

ТРИГГЕРНЫЕ ФАКТОРЫ УСИЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРИАМУРЬЯ

Т.В. Меркулова

ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: merculova@itig.as.khb.ru

Поступила в редакцию 11 октября 2022 г.

В работе изучено годовое распределение сейсмической активности Приамурья. Выявлено увеличение выделившейся сейсмической энергии ($M \geq 3$) в 1970–1975 гг., 1985–1986 гг., 1994–1995 гг., 2003–2005 гг. Усиления сейсмичности в эти годы соответствуют пикам сейсмической активности, во всем мире, что позволяет утверждать, что в инициировании достаточно сильных землетрясений во внутриплитных условиях Приамурья участвует такой глобальный процесс, как изменение скорости вращения планеты. Максимальное выделение сейсмической энергии происходит, когда частота и соответственно скорость вращения планеты минимальна или максимальна, что позволяет рассматривать этот процесс триггером усиления сейсмичности в регионе. Распределение энергии слабых землетрясений по годам ($M < 3$), кроме пиков сейсмичности, характерных для достаточно сильных событий, показывает повышения сейсмической активности в 1980–1983, 1990, 1998, 2000–2001, 2007 гг., которые соответствуют периодам усиления сейсмической активности глубокофокусных землетрясений в Тихоокеанской зоне субдукции. Этот факт позволяет рассматривать сейсмическую активность Тихоокеанской зоны субдукции как дополнительный триггер слабой сейсмичности Приамурья.

Ключевые слова: внутриплитная сейсмичность, сейсмическая энергия, скорость вращения планеты, Приамурье.

ВВЕДЕНИЕ

Сейсмический процесс характеризуется рядом особенностей, одной из которых является его неравномерность. В сейсмоактивных районах разного уровня отмечаются как периоды усиления сейсмичности, так и интервалы спада или затишья. Мерой сейсмической активности служит суммарная сейсмическая энергия или количество землетрясений произошедших за определенный промежуток времени. Вопросы прогноза землетрясений и оценки сейсмической опасности во внутриплитных условиях Приамурья требуют понимания физических механизмов, контролирующих усиление сейсмичности. Рядом исследователей утверждается, что уровень сейсмической активности внутриплитных территорий зависит от тектонических напряжений, передаваемых от границ плит разного геодинамического типа [1, 10]. На основе численного эксперимента установлено, что внутриконтинентальные среднефокусные землетрясения происходят в ответ на увеличение вязких напряжений внутри по-

гружающихся в мантию океанических плит [11]. Для внутриплитных территорий Северо-Американской и Евроазиатской плит обнаружена связь сейсмичности с передачей возмущений от срединно-океанических хребтов [24]. Повышение сейсмической активности может совпадать с изменением уровня водной поверхности Мирового океана, который выступает индикатором, активно реагирующим на факторы разной природы, в том числе и геолого-геофизические процессы, вызванные погружением литосферных плит в зонах субдукции [31, 32].

Однако в серии работ продемонстрирован другой подход к объяснению неравномерности сейсмического процесса. Проявление повышенной сейсмической активности одновременно на участках, расположенных на значительном удалении друг от друга, предполагает участие в сейсмической активизации механизма, общего для всей планеты. Таким глобальным процессом, например, может выступать неравномерность вращения Земли [3, 27, 36–38; 46].

Корреляция максимумов сейсмической активности с неравномерностью вращения установлена в интервалах времени разной длительности для всего мира или его отдельных районов, расположенных в разных геодинамических обстановках [15, 16, 18, 30, 42, 44, 47]. В настоящее время изучено влияние вариаций скорости вращения на состояние литосферы, ее деформационные поля и перераспределение напряженно-деформационного состояния [23]. Показано, что неравномерность вращения планеты может играть роль «триггерного» механизма для сильных землетрясений или быть энергетическим источником повышенной сейсмичности [33, 35, 40]. На основе детального анализа в сейсмическом процессе выделено три глобальных компонента. Глобальная компонента (Т), вызванная физическим механизмом, общим для всего шара, с характерными временами изменения 10–15 лет. Более локальная компонента (М) вызывает переменное напряжение на стыках тектонических плит с периодом от 3 лет. Региональная компонента (R) фиксирует долговременный спад или рост сейсмичности продолжительностью порядка 25 лет [3, 4, 39].

В данной работе исследованы периоды усиления сейсмической активности Приамурья. Большая часть этого региона находится во внутриплитных условиях (северо-восточная окраина Амурской плиты), которая характеризуется умеренной сейсмичностью (рис. 1, а, б). Для выявления динамических факторов, определяющих усиление сейсмичности, выполнено сравнение пиков сейсмичности с низкочастотной составляющей скорости вращения планеты и глубокофокусной сейсмичностью близкорасположенных сегментов зоны субдукции Тихоокеанской плиты (рис. 1, б). Ранее проведенные исследования сейсмической активности в двух фазах изменения скорости вращения Земли (растяжение-сжатие) статистически значимых отклонений в количестве землетрясений не обнаружили [29].

ДАнные И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа сейсмического процесса в Приамурье использован каталог ИТиГ ДВО РАН, где собраны данные о землетрясениях из опубликованных сборников «Землетрясения в СССР», «Землетрясения России», «Землетрясения Северной Евразии» [7–9]. Представительность каталогов землетрясений в виду изменения числа и конфигурации сейсмических станций в регионе неоднократно менялась. Если в 1961–1966 г. землетрясения с $M = 3.8–4.2$ были представительны только на северо-западе Приамурья, то в 70-е годы такие землетрясения были представительны для всей территории. Далее в связи с увеличением числа

сейсмических станций с 1990 г. по 2015 г. землетрясения с $M = 2.0–2.5$ стали представительны практически для всего региона [28].

В качестве основного параметра, определяющего уровень сейсмической активности региона или отдельных его частей, была выбрана сейсмическая энергия, но в некоторых случаях использовалось и количество землетрясений. Суммирование сейсмической энергии выполнено по годам, используя формулу: $LgE = 4.8 + 1.5 M$, где E – сейсмическая энергия Дж, M – магнитуда. Так как территория характеризуется умеренным уровнем сейсмичности, где сейсмические события с магнитудой 4 и более малочисленны, а с магнитудой 5 единичны, то магнитуда 3 была выбрана в качестве пороговой, отделяющей относительно сильные землетрясения от слабых событий. Расчеты выделившейся сейсмической энергии с использованием относительно сильных сейсмических землетрясений с $M \geq 3$ и количество землетрясений с $M \geq 4.5$ в годовых интервалах в период времени 1960–2015 г. показывают согласованность этих величин, что указывает на однозначность выделенных максимумов сейсмической активности региона (рис. 2, а, б). С целью однозначности выделения временных интервалов повышенной сейсмичности на разных иерархических уровнях было выполнено исследование сейсмической энергии по годам как для всего региона, так и его одинаковых по размерам отдельных четырех областей и зон скоплений землетрясений.

