Наблюдения временными сетями

Хубсугульское землетрясение 11.01.2021 г. с М=6.7 и его афтершоки

¹А.Ф. Еманов, ^{1,2}А.А. Еманов, ³В.В. Чечельницкий, ¹Е.В. Шевкунова, ^{1,2}А.В. Фатеев, ³Е.А. Кобелева, ¹В.Г. Подкорытова, ¹М.В. Фролов, ¹И.Ф. Ешкунова

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск; ²ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск; ³БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск

Хубсугульское землетрясение 11.01.2021 г. с M=6.7 (Mw=6.7, ML=6.9) и очагом на глубине 8 км произошло на восточной границе Тувино-Монгольского блока и вызвало интенсивный афтершоковый процесс. Данный блок испытывает поднятие, и одновременно к нему приурочены рифтовые впадины [1–3]. Столь сильного землетрясения в районе западного фланга озера Хубсугул до сих пор не происходило. Сейсмическая сеть станций, регистрирующая колебания земной коры в непрерывном режиме с передачей информации в обрабатывающие центры в Новосибирске, Иркутске и УланБаторе, представлена на рис. III.17.



Рис. III.17. Карта сети сейсмологических станций и положение эпицентра Хубсугульского землетрясения 11.01.2021 г. с М=6.7

В изучении как Хубсугульского землетрясения, так и его афтершоков объединены данные сетей станций Алтае-Саянского и Байкальского филиалов ФИЦ ЕГС РАН и станций Института астрономии и геофизики Монгольской академии наук.

В табл. III.4 представлены данные об афтершоках Хубсугульского землетрясения с января 2021 г. по август 2022 года. Всего зарегистрировано 10812 афтершоков за этот период.

Таблица III.4. Распределение по магнитудам афтершоков Хубсугульского землетрясения за период с января 2021 г. по август 2022 г.

| ML | <1 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | Всего |
|------------------------------|----|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| Количество землетрясений (N) | 0 | 294 | 7699 | 2296 | 420 | 91 | 11 | 1 | 10812 |
| lgN | | 2.47 | 3.89 | 3.36 | 2.62 | 1.96 | 1.04 | 0 | |

В электронный вариант каталога землетрясений региона Прибайкалья и Забайкалья за 2021 г. внесены параметры Хубсугульского землетрясения с *M*=6.7 и 6438 его афтершоков (в т.ч. 318 с *M*=2.6–5.7 – в основной каталог региона, 6120 с *M*=1.9–4.8 – в «Дополнительный каталог афтершоков Хубсугульского землетрясения 11.01.2021 г. по данным АСФ ФИЦ ЕГС РАН (код сети ASGSR) в 2021 г.» [4] (ред.).

Данная работа, с одной стороны, является продолжением исследования афтершоков Хубсугульского землетрясения 2021 г. [5], а с другой стороны – это расширенное рассмотрение сейсмичности в районе древнего Тувино-Монгольского блока [2, 6–11].

Тувино-Монгольский блок расположен в промежутке между Саяно-Тувинским блоком и Хамар-Дабанским, являясь при этом пограничной областью между Алтае-Саянской горной областью и Байкальской рифтовой зоной (рис. III.18).



Рис. III.18. Карта блоковой структуры на границе Алтае-Саянской горной области и Байкальской рифтовой зоны, и эпицентров крупных землетрясений. Эпицентры землетрясений – из каталога АСФ ФИЦ ЕГС РАН.

1 – магнитуда МL, 2 – государственные границы, 3 – эпицентр Хубсугульского землетрясения 2021 года. Блочная структура – по [3]. Обозначения блоков: ТМ – Тувино-Монгольский, ХД – Хамар-Дабанский, СТ – Саяно-Тувинский, Мн – Монгольский, МА – Монголо-Алтайский

