

УДК 550.34

Сейсмическая активность Приамурья и Приморья

© Д. А. Сафонов

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Сахалинский филиал ФИЦ Единой геофизической службы РАН, Южно-Сахалинск, Россия

E-mail: d.safonov@imgg.ru

В работе проанализирована сейсмичность территории Приамурья и Приморья на основе каталога, составленного по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН и более ранних публикаций. Количественно уровень сейсмичности Приамурья и Приморья оценивается по карте сейсмической активности территории A_{10} , построенной методом суммирования с постоянной детальностью. Дополнительно приводится карта распределения условной деформации по площади территории. Показано, что уровень сейсмической активности рассматриваемой территории не превышает значения 0.1, выше которого сейсмическую активность принято считать высокой, т.е. его можно охарактеризовать как низкий или умеренный. Наиболее высокие значения получены в западной и центральной части Янкан-Тукурингра-Джагдинского района, на юго-восточном фланге Становой разломной зоны и в полосе, протягивающейся из правобережного Малого Хингана через Турано-Буреинский район в сторону Становой разломной зоны. Временной ход сейсмического процесса в регионе в целом достаточно равномерный на протяжении, по крайней мере, последних 45 лет, самые заметные кратковременные активизации, проявившиеся в отдельных сильных землетрясениях либо их группах, происходили в 1986, 1990 и 2011 гг.

Ключевые слова: Приамурье, Приморье, сейсмичность, сейсмическая активность.

doi: 10.30730/2541-8912.2018.2.2.104-115

Seismic activity of the Amur and Primorye

Dmitry A. Safonov

Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Sakhalin Branch of the Federal Research Center United Geophysical Survey of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

E-mail: d.safonov@imgg.ru

The seismicity of the territory of the Amur and Primorye is analyzed on the basis of the catalog compiled according to the data of the Sakhalin Branch of the Federal Research Center United Geophysical Survey of RAS and earlier publications. Quantitatively, the level of seismicity of the Amur and Primorye is estimated from the A_{10} seismic activity map of the territory, built by summation with constant level of detail. Also, the map of conditional deformation distribution over area is given. It has been shown that the level of seismic activity on the territory of the Amur and Primorye does not exceed 0.1, above which seismic activity is generally considered to be high, i.e. it can be characterized as low or moderate. The highest values have been obtained in the western and central part of the Yankan-Tukuringa-Dzhagda area, on the southeastern flank of the Stanovoi fault zone and in the strip stretching from the right-bank Small Khingan through the Turan-Bureya area towards the Stanovoi fault zone. The time course of the seismic process in the region is quite stable for the last 45 years at least, the most notable short-term activations manifested themselves in individual or groups of strong earthquakes occurred in 1986, 1990 and 2011.

Keywords: Amur region, Primorye, seismicity, seismic activity.

Введение

Регион Приамурья и Приморья расположен на юго-востоке континентальной части

России. На западе его пределы замыкает рифтовая зона Забайкалья, на крайнем юго-востоке находится современная геосинклиальная

Работа выполнена в рамках гос. задания ИМГиГ ДВО РАН.

котловина Японского моря. Часть региона относится к Монголо-Охотской складчатой области, располагающейся между протерозойской структурой Станового хребта (горная система и высокие плоскогорья) и Китайской платформой (обширные низменности и мелкосопочные равнины). Приморье и нижняя часть Приамурья находятся в пределах мезозойской складчатой области (горная страна с предгорными и межгорными прогибами). Названные тектонические области ограничены глубинными разломами и осложнены более мелкими поперечными нарушениями. Возникшая диагональная сеть разрывных линейментов создает в регионе сложную мозаику блоков различного порядка [Леонов и др., 1977].

С тектонической позиции рассматриваемый регион расположен в северо-восточной части Амурской плиты, северная граница которой находится в пределах региона и проходит, по мнению разных авторов, по одному из двух крупных разломных поясов: Байкало-Становому (разломы № 6–11 на рис. 1) либо Монголо-Охотскому (№ 14–21 на рис. 1), разделенных относительно стабильным Алдано-Становым блоком [Имаева et al., 2012].

Юго-восточнее располагается крупная диагональная система разломов Танлу (№ 110–117), протянувшаяся из северного Китая и состоящая из нескольких субпараллельных разломов. Существует мнение, согласно которому Японо-Корейский блок (территория к востоку и юго-востоку от разломов Танлу)