Для исследования сейсмической активности сегментов Тихоокеанской субдукции использован международный каталог ISC (Bulletin of the International Seismological Center) [41]. Выполнены расчеты количества землетрясений и сейсмической энергии для землетрясений с $M \geq 4$ и глубиной очага больше 300 км для расположенного вблизи Приамурья Сахалино-Курильского сегмента Тихоокеанской зоны субдукции. В работе также приведен подсчет количества сейсмических событий для большего по размерам Японо-Курильского сегмента Тихоокеанской зоны субдукции.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наибольшая сейсмическая активность в регионе Приамурья ($48–56^\circ$ с.ш.; $126–140^\circ$ в.д.) наблюдалась в 1986 г., а также повышение сейсмической энергии, но меньшее по величине, отмечается в 1972, 1994, 1975, 1998 г., и пики еще меньшей интенсивности в 1970, 1975 г., 2003 и 2007 гг. (рис. 2, а, б).

Анализ сейсмической активности в 1983–1987 г. показал, что в этот период времени произошла серия

землетрясений на территории Китая, вблизи границы с Россией, магнитуда некоторых достигала 5 и более. Поэтому были выполнены расчеты сейсмической энергии без включения этих скоплений сейсмических событий, т.е. районе с координатами 48–56° с.ш.; 128–140° в.д. в этом же временном диапазоне. В таких границах максимум сейсмической энергии отмечается в 1994 г., но так же достаточно интенсивное выделение сейсмической энергии имело место в 1984–1985 гг. (рис. 2, в). Менее значимые пики проявлены в 1970, 1975, 1999, 2003 и 2006 гг.

В распределении сейсмической энергии слабых землетрясений с $M < 3$, кроме близких к пикам активности с включением относительно сильных событий в 1985, 1994 и 2003 г. выделяются интенсивные максимумы сейсмичности в 1980–1982, 1990 и 2000–2001, 2007 годах (рис. 2, з).

Анализ сейсмической активности в четырех областях региона показал, что повышение сейсмичности происходит примерно в те же временные интервалы, что и в описанные выше пики сейсмической активности для региона (рис. 2). В области I повышение сейсмичности отмечается в 1972, 1975, 1985, 1994, 1999, 2004, 2008 гг. Для области II характерны интенсивные максимумы в 1985 и 1994 гг. В области III проявлено повышение сейсмичности в 1970, 1994 и 2007 гг. Для области IV, где выявлена аномальная сейсмическая активность в 1985–1986 гг., вблизи границы России и Китая, были выполнены расчеты сейсмической энергии без скоплений землетрясений в это время, т.е. в районе с координатами 48–50° с.ш.; 129–133° в.д., где видно, что интенсивный максимум 1994 г. сопровождается менее значимыми пиками в 1990 и 1997 г. Необходимо отметить, что сейсмическая активность в областях после 2000 г. характеризуется большей изменчивостью. Наиболее значимые по интенсивности пики отмечаются в 2005 г. (область I–IV) и в 2007 г. (область III). Более слабые пики имели место в 2003, 2004 г. и 2008 г. (рис. 3).

В локальных скоплениях очагов землетрясений в большинстве случаев отмечается повышение сейсмичности в 1985–1986 гг., 1994–1995 гг., 2003–2005 гг. (рис. 4). Также для некоторых зон характерно повышение сейсмичности 1972–1974 гг., 1997–1998 гг. Зоны 5 и 7 характеризуются аномальным выделением сейсмической энергии в 2007 гг.

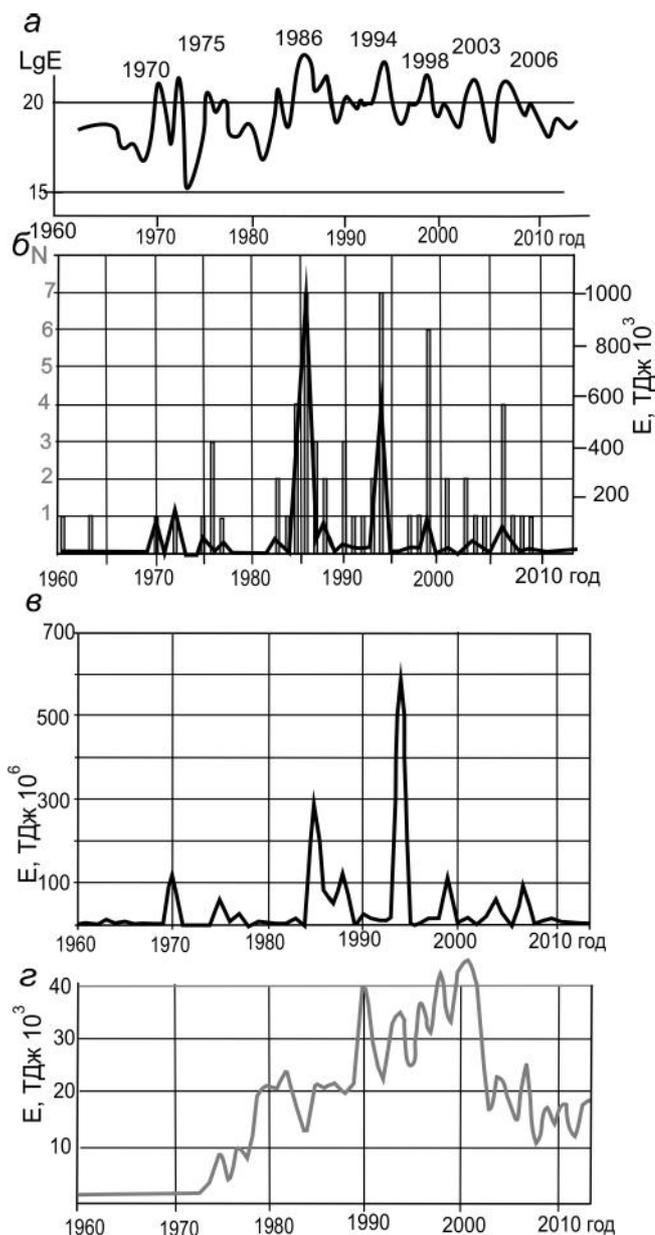


Рис. 2. Распределение сейсмической энергии по годам в Приамурье (1960–2015 гг.).