Закономерности сейсмичности Алтае-Саянской горной области и Байкальской рифтовой зоны принципиально различаются [12]. В Алтае-Саянской области землетрясения преимущественно происходят в горном окружении впадин, а в Байкальской рифтовой зоне – внутри впадин, что соответствует типу напряженного состояния этих областей. Граница между столь различной сейсмичностью приурочена к Тувино-Монгольскому блоку. Именно в этом блоке находится группа рифтовых впадин: Хубсугульской, Дархатской, Бусингольской, Белинской и Терехольской. Система этих впадин перпендикулярна таковым из Байкальской рифтовой зоны. Большинство исследователей включает эти впадины в состав Байкальской рифтовой зоны [3, 11, 13–15], но существует и мнение, что Байкальская рифтовая зона завершена Тункинской впадиной, обоснованное тем, что механизмы очагов западнее и южнее не соответствуют механизмам очагов в других структурах Байкальского рифта [16]. Байкальский рифт начал развиваться с Южно-Байкальской впадины, а рифтовые впадины западного окончания рифтовой зоны - самые молодые, как и таковые северо-восточного окончания рифтовой зоны [11, 13]. Без сомнения, образование молодых рифтовых впадин в районе Тувино-Монгольского блока внесло значительный вклад в напряженное состояние и сейсмичность этого блока, но не стоит забывать, что крупнейшие землетрясения 1905 г. – Цэцэрлегское с M=7.6 и Болнайское с M=8.2 – произошли на разломах, ограничивающих этот блок [17] с юга. С запада вблизи границы блока произошло Бусингольское землетрясение 1991 г. с $M_{\rm S}=6.5$, за которым последовал длительный афтершоковый процесс, и Белин-Бий-Хемское землетрясение 2008 г. с Mw=5.7.

Хубсугульское землетрясение 2021 г. является первой сейсмической активизацией на восточной границе Тувино-Монгольского блока такого высокого уровня. К настоящему времени опубликованы статьи по интерпретации космических снимков на район очага землетрясения [18–20]. Результаты этих работ будут использоваться для интерпретации результатов изучения афтершоков в нашем исследовании.

Хубсугульское землетрясение сопровождается мощным афтершоковым процессом (за первые два месяца – около пяти тысяч афтершоков). В [5] изучался период афтершоков от главного события до двух месяцев после него. Только за 2021 г. число афтершоков Хубсугульского землетрясения превысило 6.5 тысяч [4] и активность эпицентральной зоны не завершена.

Выделение сейсмической энергии в афтершоковой области Хубсугульского землетрясения показано на рис. III.19. За три часа после главного события произошло пять афтершоков с *M*=5.1–5.4 (*ML*=5.8–6.1). Значимый вклад в кумулятивный график внесли афтершоки 31.03.2021 г. с *M*=5.6 (*ML*=6.2) и 03.05.2021 г. с *M*=6.0 (*ML*=6.4). Согласно рис. III.19, излучение сейсмической энергии из очаговой области Хубсугульского землетрясения – это преимущественно трехактный процесс. Самый сильный афтершок по времени произошел позднее главного толчка почти на четыре месяца.



Рис. III.19. График кумулятивной сейсмической энергии из очага Хубсугульского землетрясения 2021 г.

Хубсугульское землетрясение произошло на участке со сложной структурой разломов [3, 21] (рис. III.20). Рассматривая структуру разломов эпицентральной области, следует отметить, что мы имеем угол между двумя разломами: один, с точно установленной кинематикой, направлен в северо-западном направлении от точки пересечения разломов у озера Хубсугул; второй – от этой точки в северо-восточном направлении. Поскольку этот разлом – под водами озера, о нем имеется лишь предположительная информация. Детальные исследования очаговой области Хубсугульского землетрясения [18–20] доказали северо-восточную ориентацию разрыва при главном событии. От северо-западного разлома фиксируются оперяющие его разломы в северо-восточном направлении. Вероятно, на северо-западе Хубсугула существует угловой сегмент с внутренней структурой, раздробленной разломами. Как было отмечено, в Байкальской рифтовой зоне, кроме крупных впадин, существуют малые впадины, являющиеся спутниками крупных [22]. В нашем случае эпицентральная область включает в себя малую рифтовую впадину, примыкающую к Хубсугульской впадине. Афтершоковая сейсмическая активизация является косвенным доказательством развития малой впадины.



Рис. III.20. Крупные афтершоки с M≥3.8 (ML≥5.0) Хубсугульского землетрясения за период с января 2021 г. по август 2022 г.