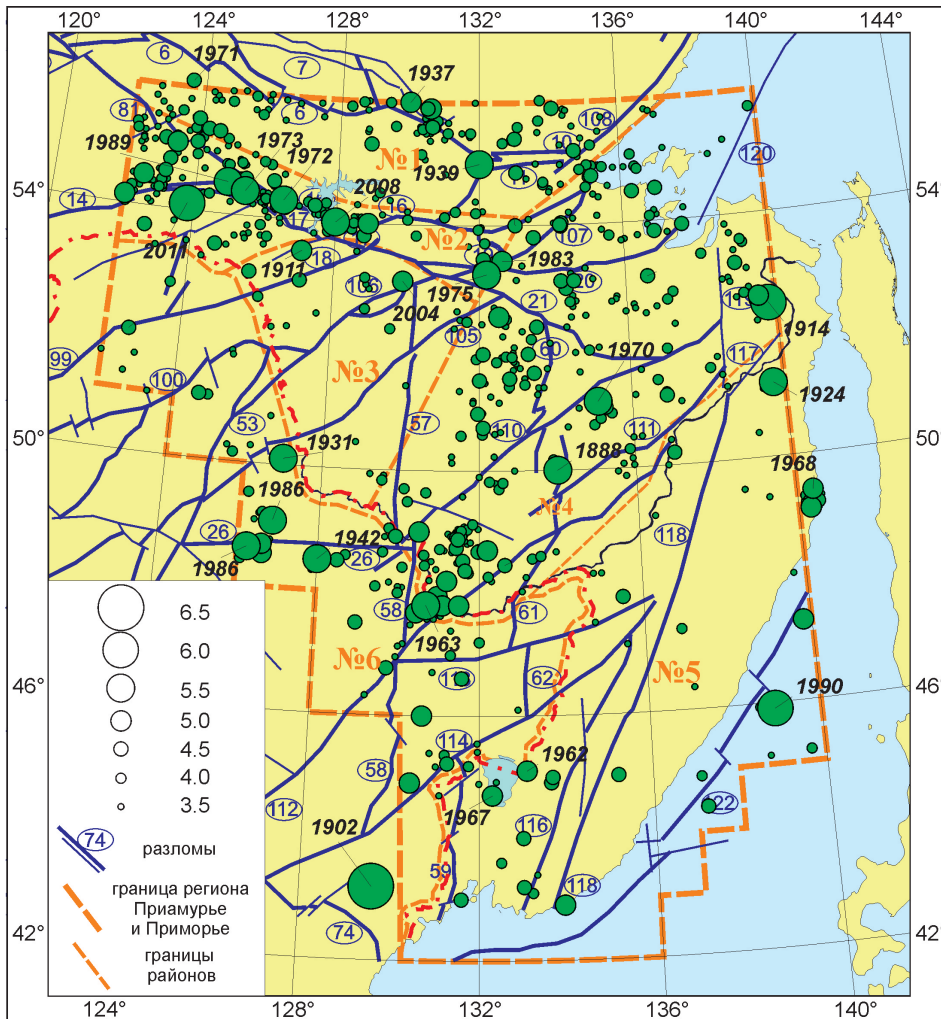


Рис. 1. Эпицентры землетрясений Приамурья и Приморья в 1865–2015 гг., $M \geq 3.3$.

Показана схема разломов согласно [Тектоника... , 2004]. Цифрами в кружках обозначены разломы (пояснения в тексте). Указан год землетрясений, упомянутых в тексте. Здесь и на рис. 4 № 1–6 – районы региона: 1 – Становой, 2 – Янкан-Тукурингра-Джагдинский, 3 – Зейско-Селемджинский, 4 – Турано-Буреинский, 5 – Сихотэ-Алиньский, 6 – Приграничный.

не принадлежит Амурской плите [Гатинский, Рундквист, 2004; Ashurkov et al., 2011]. Есть также позиция В.С. Имаева с соавторами [Имаев и др., 2003; Imaeva et al., 2012], согласно которой восточная граница плиты к северу от Амура отклоняется от диагональных структур Танлу и идет меридионально на север вдоль пояса максимальной сейсмичности (рис. 1).

Помимо упомянутых на территории региона выделяются (рис. 1): меридиональная разломная система Муданцзян (№ 57–59), пересекающая разломы Танлу в среднем течении Амура, Сихотэ-Алиньская система (№ 118–122) на востоке региона и некоторые другие разломные системы [Тектоника... , 2004].

Регистрацией сейсмических событий на территории региона занимается Сахалинский филиал Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы РАН (СФ ФИЦ ЕГС РАН, до 2017 г. – СФ ГС РАН). Регион Приамурья и Приморья по уровню и характеру сейсмичности в практике СФ ФИЦ ЕГС РАН делится на 6 районов (рис. 1): 1) Становой, 2) Янкан-Тукуринграджагдинский, 3) Зейско-Селемджинский, 4) Турано-Буреинский, 5) Сихотэ-Алиньский, 6) Приграничный.

Данный регион относится к числу сейсмоактивных областей России, сейсмичность которых изучена недостаточно ввиду малой заселенности и редкой сети сейсмических станций. Первые задокументированные сведения о землетрясении на территории региона, позволившие установить его параметры, относятся к 1865 г. Однако первая сейсмическая станция на территории региона, «Николаевск-на-Амуре», открылась только в 1970 г. О развитой сети сейсмических станций, позволявшей без пропусков регистрировать землетрясения с $M \geq 3.3$, можно говорить только с конца 1970-х годов. Представительность регистрации землетрясений юга Дальнего Востока менялась по мере изменения численного состава и конфигурации сети сейсмических станций [Нагорных, Поплавская, 2003]. По состоянию на 2015 г. сеть станций СФ ФИЦ ЕГС РАН позволяла регистрировать без пропусков по Приамурью со-

бытия магнитудой $M \geq 2.5$, а по Приморью – $M \geq 3.0$. К сожалению, замена аналоговых сейсмографов на части станций Верхнего Приамурья в 2015–2016 гг. цифровыми акселерографами значительно уменьшила количество регистрируемых здесь землетрясений.

Детальным изучением сейсмичности территории Приамурья и Приморья занимались В.В. Николаев, Р.М. Семенов, Л.С. Оскорбин и многие другие специалисты [Даммер, 1971; Леонов и др., 1977; Оскорбин, 1977; Солоненко и др., 1985; Семенов, Николаев, 1977; Николаев и др., 1979; Сейсмотектоника... , 1989; Парфенов и др., 1985; Оскорбин, Бобков, 1997; Имаев и др., 2003; Коваленко и др., 2014, 2017; и др.]. Сейсмичность традиционно представляется в виде карт эпицентров землетрясений, интегрированных со схемами разломной тектоники, различных геофизических параметров, сейсмического районирования и т.д. Первую и, насколько известно автору, единственную карту сейсмической активности Приамурья (без Приморья) составил Л.С. Оскорбин [Сейсмотектоника... , 1989], есть также карты сейсмической активности для Тукуринграджагдинского поднятия [Семенов, Николаев, 1977; Николаев и др., 1979] и Олекмо-Становой зоны (ее южной части) [Парфенов и др., 1985].

В данной работе анализируется сейсмичность территории Приамурья и Приморья на основе каталога сейсмических событий, составленного по данным СФ ГС РАН и более ранних публикаций. Количественно сейсмичность территории представлена в виде карты сейсмической активности для энергетического уровня A_{10} . Для построения использован энергетический класс Раутиан, а не более распространенная магнитуда, это дает возможность сравнить полученный результат с ранними фрагментарными картами. Поскольку представительная часть исходного каталога ограничена во времени и по территории, дополнительно приведена карта распределения по площади региона параметра условной деформации, который позволил качественно сравнить сейсмичность в большем диапазоне значений энергии и в менее заполненных сейсмическими событиями районах.

Каталог землетрясений

Используемый каталог содержит данные о 12 063 землетрясениях с гипоцентрами в коре (до 50 км глубиной), произошедших в регионе с 1865 по 2015 г., информация о которых получена по инструментальным либо макросейсмическим данным. Каталог за ранние периоды составлен по публикациям [Даммер, 1971; Новый каталог..., 1977; Оскорбин, 1977; Солоненко и др., 1985; Сейсмотектоника..., 1989; и др.]. За 1975–2015 гг. используются преимущественно материалы из архивов СОМСП / СФ ГС РАН, публикуемые в ежегодниках «Землетрясения в СССР» и «Землетрясения Северной Евразии».

