северной части Южного Урала и приурочена преимущественно к позднепалеозойской Западно-Уральской внешней зоне складчатости и надвигов, сложенной преимущественно палеозойскими осадочными породами (рис. 1). Зона содержит очаги следующих ощутимых землетрясений (перечисление землетрясений в направлении с севера на юг), макросейсмическое описание которых приведено в работах [4, 5]:

1. Землетрясение 25.10.1993 г. с эпицентром в районе г. Березники Пермской области с магнитудой по инструментальным данным около 3,2 и силой сотрясения в эпицентре около 4 баллов по шкале MSK-64, глубина очага оценивается как 4 км [5]. Землетрясение произошло в пределах Верхнекамского месторождения минеральных солей, располагающегося в пределах палеозойского Предуральского предгорного прогиба, сложенного карстующимися породами (известняками, эвапоритами и пр.). Поэтому не исключено, что данное землетрясение было вызвано обвалом (обрушением) карстовой полости.

2. Землетрясения 06.03.1911 г. и 08.11.1911 г. с эпицентрами в долине р. Косьва (левый приток р. Кама). Ощутимыми землетрясениями был охвачен район расположения населенных пунктов (деревень) Милкова, Тихая, Ярино Пермской области. Магнитуда событий по косвенным данным оценивается как 3,0, сила сотрясения в эпицентре – 5 баллов по шкале MSK-64. Глубина очага по косвенным данным оценивается как небольшая – около 0,1 км [5]. Эпицентры событий были локализованы в пределах Предуральского прогиба и в западной пограничной зоне Западно-Уральской зоны складчатости и надвигов, в строении которых принимают участие карстующиеся породы. Не исключено, что данные землетрясения были вызваны обрушением карстовых полостей.

3. Землетрясение 28.07.1956 г. Эпицентр события по макросейсмическому описанию, приведенному в [5], мог располагаться предположительно в районе г. Лысьва Пермской области в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости и надвигов. Магнитуда события по инструментальным данным оценивается как 4,0, сила сотрясения в эпицентре по макросейсмическим данным – 5 баллов по шкале MSK-64, глубина очага около 15 км [5]. Предполагается, что событие могло иметь тектоническую природу.

4. Землетрясение 23.05.1798 г. Эпицентр по макросейсмическому описанию события [4, 5] предположительно мог располагаться в районе пос. Кын Пермской области в долине р. Чусовая в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости и надвигов. Магнитуда события по косвенным данным оценивается как 5,3, сила сотрясения по макросейсмическим данным в эпицентре – в 4,5 балла по шкале MSK-64, глубина очага по макросейсмическим данным около 26 км [5]. Предполагается, что событие могло иметь тектоническую природу.

5. Землетрясение 29.11.1832 г. в окрестностях г. Нижний Тагил. Эпицентр располагался к западу от города, «подле главного кряжа Урала на западной его покатости» [4, 5]. В геолого-тектонических структурах эпицентр события мог располагаться в ближней зоне геодинамического влияния Главного Уральского глубинного разлома (ГУГР). Магнитуда события по косвенным данным оценивается в 3,0, сила сотрясения в эпицентре – в 4 балла по шкале MSK-64, глубина очага около 10 км. Данное событие могло иметь тектоническую природу.

6. Землетрясение 17.08.1914 г., получившее название «Билимбаевское», самое сильное на Урале на сегодняшний день [4, 5]. Эпицентр располагался в районе

пос. Билимбай Свердловской области приблизительно в 60 км к запад-северо-западу от Екатеринбурга в южном замыкании Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория Центрально-Уральского поднятия. Вследствие того, что на данном участке ширина горного Урала значительно уменьшается, образуя так называемый Центрально-Уральский пережим [11], эпицентр и очаг Билимбаевского землетрясения могут принадлежать как Западно-Уральской, так и Восточно-Уральской зонам ВОЗ, которые сближаются и практически сливаются на данном участке. Магнитуда события оценивается как 4,5–5,0 [5], а сила сотрясения в эпицентре как 6,0–6,5 баллов по шкале MSK-64. Глубина очага около 25 км [5]. В эпицентральной зоне данного события, согласно [5], в русле р. Трека (правый приток р. Чусовая) возник ключ, «из которого вытекала под видимым напором почти черная как деготь жидкость, державшаяся на поверхности воды в р. Трека. Это явление наблюдалось до зимы». Возможно, это была нефть, выжимаемая из структуры подобно грязевому вулкану избыточным давлением ювенильных газов. Данное событие могло иметь тектоническую природу.

7. Землетрясение 18.08.2002 г. в районе г. Златоуст Челябинской области. Магнитуда по инструментальным оценкам оценивается как 2,7, сила сотрясения в эпицентре – 4 балла по шкале MSK-64, глубина очага – 6 км [5]. Данное событие могло иметь тектоническую природу.

8. Землетрясение 07.07.2004 г. в районе г. Катав-Ивановск Челябинской области. Эпицентр события располагался предположительно в 10 км к западу от г. Катав-Ивановск. Магнитуда события по инструментальным данным – 2,1–2,8, сила сотрясения в эпицентре оценивается в 4 балла по шкале MSK-64, глубина очага около 4,0 км [7].