Главное событие произошло в озере Хубсугул на разломе с северо-восточным простиранием. Афтершок с M=5.4 (ML=6.1) произошел через $01^{h}29^{m}$, именно он оказался на линии активизированного афтершоковым процессом разлома. Как уже было отмечено, два более сильных афтершока произошли с существенной задержкой относительно главного события по времени и вблизи от первого сильного афтершока. Второй и третий сильные афтершоки произошли в узлах пересечения северо-западного разлома с оперяющими разломами, уходящими в северо-восточном направлении.

Одним из способов представления информации об особенностях сейсмичности по площади являются карты плотности очагов землетрясений, когда независимо от энергии на квадратной площадке считается количество эпицентров событий, и строится из расчетов для малых площадок карта, которая позволяет видеть с хорошим разрешением активизированные структуры [5, 23, 24]. Поскольку координаты очага – это начало разрыва при землетрясении, то такие карты дают представление, из каких мест чаще начинаются землетрясения. Размеры площадок 0.1×0.1°.

На рис. III.21 представлены карты плотности очагов афтершоков для разных временных интервалов. Рассмотрим особенности площадной активности среды в афтершоковой области. На рис. III.21а показана карта плотности афтершоков в январе 2021 года. Главное событие находилось на окраине активизированной области, а афтершок с M=5.4 (ML=6.1) расположен на разломе, определяющем ориентацию длинной оси афтершоковой области. По плотности очагов в данном периоде выделяются два участка. Сильнее всего активизирован самый юг афтершоковой области, в самом начале расхождения разломов, а также центральная часть афтершоковой области чуть восточнее афтершока с M=5.4 (ML=6.1).

В феврале 2021 г. (рис. III.21б) крупных афтершоков не было. Как и в предыдущий период (рис. III.21а), наибольшее число афтершоков происходило на самом юге афтершоковой области, а сейсмическая активность центральной части афтершоковой области относительно активности юга уменьшилась.



Рис. III.21. Карты плотности афтершоков Хубсугульского землетрясения 2021 г. в различные временные интервалы: а – 11.01.–31.01.2021; б – 01.02.–28.02.2021; 6 – 01.03.–31.03.2021; г – 01.04.–30.04.2021; д – 01.05.–31.05.2021; е – 01.06.–31.08.2021; жс – 01.09.–31.12.2021; з – 01.01.–05.08.2022

В марте 2021 г. (рис. III.21в) по-прежнему наибольшее количество афтершоков отмечено, как и в предыдущие временные отрезки, на самом юге афтершоковой области. Крупный афтершок 31.03.2021 г. с M=5.6~(ML=6.2) произошел в сейсмически малоактивном участке, недалеко от стыка основного разлома и оперяющего. Следует отметить, что данный афтершок произошел юго-восточнее афтершока с M=5.4~(ML=6.1) и соответствует узлу пересечения магистрального разлома с другим оперяющим нарушением.

В апреле 2021 г. (рис. III.21г) сейсмическая активность афтершоковой области значимо снизилась. В этот период не было крупных афтершоков и, по-прежнему, наибольшее число событий происходило на юге афтершоковой области. Менее выражена зона сейсмической активности в районе, прилегающем к эпицентру землетрясения с M=5.6 (ML=6.2) 31 марта. Остальные участки афтершоковой области характеризуются существенно меньшей активностью.

3 мая 2021 г. (рис. III.21д) произошел сильнейший афтершок с M=6.0 (ML=6.4), и карта плотности афтершоков изменилась. Крупный афтершок произошел в узле пересечения магистрального разлома с оперяющим. Снизилась сейсмическая активность южного окончания афтершоковой области, активной во все предыдущие периоды. Наибольшее число афтершоков в это время произошло в локальной, почти круглой, области между двумя расходящимися разломами чуть южнее эпицентра афтершока 31 марта с M=5.6 (ML=6.2). В период с 01.09.2021 г. по 31.12.2021 г. число афтершоков во времени продолжило снижаться, и осталась пятнистая структура в области активизации предыдущих двух месяцев на фоне слабой сейсмичности ранее сформировавшейся афтершоковой области (рис. III.21ж).