Наиболее массовой энергетической характеристикой землетрясений каталога является энергетический класс по Т.Г. Раутиан [1964] K_p , определяемый по соотношению A/T в максимальной фазе S -волн, записанных короткопериодной аппаратурой (СКМ, ВЭГИК) непосредственно либо в цифровой эмуляции. Для его пересчета в более традиционную магнитудную шкалу использовалась формула [Раутиан, 1964]

$$K_p = 1.8M + 4. \quad (1)$$

Каталог, насколько это оказалось возможным, очищен от событий техногенной природы (взрывов).

Представительность каталога значительно варьирует в течение времени и по площади региона. Оценки представительности в разные временные периоды за 1961–2006 гг. выполнены Т.В. Нагорных и Л.Н. Поплавской по методике, описанной в [Нагорных, Поплавская, 2003], за 2007–2015 гг. – автором по упрощенной методике [Коваленко и др., 2014, 2017].

График повторяемости

Одним из основных показателей сейсмичности территории является график повторяемости землетрясений. В рамках данной работы нет необходимости изучать изменение параметров графика повторяемости во времени или сравнивать значения его наклона для разных районов изучаемой территории

(такие сведения можно посмотреть, например, в работе [Оскорбин, Бобков, 1997]).

График повторяемости территории Приамурья и Приморья построен по данным каталога коровых (глубина до 50 км) землетрясений региона, произошедших с сентября 1982 по декабрь 2015 г., т.е. в период, когда представительная регистрация землетрясений на большей и наиболее сейсмоактивной части территории стабилизировалась. Интервальный график повторяемости построен с шагом в 0.5 единицы магнитуды, указанное значение соответствует центру интервала, т.е. значение $M = 4.0$ соответствует интервалу 3.8–4.2, и т.д. Как видно из рис. 2, прямолинейный характер график повторяемости приобретает начиная со значения представительной магнитуды $M_n = 2.5$ (черные круги на рис. 2). Нормировка на площадь территории и время не проводилась, поэтому практическую ценность имеет только коэффициент b наклона графика.

Регрессионная прямая построена по данным в диапазоне $M = 2.3–6.2$. Полученная зависимость имеет вид:

$$\begin{aligned} \text{Lg}N &= 5.59 \pm 0.11 - 0.88 \pm 0.03 M, \quad (2) \\ b &= 0.88; \sigma = 0.084. \end{aligned}$$

Для дальнейших расчетов необходимо оценить наклон графика повторяемости землетрясений с энергетической характеристикой класса Раутиан. Пользуясь переходным соотношением (1), получаем коэффициент наклона графика повторяемости для энергетического класса $\gamma = 0.49$. Это значение хорошо соотносится со значениями для соседних

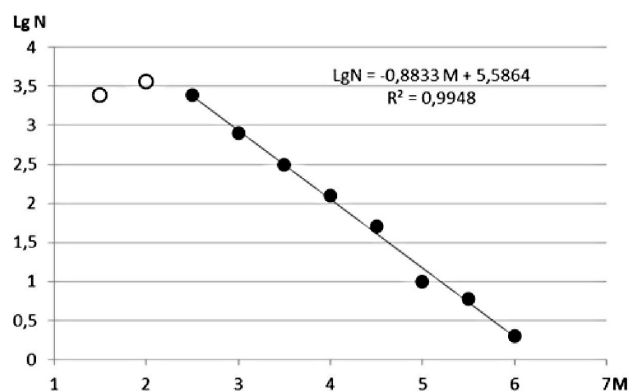


Рис. 2. График повторяемости землетрясений Приамурья и Приморья по данным каталога с 1982 по 2015 г.

континентальных сейсмических регионов России, например области Байкальского рифта $\gamma = 0.48$; Магаданской обл. $\gamma = 0.48$; Якутии $\gamma = 0.45$ [Сейсмическое районирование... , 1980]. Также можно сравнить полученное значение с более ранними оценками для той же территории, например $\gamma = 0.51$ [Оскорбин, 1977]; $b = 0.995$ [Оскорбин, Бобков, 1997], что соответствует $\gamma = 0.55$.

Полученный коэффициент наклона графика повторяемости принят для всего региона и всего периода изучения.

Временной ход сейсмичности

Оценить сейсмическую энергию землетрясений можно по известной формуле [Гутенберг, Рихтер, 1961]:

$$\text{Lg } E = 4.8 + 1.5 M, \text{ Дж}, \quad (3)$$

где E – оценка сейсмической энергии, сгенерированной очагом землетрясения, M – магнитуда.

Временной ход сейсмического процесса территории Приамурья и Приморья, а также изменение полноты каталога можно представить в виде графика накопления условных деформаций – графика Бенъофа. Идея предложена Бенъофом с целью установления связи между энергией отдельных землетрясений и возникающими в результате этих землетрясений деформациями в предположении, что деформации пропорциональны корню квадратному из величины энергии [Benioff, 1951]:

$$e = \frac{\sum \sqrt{E}}{T}, \quad (4)$$

где e – условная деформация, T – время, в данном случае равное 1 году; E – сейсмическая энергия отдельного события, произошедшего на территории S в течение года, оцененная по формуле (3). Согласно, например, [Сейсмическое районирование..., 1980], полученное ежегодное значение e следует нормировать также на площадь территории S , однако, поскольку мы не вкладываем физический смысл в эту величину и в данном случае интересны относительные изменения величины с течением времени, а площадь региона не меняется, это не обязательно.

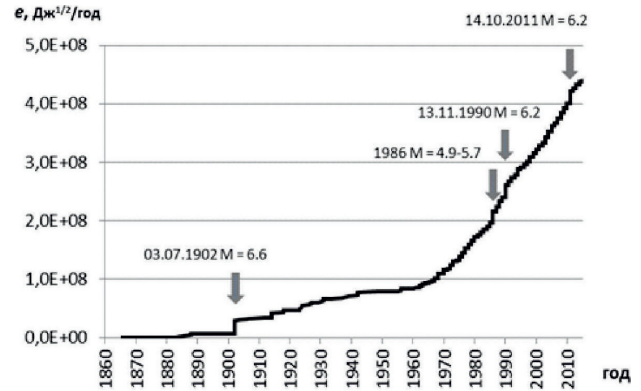


Рис. 3. График Бенъофа для региона Приамурья и Приморья.