а – годовое распределение выделившейся сейсмической энергии в логарифмическом масштабе; б – соотношение суммарной сейсмической энергии достаточно сильных землетрясений ($M \geq 3$) с количеством землетрясений ($M \geq 4.5$) по годам; в – распределение сейсмической энергии в районе с координатами (48–56° с.ш.; 128–140° в.д.); з – годовое распределение сейсмической энергии слабых землетрясений ($M < 3$).

Рис. 1. Сейсмическая активность района работ (а) и его тектоническое положение (б).

1 – границы района работ; 2 – границы областей и их номер; 3 – границы зон скоплений землетрясений; 4 – землетрясения: а – $M \geq 5$; б – $5 > M \geq 4.5$; в – $4.5 > M \geq 4.0$; г – $4.0 > M \geq 3.0$; 5 – границы плит: ЕА – Евразийская, АМ – Амурская, ОХ – Охотская, ТО – Тихоокеанская; б – сегменты Тихоокеанской зоны субдукции: 1 – Сахалино-Курильский, 2 – Японско-Курильский; 7 – глубоководные землетрясения ($H \geq 300$ км, $M \geq 4.0$).

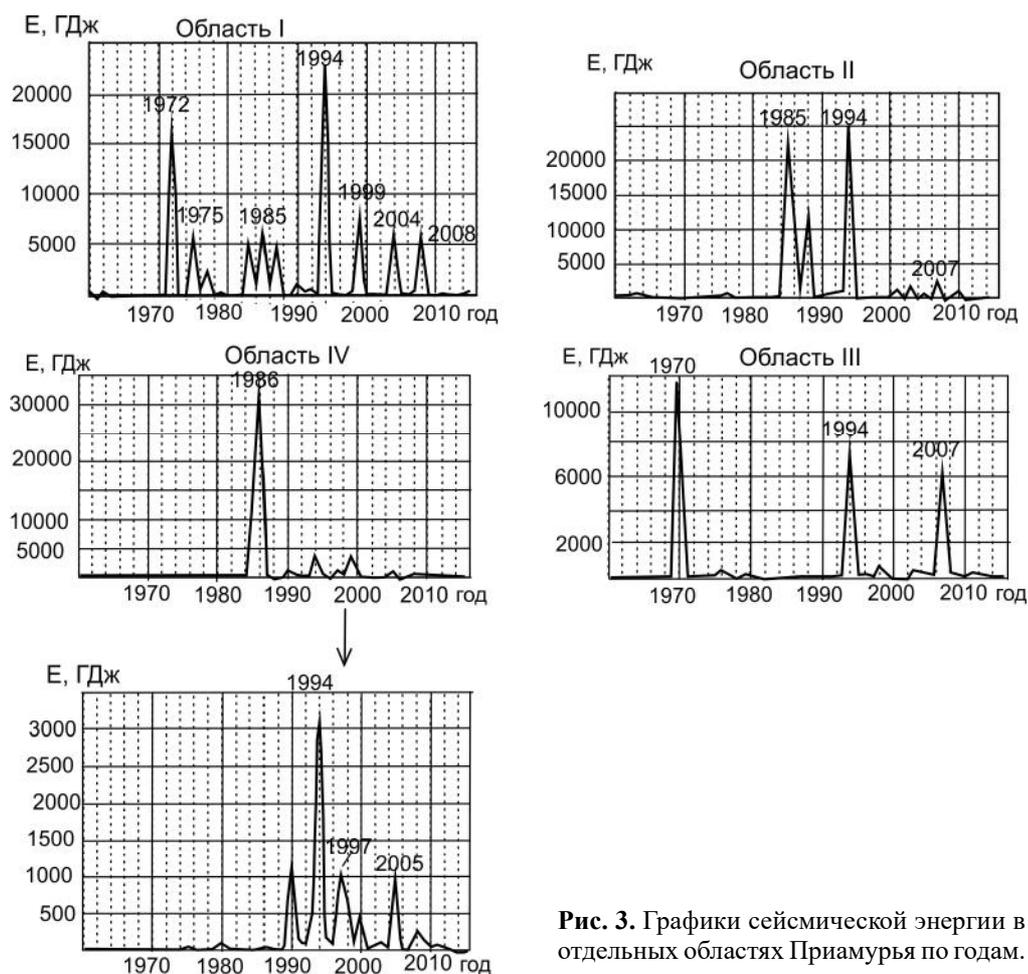


Рис. 3. Графики сейсмической энергии в отдельных областях Приамурья по годам.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исходя из анализа годового распределения сейсмической активности всей территории Приамурья, отдельных областей и зон скопления очагов землетрясений, в большинстве случаев наблюдается повышение сейсмической энергии достаточно сильных землетрясений с $M \geq 3$ в 1970, 1972 гг., 1975 г., 1985–1986 гг., 1993–1995 гг., 2003–2005 гг., и пик меньшей интенсивности отмечается в 1997–1999 гг. (рис. 2, 3, 4). Описанные интервалы повышенной сейсмической активности в общих чертах соответствуют сводке годового количества событий и распределения сейсмической энергии для региона Приамурья и Приморья, где также устанавливается повышение сейсмичности в 1985–1986, 1994, 2003 гг. [28]. Повышенная сейсмическая активность в это время наблюдается и в других соседних сейсмоактивных областях. Сходные пики сейсмичности выявлены в Курило-Камчатской зоне с наибольшими вариациями амплитуды сейсмической энергии в 1975, 1982–1987, 1993–1996 гг. [26, 34]. Отдельные из описанных пиков сейсмичности

обнаруживаются в таких активных областях Азии, как Байкальская рифтовая зона или на Гималаях в разных диапазонах магнитуд [12, 16, 25]. Пики усиления сейсмической энергии, выявленные в регионе Приамурья, соответствуют периодам повышенной сейсмичности, установленным для всего мира [13, 17, 39] (рис. 5, а, б). Так количество ежегодно регистрируемых землетрясений и число землетрясений с $M \geq 4$ фиксируют слабое повышение сейсмичности в 1975 г., а также более значимые пики сейсмичности в 1985–1986 гг., 1993–1995 гг. и 2005 г. [13, 39]. Аномальное повышение величины сейсмического момента устанавливается в 1994–1995 гг. и в 2005 г. [17]

В описанные интервалы времени в мире произошли сильные землетрясения: за период 1985–1986 г. отмечалось три события с $M \geq 8$, в 1994–1996 г. – 4 события, в период 2004–2005 гг. 6 событий, самое сильное землетрясение (Суматра 26.12.2004 г.; $M = 9.1–9.3$) [43]. В 1973–1974 гг., 1983–1986 гг. и 1994–1995 гг. усиление сейсмичности в Азии сопровождалось серией уникальных сейсмических событий. В