В период с 01.01.2022 г. по 05.08.2022 г. сейсмическая активность эпицентральной зоны в значительной степени снизилась (рис. III.21з). Как и в конце 2021 г. (рис. III.21ж), наблюдалась пятнистость распределения афтершоков в пространстве с большей выраженностью по числу событий на единицу площади в районе югозападного окончания афтершоковой области.

На рис. III.22 представлен график повторяемости афтершоков Хубсугульского землетрясения 2021 года. Наклон графика соответствует наклону аналогичного графика для Алтае-Саянской горной области для периода инструментальных наблюдений с 1963 г. по настоящее время. График хорошо аппроксимируется линейной функцией. В случае плохой аппроксимации прямой линией имелось бы свидетельство напряженного состояния системы разломов в очаговой области [25, 26], но в данном случае сброс напряженного состояния к данному моменту в основном произошел.



Рис. III.22. График повторяемости афтершоков Хубсугульского землетрясения 2021 г.

Район Тувино-Монгольского блока является районом сочленения Байкальской рифтовой зоны с Алтае-Саянской горной областью, где принципиально разное напряженное состояние земной коры и отличающиеся процессы в развитии сейсмической активности.

На рис. III.23 показана карта суммарной сейсмической энергии Тувино-Монгольского блока и смежных с ним структур. В сейсмичности отражена блоковая структура региона с сейсмически активными разломными границами блоков и ослабленной сейсмичностью пространства внутри блоков. Большая часть проявившей себя в сейсмичности структуры соответствует границам Тувино-Монгольского блока. Афтершоки Хубсугульского землетрясения сформировали проявление сейсмичности восточной границы Тувино-Монгольского блока, которая была прежде мало сейсмичной. Явно выраженная блоковая структура в сейсмичности рассматриваемого района отличается тем, что северо-западный фрагмент является частью Саяно-Тувинского блока (рис. III.17), и в то же время переход в него от Тувино-Монгольского блока является единственной слабо выраженной границей [27].

Исследование сейсмичности стыка Байкальской рифтовой зоны и Алтае-Саянской горной области было темой многих исследований [1, 12, 15, 28–33], но при этом пограничным объектом была линия рифтовых впадин – Белинской, Бусингольской и Терехольской – и их сейсмичность. Именно здесь после Бусингольского землетрясения 1991 г. фиксировалась сейсмичность, по уровню сейсмической активности превышающая предшествующую сейсмичность этой зоны.



Рис. III.23. Карта суммарной сейсмической энергии Тувино-Монгольского блока и сопредельных территорий за 1905–2021 гг. Тектонические разломы – по [34]

Вклад в формирование структуры сейсмичности, представленной на рис. III.23, в значительной степени определился двумя факторами: возникновением землетрясений с сильными афтершоковыми процессами в этом районе и развитием сети цифровых сейсмологических станций, что привело к увеличению представительности регистрации землетрясений в этом труднодоступном районе. В двадцатом веке еще не было достаточного количества информации о сейсмичности этого района для внимательного рассмотрения структуры сейсмичности переходной зоны от Алтае-Саянской области к Байкальской.

Важным моментом является то, что практически все границы Тувино-Монгольского блока характеризуются повышенной сейсмичностью. К Тувино-Монгольскому блоку с запада примыкает Тувинское нагорье в виде блока с сейсмически активными границами. В целом мы видим единую блоковую систему с активизированными границами. До Хубсугульского землетрясения восточная граница Тувино-Монгольского блока в проявлениях сейсмичности была слабо выражена.

На рис. III.24 представлена карта эпицентров землетрясений в период после Хубсугульского землетрясения 2021 года. Наибольшее количество землетрясений происходит в очаговой зоне этого землетрясения, но сохраняется высокая сейсмичность вдоль граней блоковой структуры переходной зоны от Алтае-Саянской области к Байкальской. По-прежнему сейсмически активны эпицентральные зоны крупных землетрясений – Бусингольского 1991 г., Белин-Бий-Хемского 2008 г., Тувинских землетрясений 2011– 2012 гг. Наиболее северный участок границы Тувино-Монгольского блока, как область группирования сейсмических событий, проявляется в районе юга Тофаларии. Следует отметить, что этот район и ранее выделялся по сейсмической активности (рис. III.23).