9. Землетрясения в сентябре 2018 г. в районе г. Катав-Ивановск Челябинской области. Эпицентры событий располагались предположительно в 10–15 км к западу и северо-западу от г. Катав-Ивановск. Наиболее сильным было событие 05.09.2018 г. с магнитудой по инструментальным данным около 4,1 и силой сотрясения в эпицентральной зоне около 5 баллов по шкале MSK-64. За ним последовала серия относительно более слабых ощутимых землетрясений, которые можно рассматривать как автершоки. В эпицентральной зоне землетрясения 05.09.2018 г. наблюдалось явление выброса грунта и камней из подземного источника, подобно выбросам при извержении грязевого вулкана, описанным в работе [12]. Эпицентры автершоков протягиваются в виде цепочки северо-западного направления по азимуту около 25°–30° и могут быть связаны с участком северо-восточной пограничной зоны Каратау-Таласо-Ферганской трансорогенной структуры. Согласно протоколам службы срочных донесений Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», очаг землетрясения мог возникнуть в условиях сжатия земной коры в юго-восточном направлении по азимуту 137°–153°. Предполагается, что данное событие скорее всего имеет тектоническую природу.

Восточно-Уральская зона ВОЗ протягивается в субмеридиональном направлении вдоль осевой части Уральского хребта и частично вдоль его восточного склона и приурочена к осевой зоне и ближней зоне геодинамического влияния палеозойского Главного Уральского глубинного разлома (ГУГР), и частично к зоне палеозойского Платиноносного пояса. Восточно-Уральская зона ВОЗ содержит очаги следующих ощутимых землетрясений (с севера на юг), макросейсмическое описание которых приведено в работе [5]:

1. Землетрясение 21.02.1970 г. с эпицентром в районе пос. Павда Свердловской области, расположенном в пределах габбрового массива, принадлежащего Платиноносному поясу. Магнитуда события по инструментальным данным – 4,0,

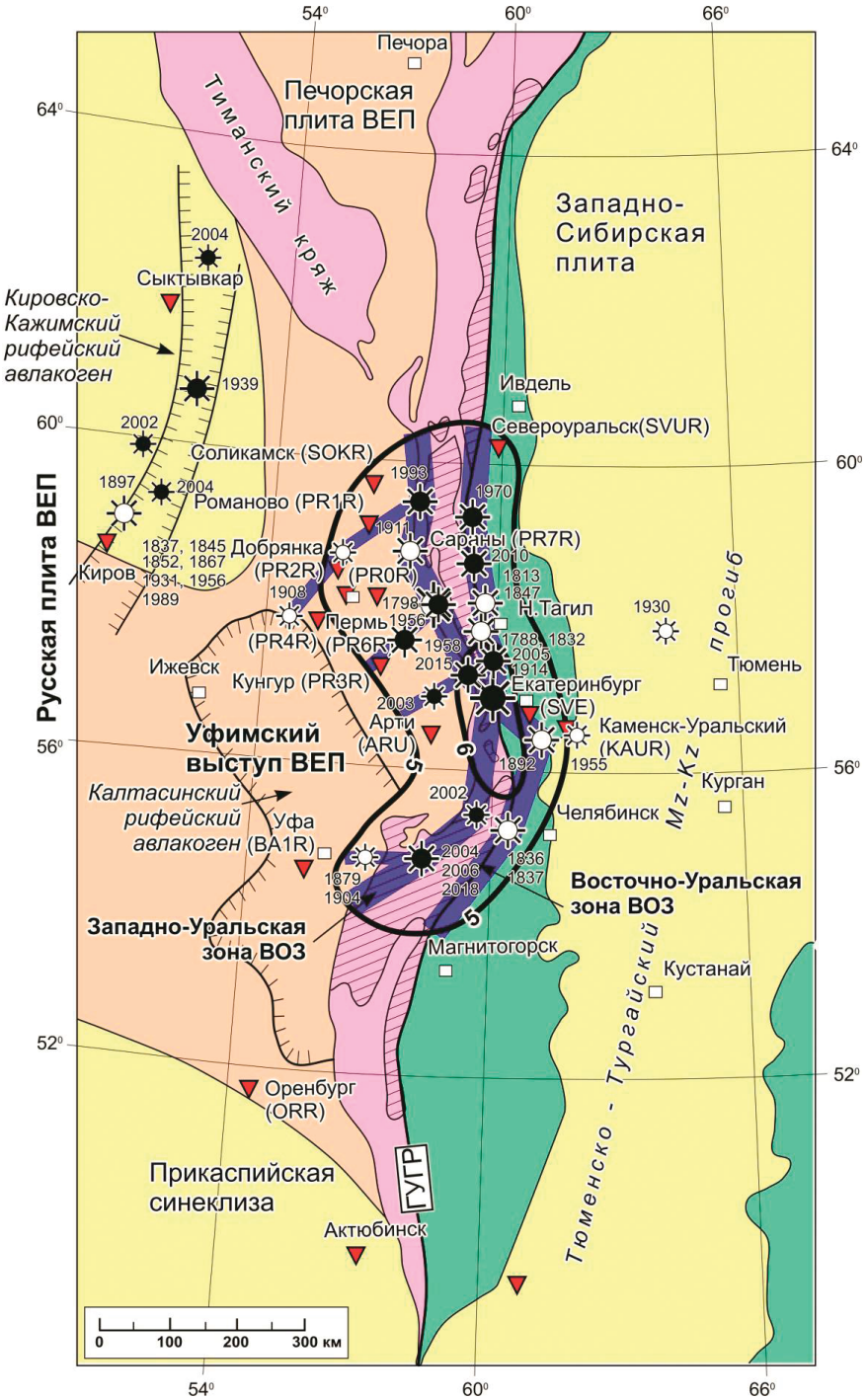
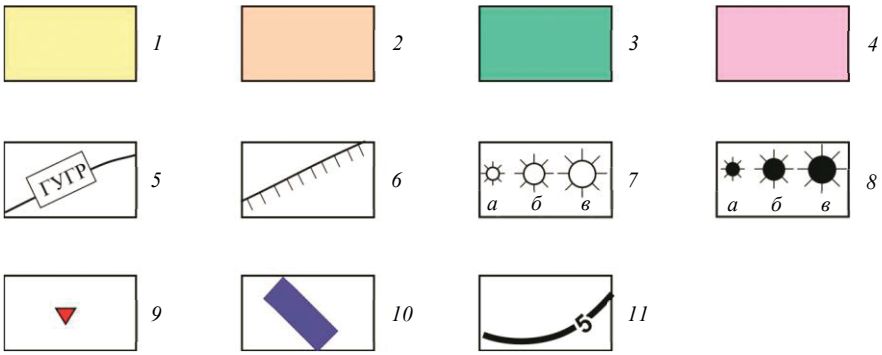