Как видно из рис. 3, на временном интервале по 1970 г. наблюдается недооценка накопления условной деформации, что связано с низкой представительностью каталога и вероятным пропуском даже довольно сильных землетрясений. После 1970 г., в связи с повышением регистрационных возможностей сети сейсмостанций, наклон графика стабилизируется, ежегодное приращение величины e становится довольно равномерным, выделяются лишь пики, связанные с сильнейшими землетрясениями региона.

Наиболее крупные события – это землетрясение в районе хр. Лаоелин на территории Китая 3 июля 1902 г. (M оценивается в 6.6, эпицентр, установленный по макросейсмическим данным, выходит за границы региона, однако область его подготовки должна распространяться на изучаемую территорию); землетрясение в Татарском проливе у берегов Приморья 13 ноября 1990 г. ($M = 6.2$); Сковородинское землетрясение в Верхнем Приамурье 14 октября 2011 г. ($M = 6.2$); также значительную ступень создала серия сильных событий в горах Малого Хингана в феврале–августе 1986 г. ($M = 4.9-5.7$).

Оценка сейсмической активности региона

Количественно уровень сейсмичности Приамурья и Приморья можно оценить по карте сейсмической активности территории для уровня A_{10} (рис. 4), построенной методом суммирования с постоянной детальностью [Ризниченко, 1964]:

$$A_{10} = \frac{1-10^{-\gamma}}{10^{-\gamma(K_{min}-10)}} \times \frac{S_0 T_0}{ST} \times N_{\Sigma}, \quad (5)$$

где A_{10} – число очагов землетрясений в заданном диапазоне энергетического класса, в данном случае $K_p = 10 \pm 0.5$, происходящих на данной территории в единицу времени T_0 , обычно 1 год, нормированное на площадь S_0 , традиционно принимаемую в 1000 км^2 ; K_{min} – минимальный уровень представительной регистрации для данной территории; S – площадь площадки усреднения, принятой в 0.6° широты на 0.3° долготы; T – период времени, охватываемый задействованным каталогом землетрясений; γ – угол наклона графика повторяемости землетрясений исследуемой территории; N_{Σ} – количество всех событий представительного класса $K_p \geq K_{min}$ на площадке усреднения S за время T . В связи с довольно небольшим количеством событий представительного диапазона на территории Приамурья и Приморья A_{10} рассчиты-

вался скользящим окном площадью S с шагом 0.2° по широте и 0.1° по долготе. Для возможности сравнения с более ранними работами при построении был взят именно энергетический класс, а не чаще употребляемая в настоящее время магнитуда.

Наибольшая сложность для оценки сейсмической активности по предложенной формуле оказалась в выборе уровня представительности. Как упоминалось выше, он значительно и нерегулярно изменялся в течение времени и по площади изучаемой территории. По этой причине пришлось несколько усложнить расчет сейсмической активности, оценивая ее на разных временных интервалах и затем усредняя:

$$A_{10} = \sum_i \frac{1-10^{-\gamma}}{10^{-\gamma(K_{mi} - 10)}} \times \frac{S_0 T_0}{ST} \times N_i, \quad (6)$$

где N_i – количество событий представительного класса $K_p \geq K_{min i}$ на площадке усреднения S на интервале времени с уровнем представительности $K_{min i}$. Для построения карты

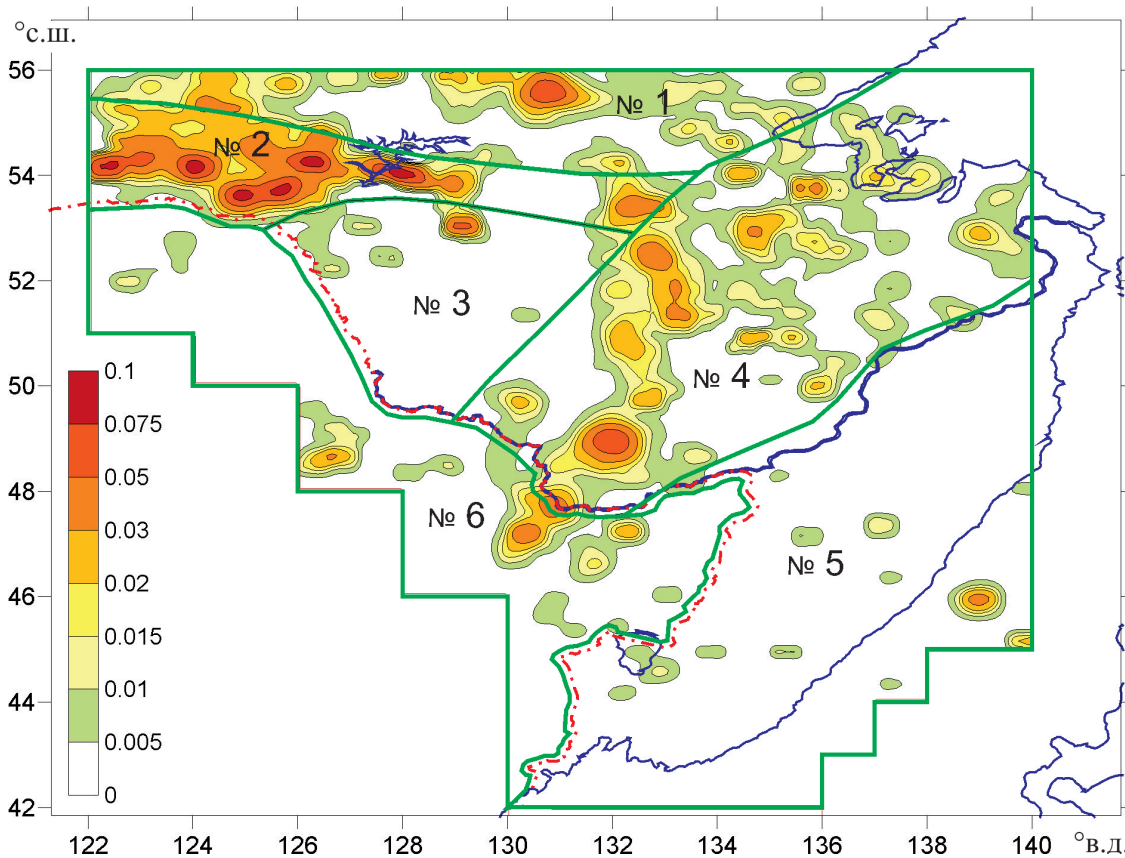


Рис. 4. Карта сейсмической активности Приамурья и Приморья по данным каталога землетрясений 1975–2015 гг. Изолинии оконтуривают области, где ежегодное количество землетрясений энергетического класса $K_p = 10$ из расчета на 1000 км^2 равно либо превышает указанное значение.