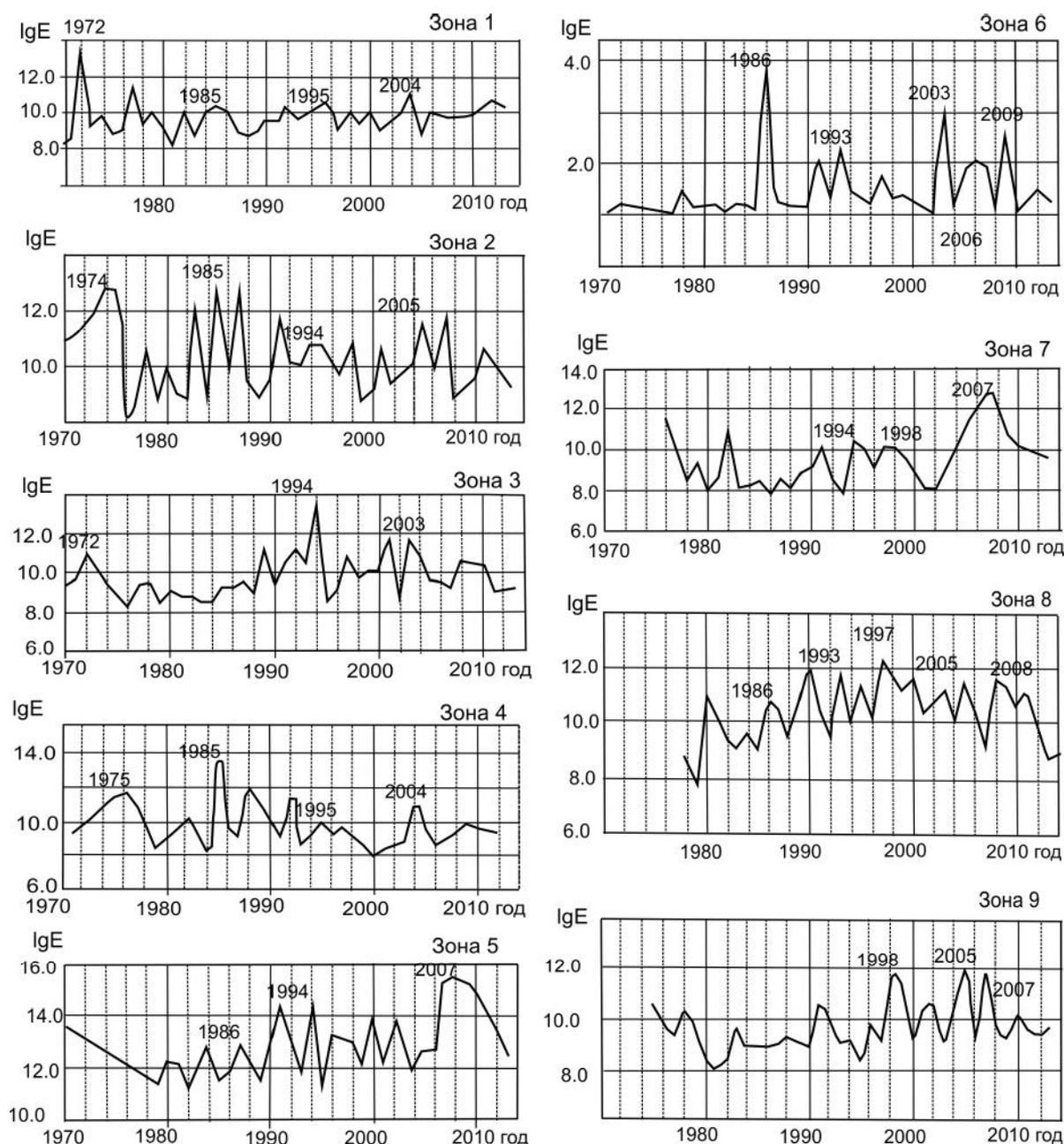


Рис. 4. Графики логарифма сейсмической энергии в зонах скопления землетрясений Приамурья.

Гиндукуше при максимуме сейсмичности в 1974 г., произошло нарушение периодического характера временного хода асейсмичной полосы в 1973 г, что связывается со сменой знака ускорения планеты [19, 20]. В период 1983–1985 г. глубокофокусные землетрясения 30.12 1983 г. ($M = 7.8$; $h = 210$ км); 29. 07. 1985 г. ($M = 7.0$; $h = 70$ км) сопровождалась афтершоками с $M \geq 4.5$, чего не наблюдалось в регионе за весь период инструментальных наблюдений. Уникальность этих землетрясений состоит также в подъеме очага события 1985 г. до минимальной глубины верхней

мантии и в «прорыве», т.е. заполнении эпицентрами повторных толчков асейсмической полосы, периодически изменяющейся в диапазоне глубин 120–180 км с циклом 10–11 лет [21]. Уникальными сейсмическими событиями сопровождалась также сеймотектоническая активизация в Байкальской рифтовой зоне в 1992–1993 г. В это время произошли землетрясения, которые фиксировали перестройку тектонических напряжений. По механизмам этих событий установлено преобладание близгоризонтального сжатия с взбросовой компонентой подвижек, в то время как обыч-