Рис. 1. Схема сейсмотектоники Урала и зон возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зон ВОЗ). Составили: Гуляев А. Н., Осипова А. Ю. Институт геофизики УрО РАН им. Ю. П. Булашевича. Компьютерная графика Арзамасцевой Н. В.
Fig. 1. The scheme of seismotectonics of the Urals and zones of possible sensible earthquake foci (PSE). Prepared by Guliaev A. N., Osipova A. Iu., Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS, computer graphics by Arzamastseva N. V.



1 – области развития чехла отложений мезозойско-кайнозойского возраста; *2* – область выхода на земную поверхность недислоцированных пород чехла отложений палеозойского возраста; *3* – участки выходов на земную поверхность дислоцированных пород палеозойского возраста в пределах Восточного Урала и Кокчетавского выступа Казахстана (в пределах палеозойской Урало-Сибирской геосинклинали); *4* – область развития дислоцированных пород палеозойского чехла и допалеозойского фундамента ВЕП. Косой штриховкой показаны участки выходов на земную поверхность метаморфических пород допалеозойского фундамента ВЕП; *5* – ось палеозойского Главного Уральского глубинного разлома; *6* – контуры рифейских авлакогенов; *7* – эпицентры ощутимых землетрясений по макросейсмическим данным архивных источников интенсивностью в баллах шкалы MSK-64: *а* – 3–4; *б* – 4–5; *в* – 5–6; *8* – эпицентры землетрясений по данным инструментальных сейсмологических наблюдений интенсивностью в баллах шкалы MSK-64: *а* – 3–4; *б* – 4–5; *в* – 5–6; *9* – станции сейсмологического мониторинга; *10* – зоны возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зоны ВОЗ); *11* – изосейсты в баллах шкалы MSK-64 Средне-Уральской области ВОЗ (Средне-Уральского сейсмодомена), ограничивающие саму область, в пределах которой сила сотрясения предполагается в 5 баллов, и участок в средней части области, в пределах которого сила сотрясения предполагается в 6 баллов

1 – the areas of developing sedimentary mantle of the Mesozoic-Cenozoic age; *2* – areas of out-crops of Paleozoic-aged dislocated rocks of the Uralian-Siberian Paleozoic geosyncline to the earth's surface; *3* – areas of outcrops of Paleozoic-aged dislocated rocks of the Eastern Urals and Kokshetau Basement High of Kazakhstan (within the Uralian-Siberian Paleozoic geosyncline); *4* – areas of developing dislocated rocks of Paleozoic and pre-Paleozoic age. Oblique hatching indi-cates the areas of metamorphic rocks of the pre-Paleozoic basement outcrop; *5* – axis of the Paleozoic Main Ural deep fault; *6* – contours of Riphean aulacogens; *7* – epicenters of sensible earthquakes according to macroseismic data of archival sources on MSK-64 scale: *a* – 3–4; *b* – 4–5; *c* – 5–6; *8* – earthquake epicenters according to instrumental seismological observations on MSK-64 scale: *a* – 3–4; *b* – 4–5; *c* – 5–6; *9* – seismological monitoring stations; *10* – zones of possible sensible earthquakes foci (PSE zones); *11* – isoseistes on MSK-64 scale of Central Urals region of FSE (Central Ural Seismic Domain), which limit the region within which the shock force is assumed to be 5 points, and the section in the middle part of the region within which the shock force is assumed to be 6 points

сила сотрясения в эпицентре – 5 баллов по шкале MSK-64, глубина очага около 14 км [5]. Предполагается, что данное событие могло иметь тектоническую природу.

