



Рис. 3. Макросейсмические последствия Горно-Алтайского землетрясения 2003 г. На фото профессор В.С.Имаев, один из основных исполнителей работ по ОСП-97 (Институт земной коры, Иркутск).

О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ УРАЛЬСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А.Н. Гуляев - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Согласно [1, 2] особенностью новейшей и современной тектонической обстановки в центральной части Уральского региона является существование регионального тектонического узла, образованного сближением и пересечением региональных зон нарушения сплошности и, предположительно, возникшего в наиболее ослабленной части Уральского орогена. Зона геодинамического влияния данного узла, охватывающая практически весь Средний Урал, в работе [3] названа областью Центрально-Уральского пережима. Она характеризуется наименьшей на этом участке шириной складчатого Урала в основном за счет уменьшения ширины Центрально-Уральского поднятия и Тагило-Магнитогорского проги-

ба, наименьшей высотой гор и наименьшей амплитудой новейших вертикальных движений [4, 5]. Предполагается, что данная тектоническая обстановка возникла еще в палеозойское время вследствие воздействия (давления) на Урал, в направлении с запада на восток, Уфимского выступа Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и наследуется в новейшее время и на современном этапе. Вследствие воздействия выступа ВЕП, в наиболее ослабленном месте Урала на участке его пересечения трансорогенной Тимано-Кокчетавской тектонической структурой [6] возник пережим, а затем - крупный тектонический узел, образованный сближением и пересечением зон нарушения сплошности земной коры. Направление этих зон соответствует направлениям, возникающим при сжатии [7, 8]. Узел, который можно назвать Билимбаевским, проявлен и в геофизических полях и в морфологии поверхностей разделов литосферы [9].

Образующие узел зоны нарушения сплошности земной коры, согласно [10], имеют характер сдвигов, сдвига-надвигов. По этим структурам предположительно происходит смещение (выдавливание) блоков земной коры относительно Билимбаевского узла в направлении на север и на юг [1, 2]. Эти структуры ограничивают Северо-Уральский и Южно-Уральский новейшие своды, южные части которых, по аналогии со схемой в работе [8], можно рассматривать как зоны субмеридионального сжатия. Направление структур, ограничивающих с юго-запада Северо-Уральский новейший свод - северо-западное, по азимуту от 330-335 до 345°. Направление структур, ограничивающих с северо-запада Южно-Уральский новейший свод - северо-восточное (по азимуту от 30 – 45 до 60°. Согласно [8], возникновение и существование сдвиговых (сколовых) структур таких направлений обусловлено воздействием субширотных сжимающих напряжений по азимуту около 300°. В рассматриваемом районе Урала в настоящее время действуют напряжения главные и наибольшие компоненты которых имеют такое же направление [8, 9, 11].

Согласно [8], сколовые (сдвиговые) зоны нарушения сплошности в условиях пластично-хрупкой деформации образуют угол с направлением главного напряжения порядка 35 - 45°. В условиях пластичной деформации этот угол составляет более 50° и может превышать 60° [8]. Следовательно, сдвиги, ограничивающие с юго-запада Северо-Уральский и - с северо-запада Южно-Уральский новейшие своды, возникли в условиях пластично-хрупкой деформации. А сдвиги, ограничивающие вышеупомянутые новейшие своды с востока и юго-востока, возникли в условиях пластичной деформации, либо могут рассматриваться как разломы сжатия. Субширотные зоны нарушения сплошности земной коры, соответствующие направлению действия основных сжимающих напряжений, могут рассматриваться как трещины отрыва (растяжения), субмеридиональные - как трещины сжатия.

В соответствии с концепцией упругой отдачи [12] большая часть коровых землетрясений является следствием резких сдвиговых смещений блоков земной коры по возникающим или обновляющимся разломам. Поэтому большая часть землетрясений приурочена к зонам сдвигов, всбросо-сдвигов [13, 14]. На Урале так же большая часть наиболее сильных, ощутимых, с магнитудой порядка и более 4,0 землетрясений приурочена к зоне Главного Уральского глубинного разлома [15], являющегося, согласно [10], левым сдвигом (рис. 1).