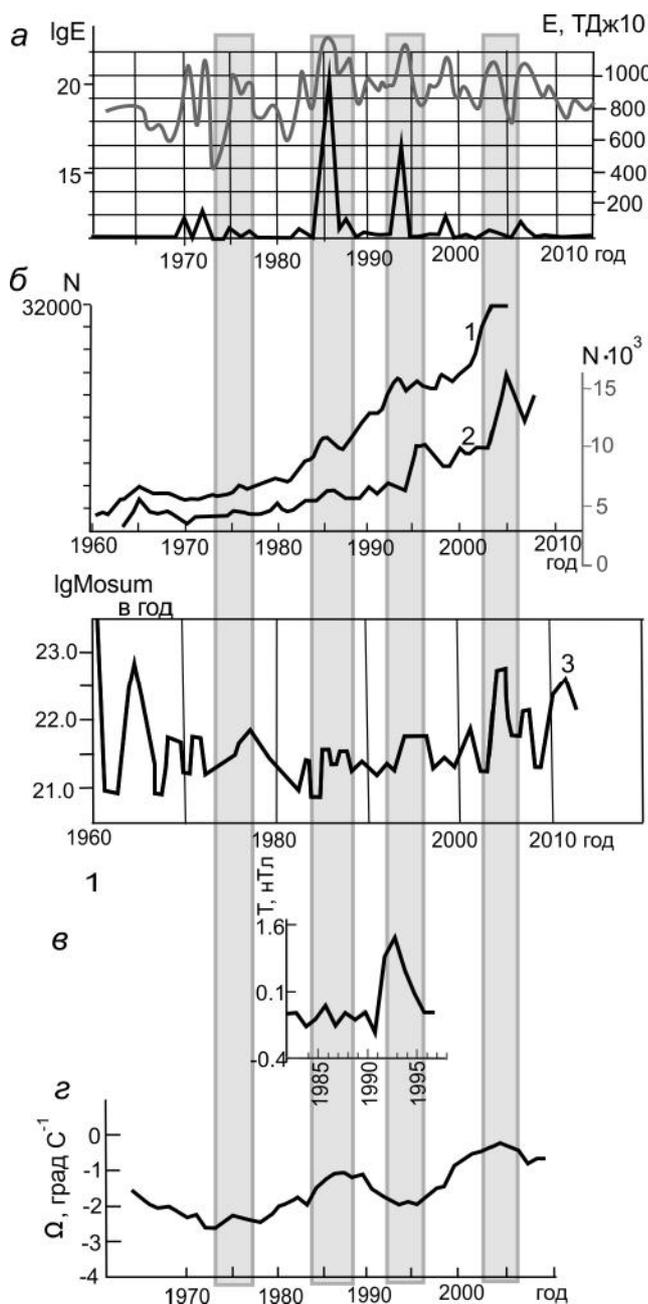


Рис. 5. Соответствие пиков сейсмической энергии региона Приамурья сводкам сейсмичности по миру.

a – годовое распределение сейсмической энергии Приамурья (верхний график – логарифм сейсмической энергии, нижний – выделившаяся сейсмическая энергия в ТДж); *б* – сейсмическая активность мира: 1 – количество ежегодно регистрируемых землетрясений в мировом каталоге, по [13]; 2 – вариации глобальной сейсмической активности землетрясений ($M \geq 4$) в 1964–2008 гг., по [39]; 3 – глобальный ход высвобождения сейсмического момента в диапазоне глубин 0–100 км, по [17]; *в* – тектономагнитные аномалии, по [6]; *з* – усредненные вариации частоты вращения, по [39].

но для землетрясений региона характерен типично рифтовый механизм подвижек сбросового типа [5]. На глобальный характер сильной сейсмогеодинамической активизации в 1993–1994 гг. указывается и в других работах [31]. В соседних с Приамурьем сейсмоактивных регионах (Курильские о-ва и о.Сахалин) в этот период времени произошло два сильных землетрясения: Шикотанское 4.10.1994 г. $M_w = 8.3$ и Нефтегорское 28.05.1995 $M_w = 7.6$.

Пики сейсмической активности в 1985–1986 гг. и 1994 г. совпадают со временем появления тектономагнитных аномалий повышенной интенсивности, зафиксированным в центральной части Байкальской рифтовой зоны (рис. 5, *в*). Магнитные аномалии такого типа объясняются увеличением пьезомагнитных свойств пород земной коры при изменении тектонических напряжений или их перераспределении на региональном уровне [2, 5]. При этом магнитная аномалия 1994 г. имеет большую интенсивность, в то время как аномалия в 1986 г. проявлена значительно слабее. Соответствие пиков сейсмической активности в Приамурье максимумам количества сейсмических событий в мире, обнаружение повышения сейсмичности в тех же временных интервалах в других сейсмоактивных районах, а также соответствие пиков сейсмической активности тектономагнитным аномалиям, полученным вблизи Байкальской рифтовой зоны, предполагают существование глобального процесса в повышении сейсмической активности. Этот процесс вызвал значительные изменения напряженно-деформируемого состояния большой территории, которое сопровождалось сейсмическими подвижками по разломам (рис. 5, *в*). Таким глобальным механизмом может выступать неравномерность вращения планеты (рис. 5, *з*). Ранее было показано, что коэффициент корреляции между модулем производной по времени от скорости суточного вращения Земли, характеризующим ускорение и замедление вращения Земли, и ежегодным числом достаточно сильных землетрясений достигает высоких значений [4].

Анализ выделившейся сейсмической энергии в период 1960–2015 гг. для Приамурья показывает соответствие максимумов сейсмической энергии интервалам, где величины частоты, а соответственно скорости вращения минимальны или максимальны. Минимальные значения частоты вращения 1971–1975 гг. отмечаются слабыми всплесками сейсмической активности 1972–1975 гг., а повышенные величины частоты в 1984–1986 гг. – всплеском сейсмической энергии в 1985–1986 гг. Следующему периоду пониженных значений частоты вращения в 1992–1994 гг. соответствует сейсмическая активизация региона с

максимальным проявлением в 1994 г. Повышение частоты в 2003–2005 гг. соответствуют пикам сейсмической энергии в 2003 и 2005 г. (рис. 5, *з*)

Таким образом, исходя из приведенных данных, следует, что неравномерность вращения Земли является важным «триггирующим» фактором, который сопровождается высокими неотектоническими напряжениями, инициирующими землетрясения достаточно большой силы ($M \geq 3$) во внутриплитных условиях территории Приамурья. Такая закономерность, вероятно, подтверждает существование общей для всех регионов мира компоненты в сейсмическом процессе с характерными временами изменения 10–15 лет (Т-компонента) [3]. При этом, триггирование сейсмических событий возможно только в «подготовленных» участках земной коры. Исходя из анализа сейсмической активности четырех областей региона исследования, только в области I отмечаются все четыре описанные выше интервала повышенной сейсмической активности, т.е. в этой области оказались «подготовленные» участки всем точкам смены знака скорости (частоты) вращения планеты в этот промежуток времени (рис. 3). Это факт, вероятно, показывает, что область I является наиболее сейсмоактивной в регионе. В других областях проявлено повышением сейсмичности только две или три точки смены знака частоты вращения. Аналогично областям, в зонах скоплений отмечается соответствие пиков сейсмической активности как всем точкам смены знака скорости вращения планеты, так и только двум или трем из них (рис. 4).

Распределение сейсмической энергии слабых землетрясений ($M < 3$) показывает, что повышенная сейсмическая активность, кроме описанных выше характерных для достаточно сильных землетрясений пиков сейсмичности, отмечалась в 1980–1983, 1990, 1998, 2000–2003, 2005, 2007 гг. После всплеска сейсмической энергии в 2000–2003 гг. произошло резкое уменьшение количества слабых землетрясений (рис. 6, *а*).