2. Землетрясение 29.03.2010 г. с эпицентром в районе пос. Медведка на границе Пермской и Свердловской областей в районе г. Качканар Свердловской области [13]. Эпицентр события приурочен к осевой зоне палеозойского ГУГРа. Магнитуда события по инструментальным данным оценивается как 4,0, сила сотрясения в эпицентре – 5 баллов по шкале MSK-64, глубина очага около 14 км. Можно предположить, что данное событие могло иметь тектоническую природу.

3. Землетрясение 29.04.1847 г. в районе г. Кушва с эпицентром предположительно к юго-западу от г. Кушва в долине р. Серебрянка в ближней зоне геодинамического влияния структуры Платиноносного пояса и ГУГРа [4, 5]. Магнитуда события по косвенным данным оценивается как 4,5, сила сотрясения в эпицентре – 5 баллов по шкале MSK-64, глубина очага около 23 км [5]. Можно предположить, что данное событие могло иметь тектоническую природу [4].

4. Землетрясение в 1813 г. в районе г. Верхняя Тура (дата не указана) с эпицентом предположительно в ближней зоне геодинамического влияния тектонической структуры Платиноносного пояса. В последующие годы ощутимое землетрясение в этом районе повторилось. После повторного события в воздухе ощущался серный запах. Магнитуда события по косвенным данным оценивается как 2,5, сила сотрясения – 3–4 балла по шкале MSK-64. Очаг приповерхностный [4]. Не исключено, что данное событие могло иметь газодинамическую природу, подобно событиям, описанным в работах [13–15].

5. Землетрясение 19.09.1902 г. в долине р. Серебрянка (правый приток р. Чусовая). Ощутимые колебания отмечались в районе расположения населенных пунктов Луковка, Кедровка, Серебрянка. Эпицентр по косвенным данным мог располагаться предположительно в осевой зоне или ближней зоне геодинамического влияния ГУГРа. Магнитуда события по косвенным признакам оценивается как 3,5, сила сотрясения в эпицентральной зоне – 4 балла по шкале MSK-64. Глубина очага оценивается в 16 км [5]. Не исключено, что данное событие могло иметь тектоническую природу.

6. Землетрясение 1788 г. (дата события более точно не указана) на восточной стороне Уральских гор в районе г. Нижний Тагил [4, 5]. Эпицентр предположительно мог располагаться в ближней зоне геодинамического влияния ГУГРа. Магнитуда события оценивается по косвенным данным как 3,0, сила сотрясения в эпицентре – 4,0 баллов по шкале MSK-64 [5]. Данное событие могло иметь тектоническую природу.

7. Землетрясение 11.09.1841 г., ощущавшееся на территории г. Нижний Тагил, и в поселках Черноисточинск, Висимо-Уткинск. Эпицентр предположительно располагался к западу от г. Нижний Тагил, предположительно в зоне геодинамического влияния ГУГРа. Сила сотрясения в эпицентре оценивается в 5 баллов по шкале MSK-64, магнитуда события по косвенным признакам – 4,1. «После землетрясения в четыре часа утра небо озарилось красноватым, розоватым цветом с искристыми отблесками. Атмосфера была наполнена сильным, имевшим перегорклый запах дымом» [5]. В районе пос. Висимо-Уткинск и пос. Черноисточинск «со стороны северо-запада показалась небольшая как бы огненная туча, но дождя не было» [4]. Не исключено, что это был подземный взрыв ювенильных газов – метана, водорода, сконцентрировавшихся в реликтовой палеозойской зоне деформации земной коры, подобный явлениям, описанным в работах [13–15].

8. Землетрясение 10.07.1892 г. в районе г. Сысерть, поселках Верхнее Дуброво, Белоярский Свердловской области. Согласно схеме изосейст, составленной по данным макросейсмического описания данного события, приведенным в работе [4], эпицентр его мог размещаться в районе поселков Двуреченск и Бобровский. Магнитуда события по косвенным признакам оценивается в 4,0, сила сотрясения в эпицентральной зоне – 5 баллов по шкале MSK-64. Очаг предположительно приповерхностный (0,1 км по [4]). В работе [4] высказано предположение о том, что данное событие могло быть обусловлено обрушением карстовой полости, но не исключается газодинамическая природа данного события, подобная природе явлений, описанных в работах [13–15].

9. Землетрясение 12.12.1836 г. в северной части Южного Урала в районе городов Златоуст, Миасс, Кыштым. Эпицентр предположительно мог располагаться в ближней зоне геодинамического влияния Южно-Уральского участка ГУГРа в районе Тараташского поднятия. Магнитуда события по косвенным данным оценивается в 4,0, сила сотрясения в эпицентре – 3–4 балла по шкале MSK-64 [4, 5].