В ближней зоне геодинамического влияния этого разлома в Билимбаевском узле 17.08.1914 года произошло самое сильное за период инструментальных сейсмологических наблюдений землетрясение, магнитуда которого оценивается как порядка 5.0, а сила сотрясения в эпицентре оценивается как порядка 6-7 баллов по шкале MSK-64 [10]. Данный участок Главного Уральского разлома был назван «Главным северо-западным сдвигом» [5], горизонтальная амплитуда перемещения крыльев по которому за палеозойское время оценивалась в 70 км. Азимут направления этой структуры оценивается в 345° и совпадает с направлением изодинам нормального геомагнитного поля, что позволяет предположить возможность участия геомагнитных аномальных процессов в возникновении данного землетрясения. Она образует угол 45° с одной из осей действия главного сжимающего напряжения, имеющей азимут 300°, которой соответствует предполагаемая зона нарушения сплош-

ности верхней части, соответствующая оси Чусовско-Исетской поперечной (секущей) новейшей структуры по [5]. Кроме эпицентра Билимбаевского землетрясения 1914 г. в пределах этой структуры располагаются эпицентры Сысертского 1892 г., Кунгурского 1958 г. землетрясений и землетрясения 1955 г. в районе Каменска-Уральского [16].

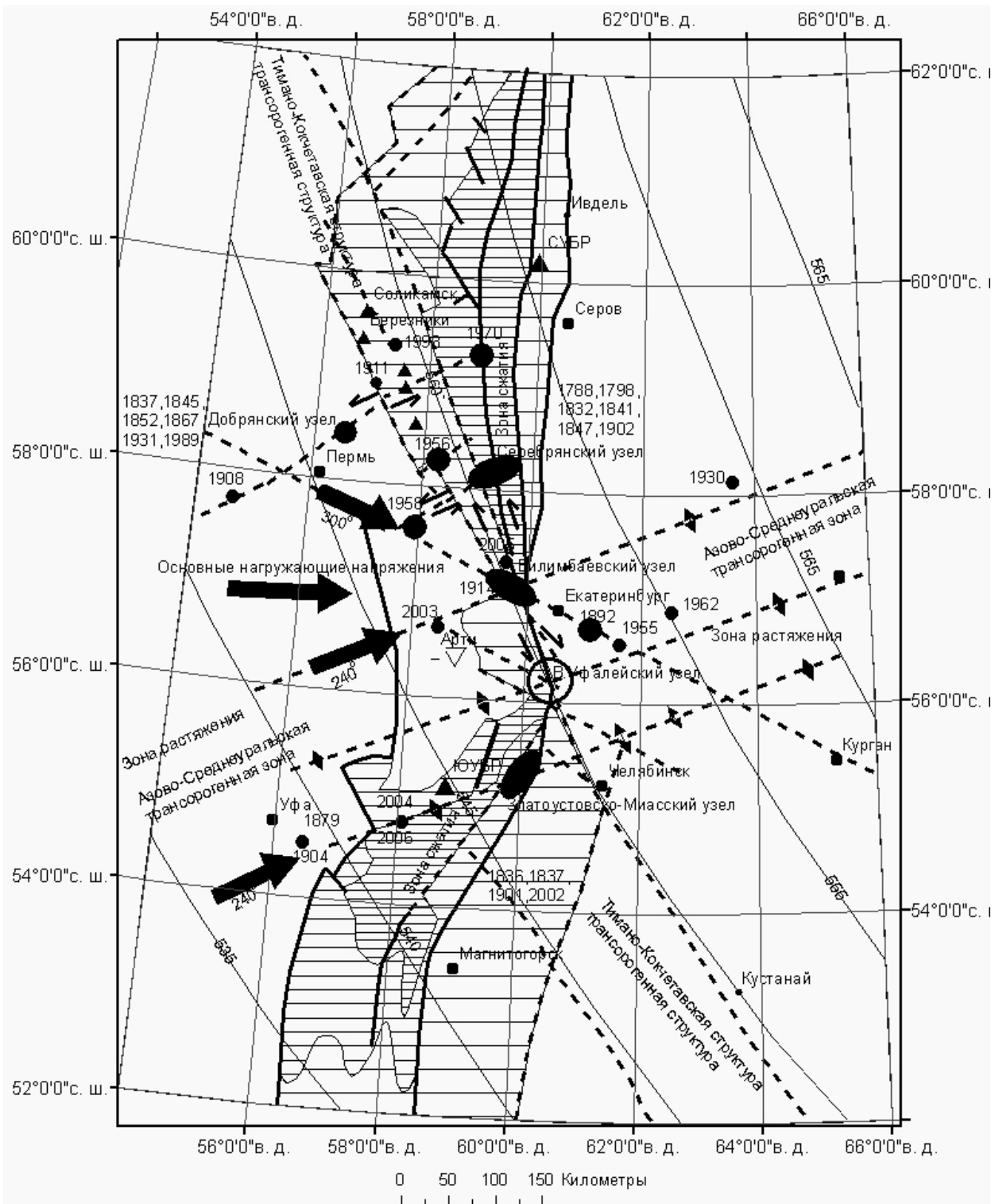


Рис. 1. Геодинамическая схема Среднеуральской зоны повышенной сейсмичности

В соответствии с моделью механизма очагов землетрясений [12], ортогонально плоскости основного сдвига (в данном случае Главного северо-западного сдвига), являющейся