Хубсугульское землетрясение 2021 г. вызвало афтершоковый процесс на восточной границе Тувино-Монгольского блока, и при этом не ослабла сейсмическая активность по всему периметру упомянутого блока. Сейсмическая активность в период после Хубсугульского землетрясения высока и в эпицентральной области Тувинских землетрясений 2011 и 2012 гг. [35].



Рис. III.24. Карта эпицентров землетрясений Тувино-Монгольского блока за 2021 г.

Выводы

Хубсугульское землетрясение 11.01.2021 г. с *М*=6.7 вызвало сильный афтершоковый процесс, при котором произошла серия сильных афтершоков с *ML*≥6.0, из которых два – 31.03.2021 г. с *M*=5.6 (*ML*=6.2) и 03.05.2021 г. с *M*=6.0 (*ML*=6.4) – произошли с задержкой во времени (до трех месяцев) и являются отражением трех актов выделения сейсмической энергии из очаговой области.

Структура активизированных разломов при Хубсугульском землетрясении – это область, ограниченная двумя разломами, расходящимися из одной точки под острым углом и охватывающая поперечные разломы внутри этого угла. Главное событие произошло на разломе с восточной стороны угла, а крупные афтершоки – на западной и приурочены к узлам пересечений главного разлома с поперечными. Развитие во времени привело к смещению афтершоковой активности к югу в угол около пересечения активизированных разломов и к существенному, но не полному ослаблению процесса за период более года.

Район сочленения коллизионных структур Алтае-Саянской складчатой зоны и рифтовых структур системы Байкальских впадин в сейсмичности за 1905–2021 гг. выделяется как блоковая структура с повышенной сейсмичностью около границ блоков. Прежде всего это – Тувино-Монгольский блок и восточная часть Саяно-Тувинского блока.

После Хубсугульского землетрясения 2021 г. повышенной сейсмической активностью обладают те же границы блоковой структуры, что и в предыдущие годы, с активизацией эпицентральных зон Бусингольского землетрясения 1991 г., Тувинских землетрясений 2011–2012 гг., Белин-Бий-Хемского землетрясения 2008 г. [36] и других структур, сейсмически активных до 2021 года.

Литература

1. Актуальные вопросы современной геодинамики Центральной Азии / Отв. ред. К.Г. Леви, С.И. Шерман. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 297 с. – EDN: QKFKEJ

2. Леви К.Г., Шерман С.И., Саньков В.А. Современная геодинамика Азии: карта, принципы составления, геодинамический анализ // Геотектоника. – 2009. – № 2. – С. 78–93. – EDN: JWNNFH

3. Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Парфеевец А.В., Аржанникова А.В. Новые данные о позднекайнозойских полях тектонических напряжений Прихубсугулья (Монголия) // Доклады Академии наук. – 2003. – Т. 388, № 4. – С. 526–529. – EDN: OQODMF

4. 2021-ER_App06_Lake-Baykal-and-Transbaykal-regions.xls [Электронный ресурс]: Список приложений для ежегодника «Землетрясения России в 2021 году» // Землетрясения России [сайт]. – [Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2023]. Систем. требования: MS Excel, Open Office. – URL: http://www.gsras.ru/zr/app 21.html, свободный.

5. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Радзиминович Я.Б., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Гладышев Е.А., Арапов В.В., Артёмова А.И., Подкорытова В.Г. Хубсугульское землетрясение 12.01.2021 г. Мw=6.7, ML=6.9 и афтершоки начального периода // Физика Земли. – 2022. – № 1. – С. 67–82. DOI: 10.31857/S0002333722010021. – EDN: PADCYH

6. Беличенко В.Г. Палеотектоническое районирование палеозоид юго-восточной части Восточного Саяна, Западного Хамар-Дабана и Прихубсугулья // Геология и геофизика. – 1985. – № 5. – С. 11–20.

7. Беличенко В.Г., Боос Р.Г. Боксон-Хубсугул-Дзабханский палеомикроконтинент в структуре Центрально-Азиатских палеозоид // Геология и геофизика. – 1988. – Т. 29, № 12. – С. 20–28.

8. Васильев В.П., Беличенко В.Г., Резницкий Л.З. Соотношение древней и кайнозойской структур на юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны // Доклады Академии наук. – 1997. – Т. 353, № 6. – С. 789–792.

9. Демонтерова Е.И., Иванов А.В., Резницкий Л.З., Беличенко В.Г., Хунг Ц.Х., Чунг С.Л., Иизука Й., Ванг К.Л. История формирования Тувино-Монгольского массива по данным UPBдатирования методом LA-IPS-MS детритовых цирконов из песчаника дархатской серии (Западное Прихубсугулье, Северная Монголия) // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 441, № 3. – С. 358–362. – EDN: ОЈНЈАР

10. Кузьмичёв А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. – М.: ИЛСАН, 2004. – 182 с.

11. *Логачёв Н.А*. Главные структурные черты и геодинамика Байкальской рифтовой зоны // Физическая мезомеханика. – 1999. – Т. 2, № 1–2. – С. 163–170. – EDN: KZGNAP

12. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В. Пространственно-временные особенности сейсмичности Алтае-Саянской горной области // Физическая мезомеханика. – 2005. – Т. 8, № 1. – С. 49–64. – EDN: HQTWJL

13. Логачёв Н.А. Об историческом ядре Байкальской рифтовой зоны // Доклады Академии наук. – 2001. – Т. 376, № 4. – С. 510–513. – EDN: JZZCYS

14. Зорин Ю.А., Беличенко В.Г., Турутанов Е.Х., Кожевников В.М., Скляров Е.В., Тумуртогоо О., Хозбаяр П., Арвисбаатар Н., Бямба Ч. Террейны Восточной Монголии и Центрального Забайкалья и развитие Монголо-Охотского складчатого пояса // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 1. – С. 11–25.

15. Кочетков В.М., Хилько С.Д., Зорин Ю.А., Ружич В.В., Турутанов Е.Х., Арвисбаагар Н., Баясгалан, Кожевников В.М., Эрдэнбелэг Б., Чипизубов А.В., Монхоо Д., Аниканова Г.А., Ключевский А.В., Найдич В.И., Баяр Г., Боровик Н.С., Гилёва Н.А., Адьяа М., Балжинням И., Джурик В.И., Потапов В.А., Юшкин В.И., Дугармаа Т., Цэмбэл Л. Сейсмотектоника и сейсмичность Прихубсугулья. – Новосибирск: Наука, 1993. – 182 с.

16. *Мишарина Л.А.*, *Мельникова В.И.*, *Балжинням И*. Юго-Западная граница Байкальской рифтовой зоны по данным о механизме очагов землетрясений // Вулканология и сейсмология. – 1983. – № 2. – С. 74–83.

17. Молнар П., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Демьянович М.Г., Борисов В.А., Ващилов Ю.Я. Деформация и разрывообразование при сильных землетрясениях в Монголо-Сибирском регионе // Глубинное строение и геодинамика Монголо-Сибирского региона / Под ред. Н.А. Логачева, В.М. Кочеткова, Ю.А. Зорина. – Новосибирск: Наука, 1995. – С. 5–55.

18. Тимошкина Е.П., Михайлов В.О., Смирнов В.Б., Волкова М.С., Хайретдинов С.А. Модель поверхности разрыва Хубсугульского землетрясения 12.01.2021 по данным спутниковой РСА

интерферометрии // Физика Земли. – 2022. – № 1. – С. 83–89. DOI: 10.31857/S0002333722010094. – EDN: KGKELX

19. Лухнев А.В., Лухнева О.Ф., Саньков В.А., Мирошниченко А.И. Косейсмические эффекты Хубсугульского землетрясения в Монголии 11 января 2021 г. // Геодинамика и Тектонофизика. – 2022. – Т. 13, № S2. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2s-0626. – EDN: IWGMJT

20. Davaasambuu B., Amgalan B., Kang W., Davaasuren G., Jargalsaikhan B. The 2021 Mw 6.7 Khankh earthquake in the Khuvsgul rift, Mongolia // Mongolian Geoscientist. – 2021. – V. 26, N 52. – P. 46–61. DOI: 10.5564/mgs.v26i52.1361

21. Парфеевец А.В., Саньков В.А. Напряженное состояние земной коры и геодинамика югозападной части Байкальской рифтовой зоны / Отв. ред. К.Г. Леви. – Новосибирск: Академ. издво ГЕО, 2006. – 151 с.