10. Ощутимое землетрясение 01.03.1837 г. в северной части Южного Урала в районе городов Златоуст, Миасс, Кыштым. Эпицентр предположительно мог рас-

полагаться в ближней зоне геодинамического влияния Южно-Уральского участка ГУГРа. Магнитуда события по косвенным данным оценивается как 3,5, сила сотрясения в эпицентре – 4 балла по шкале MSK-64 [4, 5].

11. Землетрясение 08.12.1901 г. в районе г. Миасс интенсивностью в 4 балла по шкале MSK-64 [4, 5]. Эпицентр предположительно мог располагаться в ближней зоне геодинамического влияния Южно-Уральского участка ГУГРа. Магнитуда события оценивается по косвенным признакам в 3,5. Предполагается, что очаг события приповерхностный, располагавшийся на глубине 0,1 км [4]. Природа события оценивается как вызванная обрушением карстовой полости («карстовое») [5].

К Западно-Уральской зоне ВОЗ с запада причленяется ряд зон ВОЗ, имеющих северо-восточное направление и пересекающих Средне-Уральский участок Предуральского прогиба. Это следующие зоны (перечисление с севера на юг):

Добрянско-Кизеловская зона ВОЗ. Протягивается в северо-восточном направлении по азимуту около 45° от района г. Добрянка на р. Кама до района г. Кизел Пермской области, расположенного в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости и надвигов. Эпицентры приурочены к северному склону Пермского свода дорифейского фундамента Восточно-Европейской платформы (ВЕП), осложненного Краснокамско-Полазненским валом [1]. Северный склон Пермского свода и Краснокамско-Полазненский сложный вал имеют северо-восточное направление по азимуту около 45°–50° [1]. В пределах этих структур имеются месторождения нефти [1]. Город Кизел, в сторону которого протягивается Добрянско-Кизеловская зона ВОЗ, располагается на территории Кизеловского угольного бассейна, локализованного в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости и надвигов [1]. Землетрясения в пределах этой зоны могут быть вызваны как обрушениями карстовых полостей в карстующихся породах, так и прорывами ювенильных газов.

В Добрянско-Кизеловской зоне ВОЗ были отмечены следующие ощутимые землетрясения:

1. Землетрясение с эпицентром в районе с. Большая Соснова Пермской области 01.07.1908 г. Магнитуда события по косвенным данным оценивается как 2,5, сила сотрясения в эпицентре – 3 балла по шкале MSK-64, глубина очага по косвенным данным – 12 км [5]. Сопровождалось громким подземным гулом [4, 5]. Интересно, что по времени возникновения данное событие приближено к Тунгусскому феномену, 30.06.1908 г. [14].

2. Землетрясение в районе г. Добрянка Пермской области 17.01.1837 г. Магнитуда 3,0, сила сотрясения – 3 балла, глубина очага по косвенным данным оценивается как 0,1 км. Возможно, данное приповерхностное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости.

3. Землетрясение в районе г. Добрянка Пермской области 19.01.1845 г. [4, 5]. Магнитуда оценивается как 3,0, сила сотрясения – 4,5 баллов. Глубина очага небольшая. Возможно, данное землетрясение было вызвано обвалом карстовой полости.

4. В январе 1852 г. землетрясение в районе г. Добрянка Пермской области. Магнитуда – 2,5, сила сотрясения – 2,5. Глубина очага 0,1 км. Возможно, данное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости.

5. Ощутимое землетрясение в районе Добрянского завода в Пермской области 26.05.1867 г. [4, 5]. Эпицентр располагался, по-видимому, вблизи Добрянского завода. Сила сотрясения в эпицентре оценивается как 5 баллов по шкале MSK-64. Магнитуда события – 2,5, глубина очага – 0,1 км [5]. Возможно, данное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости.

6. Землетрясения 06.03.1911 и 08.11.1911 г. в районе размещения д. Милкова, д. Тихая, д. Красная, пос. Мальцевка в Пермской области в долине р. Косьва левого притока р. Кама [4, 5]. Магнитуда по косвенным данным – 3,0, сила сотрясе-

ния около 5 баллов, очаг приповерхностный, глубина очага по косвенным данным оценивается как 0,1 км. Возможно, данное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости.

7. Землетрясения в районе г. Добрянка Пермской области 15, 16 и 19 января 1931 г. [5]. Магнитуда событий оценивается как 2,0–2,7, сила сотрясения – 3,0–5,5, глубина очага около 2 км. Возможно, данные землетрясения могли быть вызваны обвалами карстовых полостей.

8. Землетрясение в районе пос. Полазна Пермской области 07.09.1956 г. [5]. Сила сотрясения оценивается около 3 баллов по шкале MSK-64. Не исключено, что данное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости в карстующихся породах осадочного чехла.

9. Землетрясение в районе г. Добрянка Пермской области, пос. Ярино 11.08.1989 г. [5]. Магнитуда события по косвенным признакам оценивается как 2,5, сила сотрясения – 4 балла по шкале MSK-64. Возможно, данное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости.

Кунгурско-Серебрянская зона ВОЗ. Протягивается в северо-восточном направлении по азимуту около 45° от района г. Кунгур до района впадения в р. Чусовая р. Серебрянка.