был использован каталог с 1975 по 2015 г., поскольку для этого периода есть оценки площадного распределения представительности каталога для всей территории региона [Нагорных, Поплавская, 2003; Коваленко и др., 2014, 2017].

Как видно из рис. 4, уровень сейсмической активности на территории Приамурья и Приморья не превышает значения 0.1, выше которого сейсмическую активность принято считать высокой, т.е. его можно охарактеризовать как низкий или умеренный.

Наиболее высокие значения $A_{10} = 0.75-0.1$ получены в западной и центральной части Янкан-Тукурингра-Джагдинского района, причем восточная часть района, соответствующая хр. Джагды, напротив, полностью асейсмична в данный период, несмотря на протягивающуюся через нее Монголо-Охотскую шовную зону. Р.М. Семенов и В.В. Николаев считают, что сейсмический потенциал хр. Джагды может быть даже выше, чем Тукурингра-Соктаханского участка Монголо-Охотской разломной зоны, но в настоящий момент эта территория, проявлявшая себя в прошлом в виде сильных землетрясений, находится в фазе сейсмического затишья [Семенов, Николаев, 1991; Семенов, 1993].

Севернее пик сейсмической активности связан с юго-восточным флангом Становой разломной зоны, он переходит в довольно слабо сейсмически активную полосу в направлении Охотского побережья. Наконец, полоса повышенной сейсмической активности с пиковыми значениями $A_{10} = 0.2-0.75$ протягивается из правобережного Малого Хингана (Приграничный район) через Турано-Буреинский район в сторону Олекмо-Становой сейсмогенной зоны. Уровень сейсмической активности оставшейся части Турано-Буреинского района можно оценить как умеренно-слабый, в то время как большая часть районов Зейско-Селемджинского, Сихотэ-Алиньского, Приграничного по данным о сейсмической активности за 1975–2015 гг. почти асейсмична.

Полученные значения можно сравнить с более ранними оценками для Тукурингра-

Джагдинского поднятия [Семенов, Николаев, 1977; Николаев и др., 1979] и Олекмо-Становой зоны (ее южная часть) [Парфенов и др., 1985]. На карте (рис. 4) отмечено несколько новых максимумов сейсмической активности, связанных с районами сейсмической активизации, проявившейся за разделяющие оценки десятилетия, но положение старых максимумов сейсмической активности и ее значения совпадают с хорошей точностью.

В дополнение к предыдущей была построена карта распределения плотности условной деформации ω по площади территории (рис. 5). При этом использовались все события каталога без учета его представительности. Значение ω имеют скорее относительные величины, позволяющие качественно оценить сейсмичность даже тех участков территории Приамурья и Приморья, для которых на карте сейсмической активности (рис. 4) не удалось получить оценок. Плотность условной деформации рассчитывалась по формуле:

$$\omega = \frac{\sum \sqrt{E} * 1000}{S}, \quad (7)$$

где S – размер площадки усреднения, принятой в 0.3° широты на 0.6° долготы, аналогично расчету A_{10} , величина ω нормировалась на 1000 км^2 .

Из сравнения рис. 5 с картой сейсмической активности (рис. 4) очевидно, что области максимумов условной деформации хорошо соотносятся с пиками сейсмической активности (как и с положением эпицентров сильнейших землетрясений, рис. 1), однако удалось дополнительно проследить слабую сейсмичность Турано-Буреинского, Сихотэ-Алиньского и Приграничного районов, которые согласно рис. 4 казались практически асейсмичными. Также замкнулась полоса повышенной сейсмичности Малый Хинган – Становой хребет, благодаря более ранним сильным событиям. Удалось зафиксировать более высокий уровень сейсмичности южного Приморья, где в середине XX в. наблюдались достаточно сильные, особенно по макросейсмическим проявлениям, землетрясения.