Анализ сейсмической энергии слабых событий Приамурья и сейсмической активности глубокофокусных землетрясений Сахалино-Курильского сегмента Тихоокеанской зоны субдукции показал, что усиление слабой сейсмичности Примурья в 1980 г., 1990 г., 2000 г. и 2007 г. соответствуют пикам повышенного количества глубокофокусных сейсмических событий в этом близко расположенном к региону сегменту Тихоокеанской субдукции (рис. 6, *а, б*). Вероятно, вариации сейсмической активности слабых землетрясений Приамурья обусловлены колебаниями в движении Тихоокеанской плиты, вызывающими сейсмические

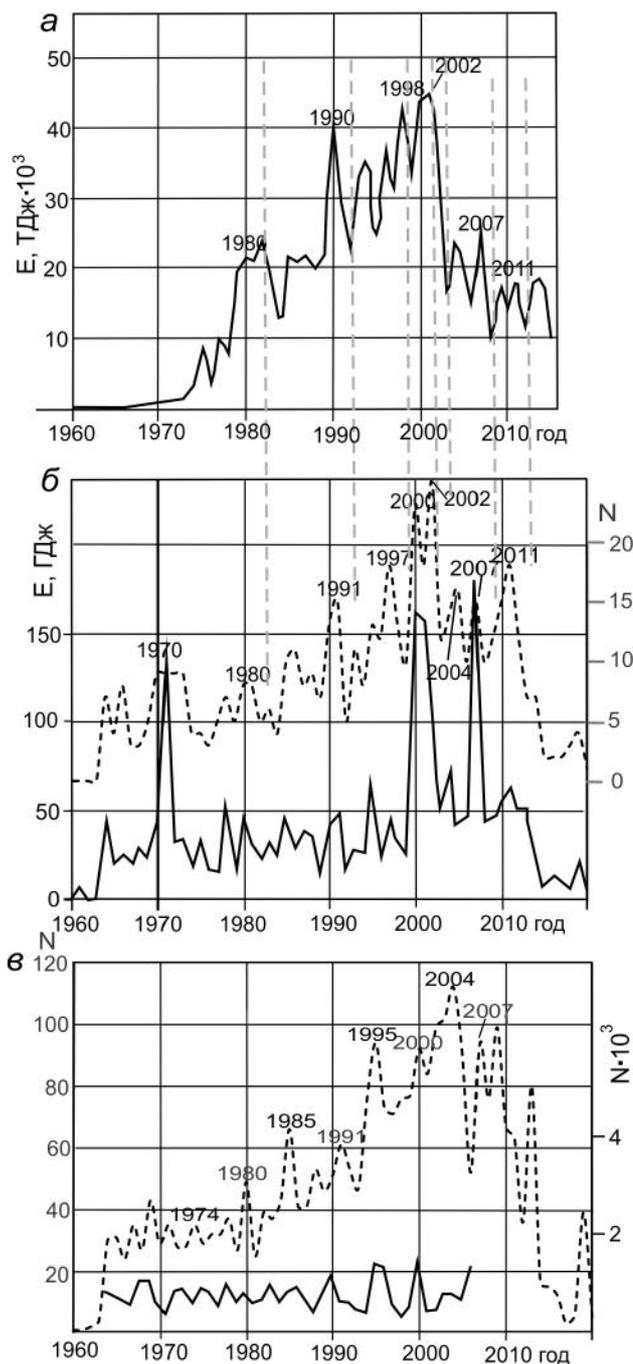


Рис. 6. Соответствие сейсмической энергии слабых землетрясений ($M < 3$) Приамурья сейсмической активности глубокофокусных землетрясений в Тихоокеанской зоне субдукции.

а – годовое распределение энергии слабых землетрясений Приамурья; *б* – количество и сейсмическая энергия глубокофокусных землетрясений ($H > 300$ км, $M > 6$) в Сахалино-Курильском сегменте Тихоокеанской субдукции (пунктиром показано количество землетрясений, черным – сейсмическая энергия); *в* – количество глубокофокусных событий ($H > 300$ км, $M > 6$) в Японо-Курильском сегменте (показано пунктиром) и северной ветви Тихоокеанской субдукции, показано черным цветом по [39].

подвижки. На колебательный характер деформаций и движений на границах плит с периодом 2–3 года или 5–6 лет указывается в ряде работ [4, 21, 39].

В годовом распределении сейсмической энергии слабых землетрясений Приамурья проявлены также пики сейсмичности, характерные для относительно сильных землетрясений (1975, 1985–1986, 1994–1995 гг. и 2004 гг.). Но в количестве глубокофокусных землетрясений Сахалино-Курильского сегмента повышение сейсмичности проявляется в эти интервалы времени только в 1985 г., 1996–1997 гг., 2004 г. (рис. 6, б). Наилучшим образом описанные выше повышения сейсмичности проявлены в большем по размерам участке субдукции Тихоокеанской плиты (Японо-Курильском сегменте) в количестве глубокофокусных землетрясений (рис. 6, в). Вероятно, вариации скорости вращения планеты оказывают триггерующее воздействие, вызывающее повышенную сейсмичность также только в подготовленных сегментах таких крупных сейсмически активных областей, как Тихоокеанская зона субдукции. Коэффициент корреляции сейсмической энергии слабой сейсмичности Приамурья с числом глубокофокусных землетрясений в Японо-Курильском сегменте субдукции равен $r = 0.57$.

Длиннопериодная компонента (25 лет и более) в сейсмичности достаточно сильных землетрясений Приамурья не выделяется, но в сейсмической активности слабых землетрясений отмечается долговременное увеличение до 2000–2002 гг, согласное с повышением числа глубокофокусных землетрясений в Японо-Курильском сегменте субдукции (рис. 6, б, в). Сброс и резкое уменьшение числа землетрясений фиксируется в Сахалино-Курильском сегменте в 2002 г, а в Японо-Курильском сегменте зоны субдукции – в 2004 г. (рис. 6, б, в). Ранее резкие изменения в зоне субдукции установлены в трендах глобального сейсмического шума в середине 2003 года, которые определяются как точка перелома. После 2003 г. тренды приобретают характер, присущий областям с повышенной сейсмической опасностью [18, 42].

Необходимо отметить, что кроме описанных выше четырех временных интервалов повышенной сейсмичности, соответствующих точкам смены знака скорости вращения планеты, в распределении числа достаточно сильных землетрясений ($M \geq 4.5$), а также в графиках сейсмической энергии отдельных областей I и IV и зон 7–9 отмечается повышение сейсмичности в 1997–1999 гг. (рис. 2–4). Такое повышение может быть вызвано процессами в Тихоокеанской зоне субдукции: пик сейсмичности в числе глубокофокусных землетрясений Сахалино-Курильском сегмента проявлен в 1997 г. (рис. 6, б). Также возможно

участие в усилении сейсмичности других глобальных процессов, так как сейсмическая активность в это время наблюдалась на отдельных участках районов Азии [14, 16, 22, 45].