первой нодальной плоскостью, возникает вторая подобная структура. В нашем случае она имеет восток-северо-восточное направление по азимуту 60 градусов. Не исключено, что она имеет характер зоны относительного субгоризонтального растяжения. С этой структурой связана Екатеринбургско-Тавдинская зона повышенной частоты возникновения необычных и особо опасных атмосферных явлений [17].

Согласно макросейсмическому описанию, приведенному в работах [16, 18] можно заключить, что наиболее сильные сейсмические сотрясения во время Билимбаевского землетрясения распространялись в северном и южном направлениях в области предполагаемого субмеридионального сжатия в южной части Северо-Уральского и в северной части Южно-Уральского новейших сводов. Менее сильные сотрясения распространялись в запад-юго-западном и восток - северо - восточном направлениях в области предполагаемого растяжения. С учетом сеймотектонической схемы можно предположить, что излучение сейсмической энергии имело квадрантный характер, при этом в северном и южном направлении распространялись волны сжатия, а в субширотном – волны растяжения.

На южном продолжении Главного Уральского разлома, на расстоянии 100 км от Билимбаевского узла, имеется подобный ему по тектонической позиции, но еще не проявленный, В. Уфалейский потенциально сейсмичный тектонический узел. В пределах него не исключена возможность возникновения очагов землетрясений, подобных Билимбаевскому с магнитудой 5.0. Вдоль его второй предполагаемой нодальной плоскости в восточно-северо-восточном направлении распространился ВУРС [19]. Расположенные южнее и севернее на расстоянии 100-150 км от вышеупомянутых узлов, Златоустовско-Миасско-Кыштымский и Серебрянский сейсмичные узлы приурочены к северной и южной частям Южно-Уральского и Северо-Уральского новейших сводов, отождествляемых с зонами субмеридионального сжатия. При этом они приурочены к участкам пересечения с поперечными зонами нарушения сплошности восточного - северо - восточного направления. Такая структура, пересекающая Златоустовско-Миасско-Кыштымский узел, имеет характер зоны современных погружений [20], что свидетельствует о современной активности узла, подтверждаемой недавним ощутимым землетрясением 18.08.2002 г. [15]. Согласно макросейсмическому описанию, приведенному в работах [16, 18] можно заключить, что эти землетрясения так же имели квадрантный характер излучения энергии и связаны со сдвиговыми и всбросо-сдвиговыми деформациями земной коры.

Литература

1. Гуляев А.Н. Схема сеймотектоники центральной части Уральского региона // Материалы третьих научных чтений Ю.П. Булашевича. Екатеринбург, 2005, с. 17 - 19.
2. Гуляев А.Н. Схема сеймотектоники Среднего и прилегающих частей Северного и Южного Урала // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: Материалы международной конференции. Архангельск, 2002, с. 24 – 29.
3. Копп М.Л. Новейшие деформации Южного Урала и Мугоджар и их вероятное происхождение // Геотектоника, 2005. № 5, с. 36 - 61.
4. Новейшая тектоника Урала / Под ред. А.П. Сигова и В.А. Сигова. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1975. 104 с.
5. Геология СССР. М.: Недра, 1969. Т. XII. Ч. 1. Кн. 2. 304 с.
6. Кузьменко Е.Е. Историческая геология и геология СССР. М.: Недра, 1980. 279 с.
7. Заруба К., Мениц В. Инженерная геология. М.: Мир, 1979. 468 с.
8. Тагильцев С. Н. Основы гидрогеомеханики скальных массивов: Учебное пособие по дисциплине «Гидрогеомеханика». Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 88 с.
9. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона / С.Н. Кашубин, В.С. Дружинин, А.Н. Гуляев и др. Екатеринбург: УрОРАН, 2001. 124 с.
10. Плюснин К.П. Эволюция кинематики и определение возраста разрывных структур Урала // Разломы земной коры Урала и методы их изучения. Свердловск, 1983. С. 12 -23.