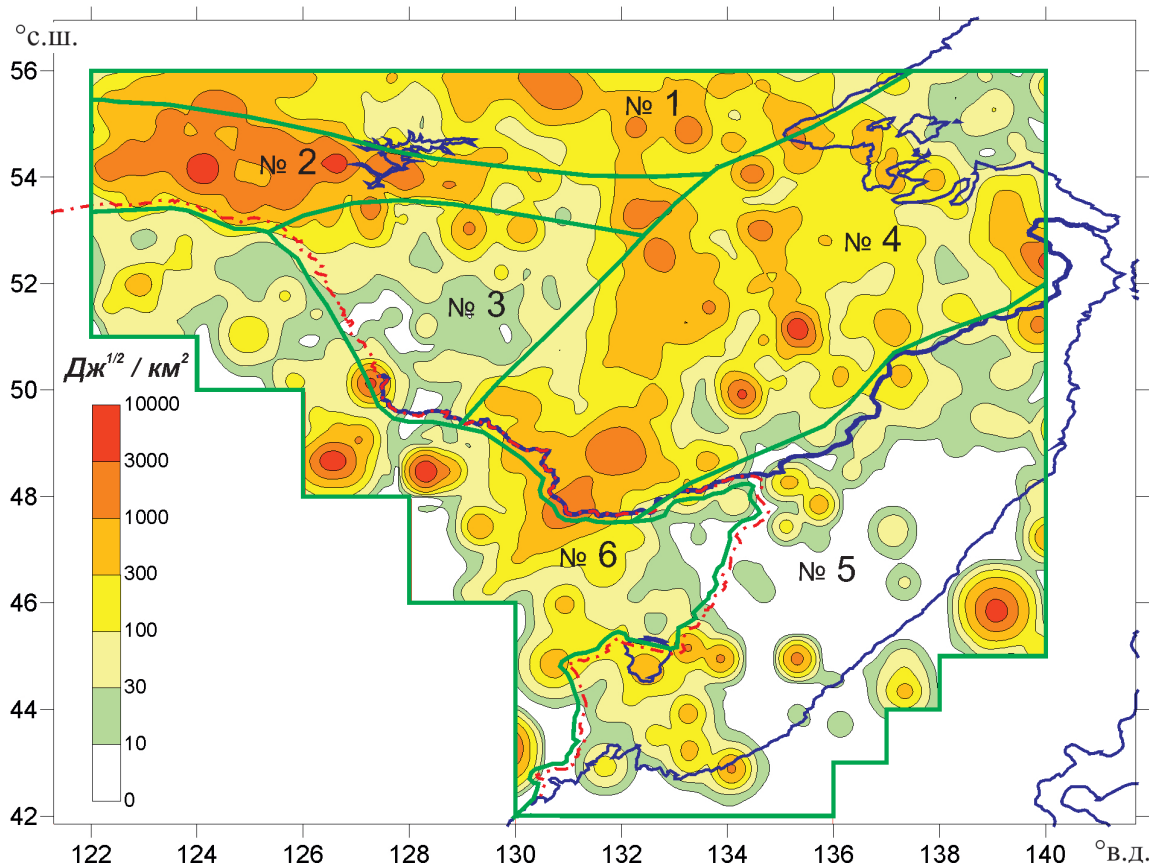


Рис. 5. Плотность условной деформации земной коры региона Приамурья и Приморья по данным каталога землетрясений 1865–2015 гг.

Обсуждение результатов

С учетом полученных оценок сейсмической активности и плотности условной деформации приведем краткую характеристику сейсмичности региона Приамурья и Приморья по выделенным районам.

Становой район (№ 1). От Байкала до Охотского моря прослеживается крупная буферная сеймотектоническая зона, являющаяся диффузной границей между Евразийской и Амурской тектоническими плитами, эта зона разграничена рядом крупных тектонических структур (Байкальский рифт и Олекмо-Становая зона, составляющие Байкало-Становой сейсмический пояс, а также Монголо-Охотская сутура и ее продолжение в Приамурье – Тукурингра-Джагдинская зона) на два блока – Забайкальский на западе и Алдано-Становой на востоке [Имаева et al., 2012]. В зону ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН входит юго-восточная часть Олекмо-Становой зоны и большая часть собственно Алдано-Станового блока, который вместе с его северной

границей выделен в поле сейсмичности в Становой район.

Наиболее значительная сейсмическая активность в этом районе связана непосредственно с юго-восточным флангом Станового разлома (рис. 1, б), где сейсмическая активность достигает значений $A_{10} = 0.5–0.75$. Здесь же зарегистрированы наиболее сильные землетрясения: 24 января 1937 г. ($M = 5.2$), по-видимому тяготеющее к зоне главных, широтного простирания, тектонических разломов древнего заложения, и 22 января 1939 г. ($M = 5.5$), очаг которого расположен на площади новейших разрывных нарушений [Даммер, 1971]. С учетом более ранних событий пояс повышенной сейсмичности протягивается на восток к побережью, а также объединяется с сейсмоактивными структурами на юге. На западе района вдоль границы с районом № 2 также прослеживается область повышенной сейсмичности, связанная с землетрясениями умеренной силы, возможно происходящими на текущих разрывах между

Становым и Желтулакским разломами (как, например, Ларбинское землетрясение 1971 г, $M = 4.3$, $K_p = 12$). Центральная часть района (собственно Алдано-Становой блок) также не является полностью асейсмичной, хотя на общем фоне менее сейсмоактивна и сильных землетрясений здесь не регистрировалось.

Янкан-Тукурингра-Джагдинский район (№ 2). Сейсмичность этого района связывается с системой хребтов, тянущихся из Забайкалья в виде Яблонового и Олекминского становика и продолжающихся на территории Амурской области (Желтулинский становик, Чернышова, Янкан, далее Тукурингра – Соктахан – Джагды). С северо-востока эта система ограничена Зейско-Удским прогибом, который отделяет ее от Станового поднятия [Даммер, 1971], с юго-востока расположен Амурско-Зейский прогиб. Эта зона входит в состав протяженной шовной Монголо-Охотской геосинклинальной складчатой системы, разграничивающей Алдано-Становой и Амурской геоблоки.

Западной и центральной части района № 2 соответствует область максимальных значений сейсмической активности $A_{10} = 0.75-1$ (рис. 4) и условной деформации (рис. 5), она совпадает с простираем хребтов Тукурингра и Соктахан, разделенных Зейским водохранилищем и ограниченных с юга и севера соответственно Южно- и Северо-Тукурингскими разломами. Пиковые значения связаны с очаговыми зонами сильных землетрясений: Зейскими 13 июня 1972 ($M = 5.6$) и 2 ноября 1973 г. ($M = 5.5$); 23 июля 1989 ($M = 5.3$); 17 июня 2008 ($M = 5.4$) и самого сильного в Верхнем Приамурье Сковородинского 14 октября 2011 г. ($M = 6.3$), произошедшего в районе хр. Янкан.

На самом востоке района в Джагдино-Селемджинской сейсмогенной зоне также выделяется область повышенной сейсмической активности, связанная с поясом, протянувшимся с юга на север (Селемджинские землетрясения 29 июня 1975, $M = 5.3$, и 30 июля 1983 г., $M = 4.8$). Однако в области хр. Джагды на рис. 4 выделяется сейсмическая брешь, где сильных землетрясений на протяжении истории инструментальных наблюдений не

регистрировалось, да и слабая сейсмичность (рис. 1) проявляется редко. Однако, ввиду того что разломно-тектонические структуры на этой территории не прерываются, эта область на картах сейсмического районирования относится к тому же уровню, что и весь восточный участок Монголо-Охотского линеамента [Уломов, Шумилина, 1999]. По мнению Р.М. Семенова [1993], отсутствие сильной сейсмичности в районе хр. Джагды объясняется особенностями его геотектонического строения, блок земной коры в районе хребта более консолидирован, отсутствие малых поперечных разрывных дислокаций не способствует разрядке тектонических напряжений в виде умеренно-сильных событий. Потому она происходит в виде редких сильных землетрясений, разделенных продолжительными периодами затишья. Магнитуда возможного землетрясения в этом районе оценивается в $M = 6.5$.

Зейско-Селемджинский район (№ 3) наименее сейсмически активный на территории региона. На карте сейсмической активности (рис. 4) по данным за последние 40 лет на территории района выделяется лишь одна вытянутая в широтном направлении область, соответствующая очаговой зоне сильного землетрясения 16 января 2004 г. ($M = 5.0$) и некоторому числу менее сильных событий западнее (рис. 1). Однако рис. 5 позволяет утверждать, что северная часть района все же несколько более активна, чем южная. На северо-западе есть еще одно скопление очагов относительно слабых событий. Возможно, оно совпадает с очаговой зоной сильного землетрясения на Зейской Пристани 6 августа 1911 г. ($M = 5.0$), если принять во внимание переопределение его положения [Vukova et al., 2015]. Центральные и южные области района слабосейсмичны, хотя и здесь иногда регистрируются слабые ($M = 2-3$) землетрясения.