Вмещает эпицентр землетрясения 28.07.1956 г. в верховьях р. Барда, притока р. Сылва, впадающей в р. Кама в Пермской области [5]. Магнитуда события по инструментальным данным оценивается как 4,1, сила сотрясения в эпицентральной зоне – как 3,5 балла по шкале MSK-64, глубина очага – 15 км. Природа землетрясения оценивается как тектоническая [5].

Бисертско-Билимбаевская зона ВОЗ. Протягивается в северо-восточном направлении от района пос. Бисерть до района пос. Билимбай Свердловской области по азимуту около 50°. Вмещает очаги следующих землетрясений:

1. Среднеуральске землетрясение, произошедшее в ночь с 18 на 19 октября 2015 г. по местному времени. Эпицентр события располагался приблизительно в 12 км к северу от пос. Бисерть Свердловской области [16]. Магнитуда события по инструментальным данным оценивается как 4,0, сила сотрясения в эпицентре как 5 баллов по шкале MSK-64. Глубина очага 13 км. Эпицентр располагался в пограничной зоне между Уральским горно-складчатым сооружением и Предуральским прогибом ВЕП.

2. Землетрясение 20.07.2003 г. с эпицентром на Сабарском увале в Предуральском краевом прогибе приблизительно в 20–25 км к северу от пос. Арти Свердловской области, в котором располагается геофизическая обсерватория со станцией сейсмомониторинга «ARU» Института геофизики УрО РАН [7]. Магнитуда события по инструментальным данным оценивается как 2,0, сила сотрясения в эпицентре как 2,5 балла по шкале MSK-64, глубина очага 24 км.

Выводы. По имеющимся данным за период 1788–2019 гг. в центральной части Уральского региона было отмечено 45 ощутимых природных землетрясений силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64. Редко происходящие на Урале ощутимые землетрясения такой силы не представляют серьезной опасности для инженерных сооружений и жизней людей.

Анализ сейсмологических материалов [4–7, 10, 11] позволяет заключить, что эпицентры землетрясений в пределах Средне-Уральского сейсмодомена приурочены преимущественно к периферийным зонам Средне-Уральского участка Центрально-Уральского поднятия. В западной периферии Центрально-Уральского поднятия эпицентры локализованы в пределах Предуральского прогиба и Западно-Уральской передовой зоны складчатости и надвигов (рис. 1). В восточной периферии Центрально-Уральского поднятия эпицентры локализованы в его погра-

ничной зоне с Тагильским мегасинклинорием. Пограничной структурой здесь является субмеридиональный палеозойский Главный Уральский глубинный разлом (ГУГР) [1, 2]. К востоку от ГУГРа протягивается в субмеридиональном направлении Платиноносный пояс, представленный цепочкой габбро-гипербазитовых и гранитоидных интрузивных массивов [1, 2], предположительно приуроченных к зоне крупного разлома. Ранее упомянутые структуры могут представлять собой реликтовые палеозойские зоны деформации земной коры, омоложенные в новейшее время. Они могут рассматриваться как зоны возможного возникновения в будущем очагов ощутимых землетрясений (как зоны ВОЗ). На геосинклинальном этапе развития земной коры Урала в них активно протекали флюидо-геодинамические и гидротермальные процессы, сопряженные с процессами внедрения интрузий, процессами рудообразования, которые активно происходили в упомянутых зонах деформации земной коры. Об этом свидетельствуют приуроченные к этим структурам месторождения полезных ископаемых. По ним на современном этапе активно происходит миграция и разгрузка подземных вод [17]. Однако при этом по самим структурам не происходит значительных подвижек блоков земной коры. Поэтому можно предположить, что ощутимые землетрясения, происходящие на современном этапе с очагами в упомянутых структурах могут быть вызваны флюидо-геодинамическими процессами, подобными процессам, описанным в работах [13–15].

На основе данных о силе сейсмического воздействия в эпицентральных частях уральских землетрясений составлена схема детального сейсмического районирования центральной части Уральского региона (рис. 1). Анализируя эту схему, можно видеть, что область предполагаемых в будущем редко происходящих 5–6-балльных сотрясений охватывает большую часть территории Среднего Урала и прилегающих к ней районов Северного и Южного Урала и Предуральского прогиба. Зона предполагаемых 6-балльных сотрясений локализована в центральной части упомянутой области предполагаемых 5-балльных сотрясений и располагается напротив Уфимского выступа ВЕП в пределах области, названной в работе [11] областью Средне-Уральского пережима Уральского горного пояса. Данный участок Урала характеризуется наиболее высокими скоростями погружения земной поверхности на современном этапе [9], что может быть обусловлено продолжающимся процессом субгоризонтального растяжения данного участка земной коры.

Заключение. Урал является слабосейсмичным (практически асейсмичным регионом), где ощутимые землетрясения происходят очень редко, и сила их невелика, не превышает 6,0–6,5 баллов по шкале MSK-64. Предполагается, что слабые ощутимые землетрясения могут сопровождать процесс становления новейшего Уральского горного пояса на современном этапе.