11. *Зубков А.В.* Геомеханика и геотехнология. Екатеринбург, 2001. 333 с.
12. *Жарков В.Н.* Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 414 с.
13. *Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.* Сейсмотектоника Якутии. М.: ГЕОС, 2000. 226 с.
14. *Арефьев С.С.* Эпицентральные сейсмологические исследования. М.: ИКЦ Академкнига, 2003. 374 с.
15. О тектонической природе Уральских землетрясений / В.С. Дружинин, А.Н. Гуляев, С.Н. Кашубин и др. // Геофизика, 2004. № 3. С. 56 - 65.
16. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы / В.В. Степанов, А.А. Годзиковская, В.С. Ломакин и др. М.: ЦСГНЭО, 2002. 135 с.
17. *Гуляев А.Н., Дружинин В.С., Шепаренко Г.А., Назарова Т.И.* Современные зоны повышенной геофизической активности на Среднем и прилегающих частях Северного и Южного Урала // Уральский геофизический вестник, 2001. № 2. С. 25-29.
18. *Вейс-Ксенофонтowa З.Г., Попов В.В.* К вопросу о сейсмической характеристике Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 12 с. (Труды Сейсмологического института АН СССР, № 104).
19. *Уткин В.И., Чеботина М.Я., Евстигнеев А.В., Любашевский Н.М.* Особенности радиационной обстановки на Урале. Екатеринбург, 2004. 150 с.
20. *Кононенко И.И., Халевин Н.И., Блюмин М.А., Яценко В.Р.* Современная геодинамика Урала. Свердловск, 1990. 93 с.

ОЦЕНКА СЕЙСМОПОТЕНЦИАЛА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

А.Н. Гуляев - Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Для целей детального сейсмического районирования необходимо иметь представление о сейсмopotенциале - наибольшей возможной магнитуде сейсмических явлений и частоте повторяемости событий такой энергии в пределах изучаемого региона. На сегодняшний день не существует более надежных методик оценок сейсмopotенциала, чем метод аналогий. Поэтому мы оценивали сейсмopotенциал центральной части Уральского региона путем сравнения с сейсмopotенциалом подобного Уралу новейшего эпиплатформенного, эпипалеозойского орогена - Тянь-Шаня. Эти орогены имеют схожую историю развития, схожие черты глубинного строения. Очаги землетрясений в них локализованы в земной коре. Но Урал отличается от Тянь-Шаня гораздо меньшими амплитудами вертикальных новейших движений и высотой гор.

Амплитуда новейших движений характеризует степень деформации земной коры на новейшем этапе (за последние 30 млн лет, соответствующих неоген - четвертичному времени). Согласно [1, 2], она характеризует запасенный сейсмopotенциал, разрядка которого происходит на современном этапе в зонах нарушения сплошности земной коры. На Урале амплитуда вертикальных новейших движений согласно [3, 4], составляет от 250 - 400 до 700 м, на Тянь-Шане, согласно [5, 6], от 3 - 5 до 10 - 15 км. Следовательно, на Урале эта величина от 10 до 30 - 40 раз меньше, чем на Тянь-Шане. Отметим, что величина амплитуды новейших вертикальных движений на Урале соизмерима с амплитудой вертикальных движений на Тянь-Шане за четвертичный период [6].

Высота гор характеризует степень деформации земной коры этих орогенов за мезокайнозойское время. На Урале она составляет от 1000 до 1800 м на Южном, Северном и Приполярном участках и 500 - 700 м на Средне-Уральском участке. На Тянь-Шане высота гор находится в пределах 3000 - 5000 до более 7000 м. Следовательно, в среднем на Тянь-Шане горы в 3 - 4 раза выше, чем на Урале.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что степень деформации земной коры на Урале в мезо-кайнозойское время в 3 - 4 раза, а в новейшее время в 10 - 40 раз ниже, чем на Тянь-Шане. Вследствие этого сейсмическая активность на Урале

значительно ниже, чем на Тянь-Шане. Это выражается в том, что на Урале сейсмические события происходят гораздо реже, чем на Тянь-Шане и их интенсивность и магнитуда так же значительно ниже.