22. Уфимцев Г.Ф. Малые впадины в Байкальской рифтовой зоне // География и природные ресурсы. – 2013. – № 4. – С. 28–36. – EDN: RIUATZ

23. Кочарян Г.Г. Геомеханика разломов. – М.: ГЕОС, 2016. – 424 с. – EDN: YVWLRV

24. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Соловьёв В.М., Шевкунова Е.В., Гладышев Е.А., Антонов И.А., Корабельщиков Д.Г., Подкорытова В.Г., Янкайтис В.В., Елагин С.А., Серёжников Н.А., Дураченко А.В., Артёмова А.И. Сейсмологические исследования в Алтае-Саянской горной области // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 2. – С. 20–51. DOI: 10.35540/2686-7907.2021.2.02. – EDN: XRLSMR

25. Шебалин П.Н. Афтершоки как индикаторы напряженного состояния в системе разломов // Доклады Академии наук. – 2004. – Т. 398, № 2. – С. 249–254. – EDN: OPTCGD

26. Шебалин П.Н., Баранов С.В., Дзебоев Б.А. Закон повторяемости количества афтершоков // Доклады Академии наук. – 2018. – Т. 481, № 3. – С. 320–323. DOI: 10.31857/S086956520001387-8. – EDN: YMRXQL

27. Ильин А.В. Хубсугульский фосфоритоносный бассейн // Труды Совместной Советско-Монгольской научно-исследовательской геологической экспедиции, вып. 6 / Отв. ред. акад. А.Л. Яншин. – М.: Наука, 1973. – 166 с. – URL: http://www.ginras.ru/library/pdf/1973 smge vol6.pdf

28. Адьяа М. Об афтершоках Бусийнгольского землетрясения // Исследования по поискам предвестников землетрясений в Сибири / Отв. ред. О.В. Павлов, Н.С. Боровик. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1988. – С. 115–117.

29. Демьянович В.М., Ключевский А.В., Черных Е.Н. Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность в зоне Белино-Бусийнгольского разлома (Южное Прибайкалье) // Вулканология и сейсмология. – 2008. – № 1. – С. 46–61. – EDN: ICEFEB

30. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Рудаков А.Д. Общее и индивидуальное в развитии афтершоковых процессов крупнейших землетрясений Алтае-Саянской горной области // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9, № 1. – С. 33–44. – EDN: IJGIQR

31. *Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В.* Сейсмические активизации в Белино-Бусингольской зоне // Физическая мезомеханика. – 2010. – Т. 13, № S1. – С. 72–77. – EDN: NQXHZZ

32. Ключевский А.В., Демьянович В.М., Баяр Г. Оценка рекуррентных интервалов и вероятности сильных землетрясений в Байкальском регионе и Монголии // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46, № 7. – С. 746–762. – EDN: MUMTIN

33. Опарин Н.В., Сашурин А.Д., Кулаков Г.И., Леонтьев А.В., Назаров Л.А., Назарова Л.А., Тапсиев А.П., Хачай О.А., Хачай О.Ю., Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И., Немирович-Данченко М.М., Востриков В.И., Юшкин В.Ф., Яковицкая Г.Е., Акинин А.А., Кю Н.Г., Панжин А.А., Дядьков П.Г., Кучай О.А., Кесельман С.И., Борисов В.Д. Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 449 с.

34. *Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г.* База данных активных разломов Евразии. Геодинамика и Тектонофизика. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 711–736. DOI: 10.5800/GT-2017-8-4-0314. – EDN: ZWRGNL

35. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Селезнев В.С., Фатеев А.В. Тувинские землетрясения 27.12.2011 г., *ML*=6.7 и 26.02.2012 г., *ML*=6.8 и их афтершоки // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 456, № 2. – С. 223–226. DOI: 10.7868/S0869565214140187. – EDN: SCEDQB

36. Еманов А.Ф., Лескова Е.В., Еманов А.А., Радзиминович Я.Б., Гилёва Н.А., Артёмова А.И. Белин-Бий-Хемское землетрясение 16 августа 2008 г. с $K_P=15$, Mw=5.7, $I_0=7$ (Республика Тыва) // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 378–385. – EDN: UDUBNR