Также в области III и зонах скоплений (зоны 5, 7, 9) наблюдается увеличение сейсмической активности в 2006–2007 гг., которое происходит не в точке смены скорости вращения. Дополнительным фактом этого является отдельное проявление пиков 2004 г. и 2007 г. в зоне Тихоокеанской субдукции в 2004 г. и 2007 г. (рис. 6) и в 2005 г. и 2007 г. в зонах 8, 9 (рис. 4). Усиление сейсмичности в это время коррелирует с пиком сейсмической активности в Сахалино-Курильском сегменте Тихоокеанской зоны субдукции (рис. 6, б). Вероятно, область III находится под достаточно сильным влиянием процессов в Тихоокеанской зоне субдукции в определенные промежутки времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате исследования выявлено, что для региона Приамурья устанавливается корреляция периодов усиления выделившейся сейсмической энергии достаточно сильных землетрясений ($M \geq 3$) с временными интервалами пониженных или повышенных величин частоты (скорости) вращения планеты в период 1970–2015 гг., т.е. изменение скорости вращения планеты выступает «триггером» для большинства достаточно сильных землетрясений во внутриплитных условиях Приамурья.

2. Соответствие периодов усиления сейсмичности в четырех областях всем интервалам смены скорости вращения планеты наблюдается в одном случае, в остальных областях повышение сейсмической энергии проявлено в 2 или 3 из четырех точек изменения частоты (скорости) вращения Земли за период исследования.

3. Значимой сейсмической активизации в отдельных областях и зонах кроме времени изменения частоты вращения планеты не выявлено, только природа усиления сейсмичности в некоторых зонах в 1997–1999 гг. требует дальнейшего изучения.

4. Максимумы годового распределения суммарной энергии слабых сейсмических событий ($M < 3$) в Приамурье соответствуют пикам повышенной сейсмичности (сейсмическая энергия и число глубокофокусных землетрясений в Сахалино-Курильском сегменте Тихоокеанской зоны субдукции), что позволяет утверждать, слабые сейсмические события инициируются переменным напряжением на границах плит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветисов Г.П. Тектонические факторы внутриплитной сейсмичности западного сектора Арктики // Физика Земли.

1996. № 13. С. 59–71.
2. Биргер Б.И. Накопление упругих деформаций в верхней коре на запертых трансформных разломах и тектономагнитный эффект // *Физика Земли*. 2016. № 6. С. 144–152.
 3. Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. О выявлении трех компонент в сейсмической активности Земли // *Физика Земли*. 1994. № 10. С. 23–32.
 4. Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Татевян С.К., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. Об отрицательной корреляции сейсмической активности между зонами субдукции Тихоокеанской и Индо-Австралийской плит и на перекрестке срединно-океанических хребтов // *Физика Земли*. 1999. № 11. С. 28–39.
 5. Дядьков П.Г., Мандельбаум М.М., Татьков Г.И., Ларионов В.А., Жирова Н.В., Михеев О.А., Низамутдинов Р.С., Чебаков Г.И. Особенности развития сеймотектонического процесса и процессов подготовки землетрясений в центральной части Байкальской рифтовой зоны по результатам тектономагнитных исследований // *Геология и геофизика*. 1999. Т. 40, № 3. С. 346–359.
 6. Дядьков П.Г., Мельникова В.И., Саньков В.А., Назаров Л.А., Назарова Л.А., Тимофеев В.Ю. Современная динамика Байкальского рифта: эпизод сжатия и последующее растяжение в 1992–1996 гг. // *Докл. РАН*. 2000. Т. 372, № 1. С. 99–103.
 7. *Землетрясения в СССР*. М.: Изд-во АН СССР, 1962–1991 гг.
 8. *Землетрясения Северной Евразии, 1992–2015 гг.* Обнинск: ГС РАН.
 9. *Землетрясения России в 2003–2015 г.* Обнинск ГС РАН.
 10. Зобак М.Д., Зобак М.Л. Поле напряжений и внутриплитовые напряжения в США // *Современные проблемы геодинамики*. М.: Мир, 1984. С. 236–258.
 11. Исмаил-заде А.Т., Наймарк Б.М. Напряжения в погружающихся древних океанических плитах под континентальными областями: численные модели // *Докл. РАН*. 1997. Т. 354, № 4. С. 539–541.
 12. Ключевской А.В. Эпизоды высокой корреляции годовых чисел землетрясений Байкальской рифтовой зоны // *Вулканология и сейсмология*. 2010. № 1. С. 55–62.
 13. Кондратьев О.К., Люкэ Е.И. Наведенная сейсмичность, реалии и мифы // *Физика Земли*. 2007. № 9. С. 31–47.
 14. Короновский Н.В., Брянцева Г.В., Архипова Е.В., Анисимова О.В. Структурно-геоморфологический анализ и сейсмичность Афганского региона // *Бюл. МОИП. Отд. геол.* 2017. Т. 92, Вып. 2. С. 21–31.
 15. Левин Б.В., Сасорова Е.В. О связи вариаций скорости вращения Земли и ее сейсмической активности // *Докл. РАН*. 2015. Т. 464, № 3. С. 351–355.
 16. Левина Е.А., Ружич В.В. Влияние сейсродинамического взаимодействия тектонических плит в зоне Гималайской коллизии на сейсмичность Байкальского рифта // *Сб. докл. междунар. конф. «Актуальные проблемы современной сейсмологии»*. Ташкент, 2016. С. 417–422.
 17. Лутиков А.И., Рогожин Е.А. Вариации интенсивности глобального сейсмического процесса в течение XX–начало XXI // *Физика Земли*. 2014. № 4. С. 25–42.
 18. Любушин А.А., Копылова Г.Н. Серафимова Ю.К. Связь мультифрактальных и энтропийных свойств сейсмического шума на Камчатке с неравномерностью вращения Земли // *Физика Земли*. 2021. № 2. С. 153–163.
 19. Маламуд А.С., Николаевский В.Н. Периодичность Памиро-Гиндукушских землетрясений и тектонические волны в субдуцируемых тектонических плитах // *Докл. АН СССР*. 1983. Т. 269, № 5. С. 1075–1078.
 20. Маламуд А.С., Николаевский В.Н. Цикличность сеймотектонических событий на краях Индийской литосферной плиты // *Докл. АН СССР*. 1985. Т. 282, № 6. С. 1333–1337.
 21. Маламуд А.С., Николаевский В.Н. Активизация мантийного разлома под Гиндукушем в 1983–1985 гг. // *Докл. АН СССР*. 1989. Т. 308, № 2. С. 324–328.
 22. Мельникова В.И., Середкина А.И., Гилева Н.А. Пространственно-временные закономерности развития крупных сейсмических активизаций (1999–2007 гг.) // *Геология и геофизика*. 2020. Т. 61, № 1. С. 119–134.
 23. Милуков В.К., Кравчук В.К., Миронов А.П., Латынина Л.А. Деформационные процессы в литосфере, связанные с неравномерностью вращения Земли // *Физика Земли*. 2011. № 3. С. 96–109.
 24. Мухамедиев Ш.А., Грачев А.Ф., Юнга С.Л. Нестационарный динамический контроль сейсмической активности платформенных областей со стороны срединно-океанических хребтов // *Физика Земли*. 2008. № 1. С. 12–22.
 25. Некрасова А.К., Кособоков В.Г., Парвез И.А. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска на основе общего закона подобия для землетрясений: Гималаи и прилегающие регионы // *Физика Земли*. 2015. № 2. С. 116–125.
 26. Сасорова Е.В., Андреева М.Ю., Левин Б.В. Динамика сейсмичности Курильской дуги на основе многомерного статистического анализа // *Тихоокеан. геология*. 2013. Т. 32, № 1. С. 75–84.
 27. Сасорова Е.В., Левин Б.В. О связи вариаций скорости вращения Земли и ее сейсмической активности. Вступление Земли в новую фазу уменьшения угловой скорости вращения // *Вестн. КРАУНЦ. Физ.-матем. науки*. 2017. № 4. Вып. 20. С. 91–100.
 28. Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Коваленко Н.С. Сейсмичность региона Приамурье и Приморье. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2019. 104 с.
 29. Трофименко С.В. Тектоническая модель сейсмичности северо-восточного сегмента Амурской плиты в двух фазах вращения Земли // *Тихоокеан. геология*. 2016. Т. 35, № 6. С. 38–45.
 30. Трофименко С.В., Быков В.Г. Пространственно-временные распределения землетрясений северо-восточного сегмента Амурской плиты в двух фазах изменения модуля скорости вращения Земли // *Вулканология и сейсмология*. 2017. № 2. С. 45–58.
 31. Уломов В.А. О глобальных изменениях сейсмического режима и уровня водной поверхности Земли // *Физика Земли*. 2007. № 9. С. 3–17.
 32. Уломов В.А. К вопросу планетарной сейсмической активизации // *Геориск*. 2010. № 3. С. 4–8.
 33. Уткин В.И., Юрков А.К., Цурко И.А. Вариации неравномерного вращения Земли как триггирующий фактор сейсмичности // *Геология и геофизика юга России*. 2012. № 1. С. 3–13.
 34. Федотов С.А., Федорова И.В., Олейник О.В., Гамбурцев А.Г. Динамика спектрально-временной структуры сейсмической энергии вдоль Курило-Камчатской зоны //

- Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Природные и социальные сферы как части окружающей среды и как объекты воздействий. М.: Янус-К, 2002. Т. 3. С. 291–297.
35. Федоров В.М. Особенности суточного распределения землетрясений в связи с вращением Земли // Вулканология и сейсмология. 2005. № 3. С. 62–65.
 36. Фридман А.М., Татевян С.К., Трапезников Ю.А., Клименко А.В. Об особенностях вариаций глобальной и зеркальной компонент сейсмической активности Земли // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 10. С. 1504–1515.
 37. Фридман А.М., Брагин В.Д. О связи глобальной и локальной сейсмической активности // Физика Земли. 2005. № 9. С. 54–57.
 38. Фридман А.М., Клименко А.В., Поляченко Е.В., Фридман М.В. О связи глобальной сейсмической активности Земли с особенностями ее вращения // Вулканология и сейсмология. 2005. № 1. С. 67–74.
 39. Фридман А.М., Поляченко Е.В., Насырканов Н.Р. О некоторых корреляциях в сейсмодинамике и двух компонентах сейсмической активности Земли // Успехи физических наук. 2010. Т. 180, № 3. С. 303–312.
 40. Bendick R., Bilham R. Do weak global stresses synchronize earthquakes // Geophys. Res. Lett. 2017.
 41. Bulletin of the International Seismology Center // www.isc.ac.uk
 42. Lyubushin A.A. Trend of global seismic noise properties in connection to irregularity of Earth's rotation // Pure Appl. Geophys. 2020. V. 177, N 2. P. 621–636.
 43. Sammis C.G., Smith S.W. Triggered tremor, phase-locking, and the global clustering of great earthquakes // Tectonophysics. 2013. V. 589. P. 167–171.
 44. Sasorova E., Levin B. Relationship between seismic activity and variations in the Earth's rotation angular velocity // J. Geography and Geology. 2018. V. 10, N 2. P. 43–55.
 45. Radziminovich N.A., Gileva N.A., Melnikova V.I., Ochkovskaya M.G. Seismicity of the Baikal rift system from regional network observation // J. Asian Earth Sci. 2013. V. 62. P. 146–161.
 46. Odintsov S., Boyarschuk K., Georgieva K., Kirov B., Atanasov D. Long-period trends in global seismic and geomagnetic activity and their relation to solar activity // Physics and Chemistry of the Earth Parts. 2006. P. 88–93.
 47. Varga P., Gambis D., Bus Z., Bizouard Ch. The relationship between global seismicity and rotation // Journées 2004- systems deréfèrent cespatio-temporels. Fundamental Astronomy: New Concepts and Models for High Accuracy Observations. Paris, September 20–22, 2004. P.: Observ. Paris, 2005. P. 115–120.

*Рекомендована к печати В.Г. Быковым
после доработки 12.12.2022 г.
принята к печати 23.01.2023 г.*

T.V. Merkulova

Triggering factors of increased seismic activity in Priamurye

This study focused on the annual distribution of seismic activity in Priamurye. An increase in the released seismic energy ($M \geq 3$) was identified in 1970–1975, 1985–1986, 1994–1995, and 2003–2005, which corresponds to the peaks of seismic activity reported worldwide suggesting that a global process, such as a change in the planet rotation speed, is involved in the initiation of sufficiently strong earthquakes under intraplate conditions of Priamurye. The maximum release of seismic energy occurs during the time intervals when the frequency value, and hence the rotation speed, is minimum or maximum, which allows this process to be considered an important factor for triggering an increase in seismicity of the region. The energy distribution of weak earthquakes by year ($M < 3$), except for seismicity peaks characteristic of relatively strong events, shows an increase in seismicity in 1980–1983, 1990, 1998, 2000–2001, and 2007, which corresponds to the periods of increased seismic activity of deep-focus earthquakes in the Pacific subduction zone. This fact allows seismic activity in the Pacific subduction zone to be considered an important factor for triggering weak earthquakes in Priamurye.

Key words: intraplate seismicity, seismic energy, planet rotation speed, Priamurye.