Согласно результатам анализа данных, приведенных в работах [7, 8, 9], средняя многолетняя магнитуда сейсмических событий за период 1788 - 2006 гг. для Урала составляет от 2.7 до 3.0 (рис. 1). На Тянь-Шане и в других высокосейсмичных регионах - от 4.0 до 4.7 [1], то есть на 1.3 – 1.7 (в 30 - 70 раз) выше, чем на Урале. Наблюденная на Урале наибольшая магнитуда сейсмических событий составила 5.0 [9], тогда как на Тянь-Шане она находится в диапазоне 7.5 - 8.4 [1]. Следовательно, на Урале максимальная магнитуда (M_{max}) в 700 - 1000 раз (на 2.5 - 3.5 порядка) меньше наблюдаемых на Тянь-Шане.

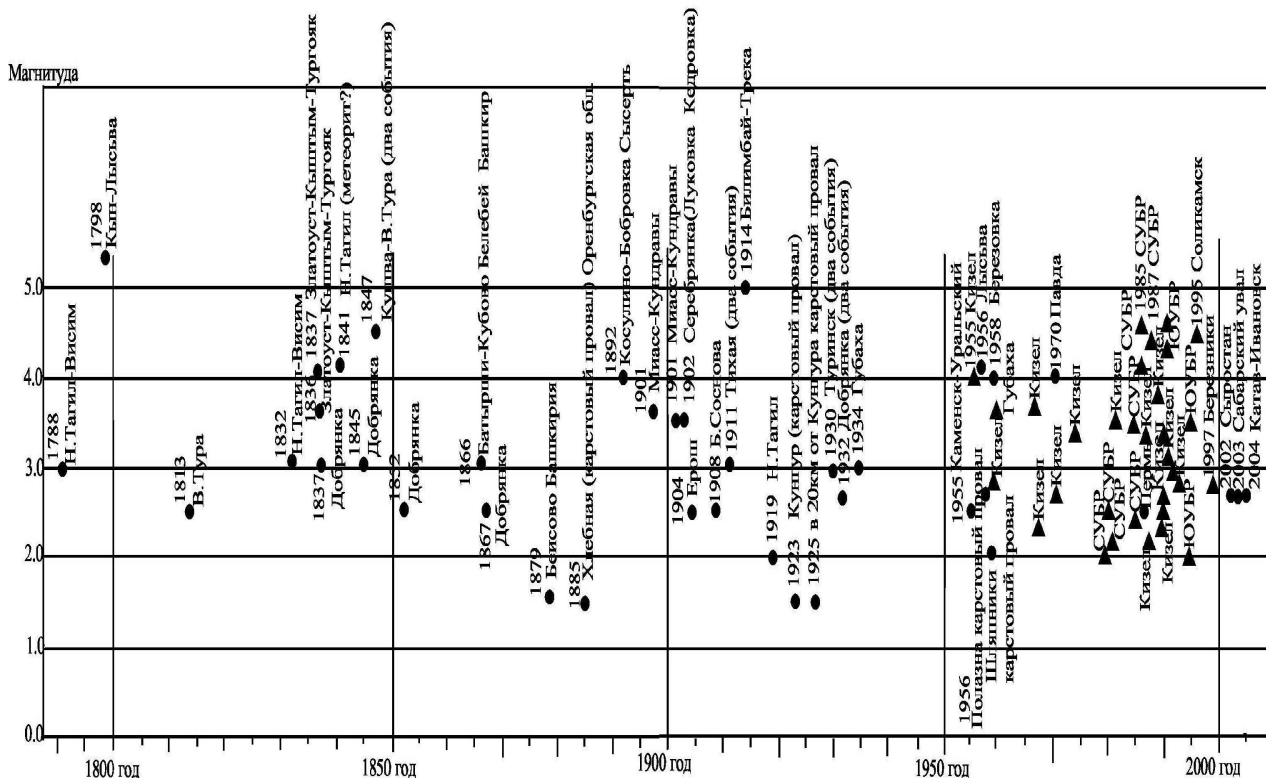


Рис. 1. Распределение во времени сейсмических событий центральной части Уральского региона. Треугольниками отмечены удары и природно-технические землетрясения на горно-рудных предприятиях

Анализ графиков временного хода сейсмичности в сейсмичных районах (по данным, приведенным в работах [1, 10]) и на Урале позволяет заключить, что наблюдаемые значения M_{max} обычно превышают средние многолетние значения магнитуды на 2.0 - 3.0. В высокосейсмичных районах – на 4.0. То есть, наблюдается зависимость приращения магнитуд ($M_{max} - M_{ср. многолетняя}$) от сейсмической активности региона.

Исходя из вышеизложенного, наибольшая возможная магнитуда сейсмических событий в центральной части Уральского региона составляет (с небольшим запасом) 5.5 - 6.0, а сила сотрясения в эпицентре - 6.5 - 7.0 баллов.