Турано-Буреинский район (№ 4). Наиболее обширный район, он включает в себя множество разломных структур в основном диагонального ЮЗ-СВ или меридионального простираения. Основой сейсмической активности здесь, вероятно, являются параллельные разломы, относящиеся к северному

флангу разломной структуры Танлу. Северную часть пересекают продолжающиеся в сторону Охотского моря разломы Монголо-Охотской системы.

Зона разлома Танлу (ЗРТ), одна из активнейших современных разломных систем Восточного Китая, представляет собой крупную структуру земной коры древнего (как минимум мезозойского) и глубинного (мантийного) заложения. ЗРТ протягивается по периферии Азиатского континента более чем на 2000 км, разделяя Амурскую плиту на две части – западную и восточную. Северный фланг ЗРТ, характеризующийся сравнительно малой современной тектонической активностью, испытывает землетрясения с максимальной магнитудой $M = 6.0$.

Очаговые зоны наиболее крупных сейсмических событий (23 августа 1888 г., $M = 5.5$; 23 декабря 1914, $M = 6.0$; 21 июня 1963, $M = 5.5$; Баджалское 29 августа 1970 г., $M = 5.5$) действительно расположены диагонально вдоль основных разломов района – Хинганского (рис. 1, *110*) и Ишу-Харпинского (рис. 1, *112*). Однако основное поле более слабой сейсмичности (рис. 1), как и цепь максимумов сейсмической активности и условной деформации (рис. 4, 5), переходит из диагонального направления на юге района в меридиональное на севере вдоль некоей дуги, отсутствующей в используемой в данной работе разломно-тектонической схеме [Тектоника... , 2004], стыкуясь на севере с максимумами сейсмической активности Станового пояса. В статье [Имаева et al., 2012] авторы относят эти максимумы сейсмичности к Итун-Иланскому разлому, выделенному в поле сейсмичности и пересекающему шовные зоны Становой и Тукурингра-Джагдинской сутур. Итун-Иланский разлом они называют ответвлением ЗРТ и, так же как и другие разломы зоны, предполагают правым сдвигом.

На остальной территории района также отмечается повышенный уровень сейсмичности в виде рассеянного поля эпицентров землетрясений. Максимумы условной деформации соответствуют очаговым зонам сильнейших землетрясений, в то время как за обширный максимум сейсмической актив-

сти в юго-западной части района ответственна многочисленная группа относительно небольших ($M = 4-5$) сейсмических событий в южной части Буреинского хребта.

Сихотэ-Алиньский район (№ 5). Очаги наиболее сильных землетрясений района тяготеют к побережью и примыкающей акватории Татарского пролива. В северной части района это события 11 марта 1924 г. ($M = 5.6$); сентября–октября 1968 г. ($M = 4.7-5.0$) с эпицентрами, немного выходящими за границы региона; наиболее сильное – Приморское землетрясение 13 ноября 1990 г. ($M = 6.2$). О слабой сейсмичности говорить сложнее, так как представительность каталога на этой территории несколько хуже, но очевидно, что территория Сихотэ-Алиня, несмотря на известные крупные разломы, не проявляла значительную сейсмическую активность в инструментальный период наблюдений.

В южной части наиболее сильные сейсмические события: Лесозаводское землетрясение 15 августа 1962 г. ($M = 5.0$) и Ханкайское 15 августа 1967 г. ($M = 5.0$), поэтому на карте сейсмической активности (построенной на основе данных 1975–2015 гг.) этот район выражен слабо. Зато карта условной деформации (рис. 5) и карта эпицентров (рис. 1) демонстрируют умеренно-слабую сейсмическую активность южного Приморья.

Приграничный район (№ 6) включает территорию Китая. Сильные сейсмические события, происходящие здесь, могут затронуть своим макросейсмическим эффектом населенные пункты РФ, потому эта территория также входит в зону ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН. В основном эта территория – горные районы северной части Большого и Малого Хингана, Средне-Амурской равнины, горных областей к западу от оз. Ханка.

Наибольшая сейсмическая активность уровня $A_{10} = 0.2-0.5$ регистрировалась в районе Малого Хингана вдоль разломов Ишу-Харпинского (рис. 1, *112*) и Намурхэ (рис. 1, *26*). Самые сильные сейсмические события с эпицентрами в этом районе: 17 сентября 1931 г. ($M = 5.5$), 1 сентября 1942 ($M = 5.7$), а также серия событий февраля–августа 1986 г. ($M = 4.9-5.7$).

Заключение

Распределение коровой сейсмичности по территории региона неравномерно. Наибольшее число землетрясений, в том числе самых сильных, тяготеют к трем сейсмическим поясам: Становому, в зоне влияния восточного фланга одноименного разлома; Янкан-Тукурингра-Соктаханскому на восточном фланге Монголо-Охотского линеамента; Турано-Селемджинскому, протягивающемуся от Малого Хингана на север. Впрочем, весь обширный Турано-Буреинский район сейсмически довольно активен и, возможно, после реализации нескольких сильных сейсмических событий, максимумы сейсмической активности в его восточной части также сложатся в продолжение сейсмического пояса вдоль диагональных разломов системы Танлу.

Наименее сейсмически активными районами являются Зейско-Селемджинский, за исключением северной его части; центральная часть Сихотэ-Алиньского района – сильные землетрясения здесь тяготеют к периферии, сейсмичность Центрального Сихотэ-Алиньского разлома проявляется довольно слабо. Продолжается сейсмическое затишье в районе хр. Джагды.

Сейсмичность наиболее населенной части региона – южного Приморья – можно охарактеризовать как умеренно-слабую, наиболее сильные землетрясения происходили здесь в 1962–1967 гг. Однако даже относительно слабые события вызывают здесь значительный макросейсмический эффект.

Временной ход сейсмического процесса в регионе в целом достаточно равномерный на протяжении по крайней мере последних 45 лет; самые заметные кратковременные активизации, проявлявшиеся в отдельных сильных землетрясениях либо их группах, происходили в 1986, 1990 и 2011 гг.