Эпицентры ощутимых Уральских землетрясений силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64 локализованы в пределах Среднего Урала и примыкающих к нему частях Северного и Южного Урала и сосредоточены преимущественно в двух субмеридиональных зонах ВОЗ – Западно-Уральской и Восточно-Уральской, охватывающих с запада и востока Центрально-Уральское поднятие, в пределах которого обнажаются метаморфические породы допалеозойского фундамента. Часть эпицентров локализована в Предуральском прогибе.

Причиной возникновения ощутимых землетрясений с небольшой глубиной очагов (менее 1 км) могут быть обрушения карстовых полостей в карстующихся породах палеозойского чехла ВЕП в пределах Предуральского прогиба и в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости и надвигов.

Землетрясения с более глубокими очагами (более 1 км) могут рассматриваться как имеющие тектоническую природу. Ряд ощутимых землетрясений Урала позволяет предположить природу их очагов как флюидо-газодинамическую, подобную природе очагов землетрясений, описанных в работах [13–15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геология СССР. Т. XII. Ч. 1. Кн. 2. М.: Недра, 1969. 304 с.
2. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 279 с.
3. Новейшая тектоника Урала / под ред. Сигова А. П., Сигова В. А. Саратов: Издательство Саратовского университета, 1975. 104 с.
4. Вейс-Ксенофонтова З. Г., Попов В. В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала // Труды Сейсмологического института АН СССР. № 104. М.: Издательство АН СССР, 1940. 12 с.
5. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы / Степанов В. В. [и др.]. М.: ЦСГНЭО, 2002. 135 с.
6. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона / Кашубин С. Н. [и др.]. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 123 с.
7. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Кн. 1. Землетрясения / под ред. Шарова Н. В., Маловичко А. А., Щукина Ю. К. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2007. 380 с.
8. Гуляев А. Н., Осипова А. Ю. Сейсмичность Среднего Урала и строительство в регионе // Архитектон: Известия вузов. 2013. № 42. С. 213–238.
9. Гуляев А. Н. Детальное сейсмическое районирование центральной части Уральского региона // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 6. С. 103–112.
10. Гуляев А. Н. Сейсмичность и сейсмическое районирование Урала // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 6. С. 116–124.
11. Копп М. Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2005. 339 с.
12. Дягилев Р. А., Верхоланцев Ф. Г., Голубева И. В. Качканарское землетрясение 29 марта 2010 г. с Кр = 12,1, Mw =4,4, Io = 5 (Средний Урал) // Землетрясения Северной Евразии, Ежегодник «Единой геофизической службы Российской академии наук». Обнинск, ФИЦ ЕГС РАН, 2016. 439 с.
13. Осика Д. Г., Черкашин В. И. Энергетика и флюидодинамика сейсмичности. М.: Наука, 2008. 243 с.
14. Натяганов В. Л. Миф о Тунгусском метеорите (дегазационная природа Тунгусского взрыва) // Девятые научные чтения памяти Ю. П. Булашевича «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей». Матер. Всерос. конф. с международным участием. Екатеринбург, 2017. С. 292–296.
15. Натяганов В. Л. Предвестники землетрясений дегазационно-электромагнитной природы // Девятые научные чтения памяти Ю. П. Булашевича «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей». Матер. Всерос. конф. с международным участием. Екатеринбург, 2017. С. 297–301.
16. Гусева Н. С. Анализ макросейсмических эффектов землетрясенеия 18 октября на Среднем Урале // XVII Уральская молодежная научная школа по геофизике: сб. науч. матер. Екатеринбург, 2016. С. 74–77.
17. Буданов Н. Д. Гидрогеология Урала. М.: Недра, 1964. 304 с.

Поступила в редакцию 6 сентября 2019 года

Сведения об авторах:

Гуляев Александр Николаевич – старший научный сотрудник Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН. E-mail: usc_alex@mail.ru
Осипова Анастасия Юрьевна – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН. E-mail: seismolab@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-68-80

Zones of possible sensible earthquake foci in the Urals

Aleksandr N. Guliaev[1], Anastasiia Iu. Osipova[1]
[1] Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract
Introduction. *Modern Ural mountains represent contemporary epiplatform Epi-Paleozoic orogeny which presumably originated within the last 30 million years in the western part of a more ancient pre-Paleozoic-*

Paleozoic folded zone, the central part of which is ancient (Riphean-Vendian) Central-Ural High. In Mesozoic-Cenozoic Period, the activity of tectonic and volcano-magmatic processes in the subsoil of the Urals has fallen, and the Urals entered the period of platform development, which is characterized by slowcontinent-forming movements of the earth's crust. Within over the last 30 million years in the epoch of Alpine tectogenesis, there has been the renewal of the Ural mountain belt. This process continues at the modern period and is accompanied by rare sensible earthquakes with the magnitude from 3–4 to 5–6 on MSK-64 scale; they are not hazardous for engineering structures and people.
***Research aim** is to estimate the connection between seismin activity of the Urals and heterochronous geological-tectonic structures, and draw a scheme of possible sensible earthquake foci (zones of PSE).*
***Research methodology** included the estimation of spatial epicenters of sensible earthquakes in the central part of the Urals relative to Paleozoic and pre-Paleozoic geological-tectonic structures.*
***Research results** made it possible to state that epicenters of sensible earthquakes in the central part of the Urals are concentrated within the limits of the Middle Urals and the adjoining parts of the North and South Urals and are localized mainly in submeridional zones, from the west and from the east embracing the region of pre-Paleozoic Central-Ural High formed by metamorphic rock. The mentioned zones may be considered as the zones of PSE, and the region of the Middle Urals and the adjoining parts of the North and South Urals – as a region of possible earthquakes foci with a magnitude up to 5–6 on MSK-64 scale.*

***Key words:** contemporary epiplatform Epi-Paleozoic orogeny; epoch of Alpine tectogenesis; Central-Ural High; zones of possible sensible earthquake foci (PSE).*

REFERENCES

1. *USSR geology*. Moscow: Nedra Publishing; 1969; 12 (1; 2): 304. (In Russ.)
2. Puchkov V. N. *Geology of the Urals and Cisurals (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics, and metallogeny*). Ufa: IG UFA RAS Publishing; 2010: 279. (In Russ.)
3. Sigov A. P., Sigov V. A. (ed.) *Recent tectonics of the Urals*. Saratov: Saratovskii un-t Publishing; 1975; 5: 104. (In Russ.)
4. Veis-Ksenofontova Z. G., Popov V. V. Regarding the problem of seismic characteristics of the Urals. In: *Proceedings of Seismological Institute of AS USSR*; 1940; 104: 12. (In Russ.)
5. Stepanov V. V., Godzikovskaia A. A., Lomakin V. S., et al. (eds.) *Earthquakes of the Urals and the strongest earthquakes of adjoining territories of Western Siberia and Western European platform*. Moscow: TsSGNEO; 2002: 135. (In Russ.)
6. Kashubin S. N. et al. *Earthquake activity and seismic zoning of the Ural region*. Ekaterinburg: UB RAS Publishing; 2001: 123. (In Russ.)
7. Sharov N. V. et al. (ed.) Earthquakes and micro earthquake activity within the problems of modern geodynamics of Western European platform. In: *Book 1. Earthquakes*. Petrozavodsk; 2007. p. 380. (In Russ.)
8. Guliaev A. N., Osipova A. Iu. Seismicity in the middle urals and building in the region. *Arkhitekton: Izvestiia vuzov = Architecton. Proceedings of Higher Education*. 2013; 42: 213–238. (In Russ.)
9. Guliaev A. N. Detailed seismic zoning of the Urals central part. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*. 2015; 6: 103–112. (In Russ.)
10. Guliaev A. N. Earthquake activity and seismic zoning of the Urals. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*. 2016; 6: 116–124. (In Russ.)
11. Kopp M. L. *Mobilistic neotectonic of South-Eastern Europe platforms*. Moscow: Nauka Publishing; 2005. (In Russ.)
12. Diagilev R. A., Verkholantsev F. G., Golubeva I. V. Catchakanar earthquake on 29th March 2010 (the Middle Urals). In: *Earthquakes of the North Eurasia 2010: collected works*. Obninsk; 2016. p. 336–346. (In Russ.)
13. Osika D. G., Cherkashin V. I. *Energetics and fluid dynamics of the earthquake activity*. Moscow: Nauka Publishing; 2008: 243. (In Russ.)
14. Natiaganov V. L. A myth about the Tungus meteo (degassing nature of Tungus blast). In: *9th scientific readings in memory of Iu. P. Bulashevich "Deep Structure, Geodynamics, the Earth's thermal field, geophysical fields interpretation". Proceedings of All-Russian Conf. with foreign participants*. Ekaterinburg; 2017. p. 292–296. (In Russ.)
15. Natiaganov V. L. Degassing-electromagnetic forerunners of the earthquakes. In: *9th scientific readings in memory of Iu. P. Bulashevich "Deep Structure, Geodynamics, the Earth's thermal field, geophysical fields interpretation". Proceedings of All-Russian Conf. with foreign participants*. Ekaterinburg; 2017. p. 297–301. (In Russ.)
16. Guseva N. S. The analysis of macro seismic effects of the earthquake of the 18th October 2015 at the Middle Urals. In: *17th Youth Scientific School of Geophysics: proceedings*. Ekaterinburg; 2016. p. 74–77. (In Russ.)
17. Budanov N. D. *Hydrogeology of the Urals*. Moscow: Nedra Publishing; 1964: 304. (In Russ.)

Received 6 September 2019

Information about authors:

Aleksandr N. Guliaev – senior researcher of the Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS. E-mail: usc_alex@mail.ru
Anastasiia Iu. Osipova – PhD (Geology and Mineralogy), researcher of Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS. E-mail: seismolab@mail.ru

Для цитирования: Гуляев А. Н., Осипова А. Ю. Зоны возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений на Урале // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 68–80. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-68-80
For citation: Guliaev A. N., Osipova A. Iu. Zones of possible sensible earthquake foci in the Urals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 68–80 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-68-80