Частота (повторяемость) событий с магнитудой порядка 5.0 на Урале в 230 - 250 раз меньше, чем на Южном Тянь-Шане и в 25 - 30 раз меньше, чем на Северном Тянь-Шане. На Урале за последние 250 лет было отмечено всего два таких события - землетрясение 23.05.1798 г. и Билимбаевское землетрясение 17.08.1914 года, тогда как на Южном Тянь-Шане в год происходит по два землетрясения такой силы, а на Северном Тянь-Шане одно такое событие в каждые 25 лет.

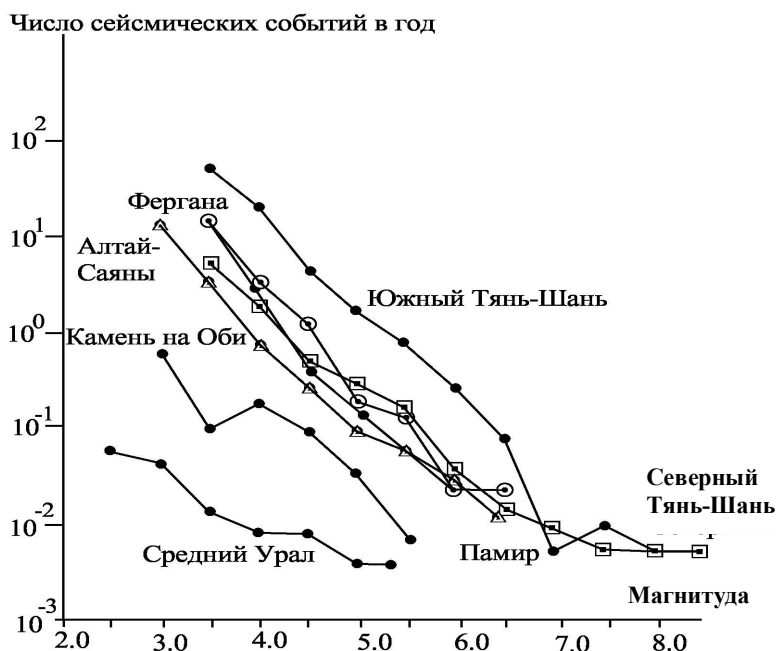


Рис. 2. График повторяемости природных тектонических землетрясений Среднего Урала и других регионов

Следовательно, события с магнитудой порядка 5.0 на Урале происходят один раз в 115 – 116 лет. Приблизительно с такой же периодичностью, согласно графика повторяемости (рис. 2), происходят землетрясения с магнитудой более 8.0 на Тянь-Шане. Следовательно, сейсмические события с магнитудой порядка 5.0 на Урале являются наиболее высокоэнергетическими. Анализ графика повторяемости землетрясений центральной части Уральского региона (рис. 2) позволяет предположить, что события с наибольшей возможной магнитудой порядка 5.5 - 6.0 могут происходить здесь с периодичностью один раз в 1000 лет.

Вышеизложенное позволяет заключить, что по характеру сейсмичности, амплитудам новейших и мезо-кайнозойских вертикальных движений Урал больше схож с Центральным Казахстаном. Невысокие горы Казахского мелкосопочника имеют приблизительно те же высоты и те же рельефные формы, что и горы центральной части Уральского региона. В их геологическом строении, истории развития так же имеется сходство с Уралом. В последнее время, в связи с развитием сейсмологической сети Казахстана, в этом регионе стали фиксироваться несильные (с магнитудой до 3 - 4) относительно редко происходящие события [11].

Для Урала же актуальной является задача изучения выделенных потенциально сейсмичных тектонических узлов, в которых возможно возникновение очагов землетрясений с наибольшими для региона магнитудами порядка 5.0 - 6.0 [12].

Литература

1. Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980. 306 с.
2. Друмя А.В., Шебалин Н.В. Землетрясение: где, когда почему? Кишинев: «Штиинца», 1985. 193 с.
3. Геология СССР. М.: Недра, 1969. Т. XII. Ч. 1. Кн. 2. 304 с.
4. Новейшая тектоника Урала / Под ред. А.П. Сигова и В.А. Сигова. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1975. 104 с.
5. Геология СССР. М.: Недра, 1969. Т. XXV. Кн. 2. Киргизская ССР, геологическое описание. 314 с.
6. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1986. 312 с.
7. Вейс-Ксенофонтова З.Г., Попов В.В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 12 с. (Труды Сейсмологического института АН СССР, № 104).