Список литературы

1. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В. Геодинамика Евразии – тектоника плит и тектоника блоков // *Геотектоника*. 2004. № 1. С. 3–20. [Gatinsky Y.G., Rundquist D.V. Geodynamics of Eurasia: Plate tectonics and block tectonics. *Geotectonics*, 2004, 38(1): 1–16.]
2. Гутенберг Б., Рихтер К.Ф. Магнитуда, интенсивность, энергия и ускорение как параметры земле-

трясений (II) // *Слабые землетрясения*. М.: ИЛ, 1961. С. 72–119.

3. Даммер А.Э. Дальневосточная зона сейсмичности // *Вопросы географии Дальнего Востока*. Хабаровск, 1971. Сб. 9. С. 104–114.

4. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Николаев В.В., Семенов Р.М. Буферные сейсмогенные структуры между Евразийской и Амурской литосферными плитами на юге Сибири // *Тихоокеан. геология*. 2003. Т. 22, № 6. С. 55–61.

5. Коваленко Н.С., Фокина Т.А., Сафонов Д.А. Приамурье и Приморье // *Землетрясения Северной Евразии, 2008 год*. Обнинск: ГС РАН, 2014. С. 162–171.

6. Коваленко Н.С., Фокина Т.А., Сафонов Д.А. Приамурье и Приморье // *Землетрясения Северной Евразии, 2011 год*. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 153–161.

7. Леонов Н.Н., Берсенев И.И., Гришкян Р.И., Гнибиденко Г.С., Мاستюлин Л.А., Органов М.Г., Павлов Ю.А., Парфенов Л.М., Уфимцев Г.Ф., Черемных Г.П. Сейсмическое районирование Приморья и Приамурья // *Сейсмическое районирование Курильских островов, Приморья и Приамурья*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 143–156.

8. Нагорных Т.В., Поплавская Л.М. Методические основы и результаты построения карт представительности землетрясений Сахалина, Приморья и Приамурья с гипоцентрами в земной коре Приморья // *Проблемы сейсмичности Дальнего Востока и Восточной Сибири: Докл. междунар. науч. симп., Южно-Сахалинск, 24–28 сент. 2002 г.* Южно-Сахалинск: Ин-т мор. геологии и геофизики ДВО РАН, 2003. Т. 2. С. 156–173.

9. Николаев В.В., Семенов Р.М., Солоненко В.П. *Сейсмогеология Монголо-Охотского линеамента (восточный фланг)*. Новосибирск: Наука, 1979. 113 с.

10. *Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* / под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. М.: Наука, 1977. 535 с.

11. Оскорбин Л.С. Сейсмичность Приморья // *Сейсмическое районирование Курильских островов, Приморья и Приамурья*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 128–142.

12. Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Сейсмический режим сейсмогенных зон юга Дальнего Востока // *Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона*. Южно-Сахалинск: Ин-т мор. геологии и геофизики ДВО РАН, 1997. С. 179–197. (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; т. 6).

13. Парфенов Л.М., Козьмин Б.М., Имаев В.С. и др. *Геодинамика Олекмо-Становой сейсмической зоны*. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985. 136 с.

14. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // *Экспериментальная сейсмика*. М.: Наука, 1964. С. 88–93. (Труды ИФЗ АН СССР; № 32(199)).

15. Ризниченко Ю.В. Метод суммирования землетрясений для изучения сейсмической активности // *Изв. АН СССР. Сер. геофиз.*, 1964. № 7. С. 969–977.
16. *Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г.* / отв. ред. Бунэ В.И., Горшков Г.П. М.: Наука, 1980. 308 с.
17. *Сейсмотектоника и сейсмическое районирование Приамурья* / Николаев В.В., Семенов Р.М., Оскорбин Л.С., Карсаков Л.П., Малышев Ю.Ф., Онухов Ф.С., Ставров В.Н. Новосибирск: Наука, 1989. 128 с.
18. Семенов Р.М., Николаев В.В. О связи сейсмичности с неотектоникой Тукурингра-Джагинского поднятия // *Геология и геофизика*. 1977. № 4. С. 68–76.
19. Семенов Р.М., Николаев В.В. К прогнозу сейсмичности в восточной части Монголо-Охотского сейсмического пояса // *Докл. АН*. 1991. Т. 320, № 2. С. 417–420.
20. Семенов Р.М. Причины сейсмического молчания хребта Джагды (Дальний Восток) и его потенциальная сейсмическая опасность // *Докл. АН*. 1993. Т. 333, № 5. С. 648–649.
21. Солоненко В.П., Николаев В.В., Семенов Р.М., Демьянович М.Г., Курушин Р.А., Хромовских В.С., Чипизубов А.В. *Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмогеология и сейсмическое районирование* / под ред. М.М. Мандельбаума. Новосибирск: Наука, 1985. 192 с.
22. *Тектоника, глубинное строение и минерагения Приамурья и сопредельных территорий* / отв. ред. Г.А. Шатков, А.С. Вольский. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 190 с.
23. Уломов В.И., Шумилина Л.С. *Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. М-б 1:8 000 000: Объяснит. записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах*. М.: Изд-во ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.
24. Ashurkov S.V., San'kov V.A., Miroshnichenko A.I., Lukhnev A.V., Sorokin A.P., Serov M.A., Byzov L.M. GPS geodetic constraints on the kinematics of the Amurian Plate // *Russ. Geology and Geophysics*. 2011. Vol. 52(2). P. 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.12.017>
25. Benioff H. Earthquakes and rock creep // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1951. Vol. 41, N 1. P. 31–62.
26. Bykova V.V., Tatevossian R.E., Nikolaev L.D., Mikhin A.G., Mokrushina N.G. The Skovorodino, 2011, earthquake // *Izv. Physics Solid Earth*. 2015. Vol. 51(1). P. 108–123. <https://doi.org/10.1134/S1069351314050012>
27. Imaeva L.P., Imaev V.S., Koz'min B.M. Seismogeodynamics of the Aldan-Stanovoi block // *Russ. J. Pacific Geology*. 2012. Vol. 6(1). P. 1–12. <https://doi.org/10.1134/s1819714012010071>

Сведения об авторе

САФОНОВ Дмитрий Александрович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории сейсмологии ИМГиГ ДВО РАН, Южно-Сахалинск, ведущий программист отдела сводной обработки сейсмологических данных СФ ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск.