

Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2018 году

© 2019 Д. А. Сафонов*^{1,2}, Т. А. Фокина¹, Н. С. Коваленко¹

¹Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск, Россия

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

*E-mail: d.safonov@imgg.ru

Реферат. Представлена краткая характеристика сейсмичности Приамурья, Приморья, Курило-Охотского и Сахалинского регионов в 2018 г. Показаны современные регистрационные возможности Сахалинского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (СФ ФИЦ ЕГС РАН), Южно-Сахалинск. Описаны наиболее сильные и ощущавшиеся жителями региона землетрясения. Приведены механизмы очагов наиболее сильных событий, сделаны предположения о природе их источника. Показано, что в сейсмическом отношении 2018 год для территории зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН можно считать относительно спокойным, без событий разрушительного и катастрофического уровня ($M > 7.0$). Выделяется район северных Курильских островов, где сейсмическая активность в 2018 г. оказалась несколько выше средних значений последнего десятилетия.

Ключевые слова: землетрясения, сейсмичность, сейсмическая активность, механизм очага землетрясения, Приамурье, Приморье, Сахалин, Курило-Охотский регион.

Для цитирования: Сафонов Д.А., Фокина Т.А., Коваленко Н.С. Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2018 году. *Геосистемы переходных зон*. 2019. Т. 3, № 4. С. 364–376. <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.4.364-376>

Seismicity of the South Far East of Russia in 2018

Dmitry A. Safonov*^{1,2}, Tatjana A. Fokina¹, Natalya S. Kovalenko¹

¹Sakhalin Branch of the Federal Research Center “United Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences”, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

²Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

*E-mail: d.safonov@imgg.ru

Abstract. The article contains a description of the seismicity of the Amur region, Primorye, Kuril-Okhotsk and Sakhalin regions in 2018. The paper shows the modern registration capabilities of the Sakhalin branch of the Federal Research Center United Geophysical Service RAS (SF FRC UGS RAS), Yuzhno-Sakhalinsk. We describe the strongest earthquakes most felt by the inhabitants of the region. The focal mechanisms of strong events are presented, and assumptions about the nature of their source are made. It is shown that seismicity in 2018 for the territory of the Sakhalin branch of the FRC UGS RAS was relatively calm, although somewhat more remarkable in comparison with the last decade. It differs only in the area of the northern Kuril Islands, where seismic activity in 2018 was higher than the long-term average level.

Keywords: earthquakes, seismicity, seismic activity, earthquake focal mechanism, Amur region, Primorye, Sakhalin, Kuril-Okhotsk region.

For citation: Safonov D.A., Fokina T.A., Kovalenko N.S. Seismicity of the South Far East of Russia in 2018. *Geosystems of Transition Zones*. 2019, vol. 3, no. 4, pp. 364–376. (In Russian) <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.4.364-376>

Введение

На территории южной части Дальневосточного федерального округа в практике сейсмологических наблюдений [Габсатарова, 2007] традиционно выделяются три крупных региона: Курило-Охотский, включающий территорию Курильских островов, прилегающую часть Тихого океана, южную и центральную части охотоморской акватории, а также о. Хоккайдо и северную часть Японского моря; Сахалинский, включающий о. Сахалин и прилегающие акватории Охотского, Японского морей и Татарского пролива; регион Приамурье и Приморье, включающий Приморский и большую часть Хабаровского края, Амурскую и Еврейскую автономную области, а также приграничные районы Китая и прибрежную часть морей (рис. 1). Регистрация сейсмических событий естественного и техногенного характера в пределах этих трех регионов является задачей Сахалинского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (СФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Южно-Сахалинск.

Текущая сейсмическая активность регионов обычно привлекает внимание специалистов в контексте сильных либо резонансных землетрясений, некоторым специалистам интересна общая картина, например, для прогнозных задач по потоку сейсмичности. Регулярный обзор сейсмичности зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН публикуется в сборниках «Землетрясения России...» (например, [Фокина и др., 2018]) с отставанием в 2 года и, более детально, в сборниках «Землетрясения Северной Евразии...» (например, [Фокина и др., 2017]) с отставанием в 6 лет. Результаты наблюдений на основе данных оперативных каталогов за год содержатся в непубликуемом ежегодном научном отчете СФ ФИЦ ЕГС РАН.

Поэтому авторы решили представить обзор сейсмичности названных регионов за истекший год, который рассчитывают сделать регулярным. В работе показаны современные регистрационные возможности филиала, перечислены наиболее сильные и ощущавшиеся жителями региона землетрясения. Приведены механизмы очагов сильных событий, сделаны предположения о природе их источника.

Сводная обработка землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН проводится в два этапа. На первом составляется каталог землетрясений по оперативным данным (1–3 дня с момента события), на основе оперативного каталога формируется ежегодный отчет. На втором (в течение года) полученные результаты уточняются, дополняются, формируется окончательный каталог, публикуемый в вышеназванных сборниках. Зоны ответственности филиала по оперативным и окончательным данным несколько различаются: окончательную обработку каталога землетрясений северных Курильских

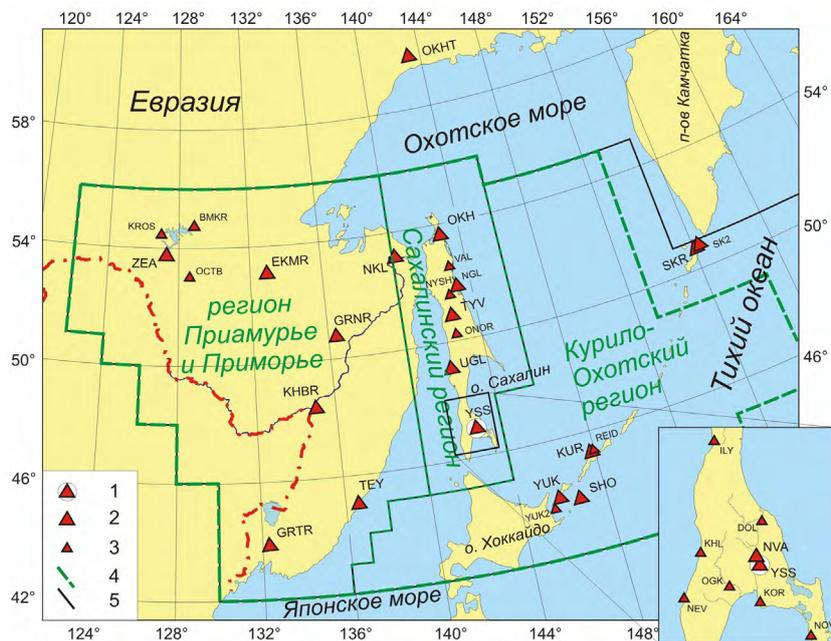


Рис. 1. Карта расположения стационарных сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН на 31 декабря 2018 г. 1 – информационно-вычислительный центр на станции «Южно-Сахалинск»; 2 – станции, оборудованные в качестве основного датчика широкополосными велосиметрами; 3 – станции, оборудованные в качестве основного датчика акселерометрами либо короткопериодными велосиметрами; 4 – зона ответственности СФ за данные окончательного каталога; 5 – зона ответственности СФ за данные оперативных наблюдений. На врезке – станция «Южно-Сахалинск» и выносные опорные пункты наблюдений южного Сахалина. Остальные усл. обозначения см. в тексте.

островов, входящих в зону оперативной обработки (в связи с территорией ответственности сейсмостанции «Южно-Сахалинск» по контролю цунамигенных землетрясений, а также необходимостью своевременного оперативного информирования о чрезвычайных ситуациях в пределах всей Сахалинской области), производит Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН. Границы зоны ответственности показаны на рис. 1.

В качестве основной энергетической характеристики землетрясений в практике СФ ФИЦ ЕГС РАН обычно применяется магнитуда M_{LH} , определяемая по соотношению A/T в максимальной фазе поверхностной волны на записях горизонтальных компонент сейсмографов (в случае современной цифровой аппаратуры применяется цифровая эмуляция). Однако число землетрясений, для которых она была непосредственно определена, невелико. Наиболее массовой энергетической характеристикой приамурских и приморских коровых землетрясений является энергетический класс Т.Г. Раутиан [1964] Kp , определяемый по соотношению A/T в максимальной фазе S -волн, записанных короткопериодной аппаратурой непосредственно либо в цифровой эмуляции. Для регионов Сахалинского и Курило-Охотского используется энергетический класс С.Л. Соловьева [Соловьев, Соловьева, 1967] Kc , как более отвечающий особенностям данных регионов. Для глубоких землетрясений (глубже 80 км) наиболее употребимой для регионов является магнитуда M_{SH} по горизонтальной компоненте волны S либо ее аналог для короткопериодной аппаратуры – M_{SHA} . Также в данной статье приводятся значения моментной магнитуды Mw для некоторых землетрясений, определенной в ходе расчета тензора сейсмического момента этих событий.

Сеть сейсмологических наблюдений СФ ФИЦ ЕГС РАН

На 31 декабря 2018 г. сеть станций сейсмологических наблюдений в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН состояла из 45 пунктов инструментальных непрерывных наблюдений, из них 34 стационарных и 11 автономных полевых (локальная сеть на юге о. Сахалин).

На материковой части зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН (регион Приамурье и Приморье) расположено 10 стационарных пунктов наблюдений и один за границей этой зоны – сейсмостанция «Охотск» (ОКНТ) (рис. 1). Сейсмостанция «Кировский» (KROS) в 2018 г. не работала по техническим причинам.

На о. Сахалин расположено 16 стационарных наблюдательных пунктов, из них 12 автоматических, в том числе 8 выносных пунктов опорной станции «Южно-Сахалинск» (YSS) (рис. 1, врезка). Регистрируемые данные всех выносных пунктов обрабатываются в реальном времени на сейсмостанции «Южно-Сахалинск». Помимо этого на юге острова действует локальная сеть из 10 автономных полевых станций для детального наблюдения за сейсмичностью (комплект аналогичной аппаратуры есть и на станции «Южно-Сахалинск»), данные которой недоступны в режиме реального времени, их обрабатывают в СФ ФИЦ ЕГС РАН позднее по мере поступления [Семенова и др., 2018].

На Курильских островах находятся 7 стационарных наблюдательных пунктов, из них 4 автоматических.

Все пункты оборудованы цифровой аппаратурой. Общее число сейсмометров, установленных на стационарных наблюдательных пунктах, на конец 2018 г. – 60. Из них 25 – акселерометры, 22 – широкополосные велосиметры, 13 – короткопериодные велосиметры. В настоящее время сеть сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН включает в себя хорошо зарекомендовавшее себя оборудование известных фирм: Guralp Systems Limited (UK), G. Streckeisen AG (Switzerland), GeoSIG Ltd (Switzerland), Nakusan Corporation (Japan), Corporate Headquarters Kinematics Inc. (USA).

Кроме указанных выше пунктов наблюдений СФ ФИЦ ЕГС РАН, при сводной обработке сейсмологических данных или при решении задач Службы срочных донесений активно используются доступные в реальном времени данные 5 станций ДВО РАН и ФИЦ ЕГС РАН, расположенных на территории Приамурья и Приморья, а также данные 7 короткопериодных станций Хоккайдского университета (Япония), расположенных на о. Хоккайдо.

Текущая конфигурация сети сейсмических станций, с учетом установленного обводнения и привлечения в оперативном режиме данных станций соседних регионов, позволяет обеспечить на большей части зоны ответственности возможность регистрации как минимум тремя сейсмостанциями (что необходимо для корректного определения эпицентра) землетрясений начиная с представительной магнитуды $M_n = 4.0$. Исключение составляют центральная часть Охотского моря и район средних Курильских островов, где представительной можно считать магнитуду событий $M_n = 4.5$. Благодаря более плотной сети сейсмостанций, а также доступу к короткопериодным станциям Хоккайдского университета, на части Южных Курил и о. Хоккайдо порог уверенной регистрации составляет $M_n = 3.5$.

На территории о. Сахалин существующая сеть позволяет регистрировать без пропусков события с магнитудного порога $M_n = 3.0$, за исключением территорий полуостровов Крильон, Тонино-Анивского и Терпения, и с $M_n = 3.5$ на указанных территориях и в прибрежных областях Охотского и Японского морей в границах Сахалинского региона.

На большей части региона Приамурье и Приморье сеть станций СФ ФИЦ ЕГС РАН с привлечением данных других филиалов и подразделений ФИЦ ЕГС РАН позволяет регистрировать без пропусков события начиная с магнитудного уровня $M_n = 3.5$. Уровень представительной регистрации землетрясений приграничных районов Китая в верхнем течении р. Амур и севера Хабаровского края несколько хуже, здесь представительной можно считать магнитуду $M_n = 4.0$. На юге Приморья и в районе Зейского водохранилища $M_n = 3.0$.

Обзор землетрясений Приамурья, Приморья, Курило-Охотского и Сахалинского регионов

В оперативном каталоге землетрясений СФ ФИЦ ЕГС РАН за 2018 г. содержатся параметры 1112 землетрясений, из которых 1068 произошли в Курило-Охотском регионе,

32 – на Сахалине и его шельфе, 12 – в Приамурье и Приморье. Дополнительно к моменту написания статьи были определены параметры еще нескольких землетрясений представительной магнитуды ($M \geq 2.6$) с эпицентрами в Приамурье и Приморье (предварительный каталог по итогам года), так что их общее количество равно 40. Карта эпицентров всех событий показана на рис. 2.

На территории Приамурья и Приморья в 2018 г. с учетом предварительного каталога определены параметры 40 землетрясений (рис. 2). В этом регионе наблюдается сейсмическая активность двух типов: мелкофокусная – с очагами землетрясений в земной коре (коровые землетрясения) и глубокофокусная – с глубиной очагов от 200 до 600 км с эпицентрами на территории Приморья и прибрежных акваториях Японского моря. Зарегистрировано 4 ощутимых* землетрясения. Наиболее сильное коровое землетрясение зафиксировано 7 июля в 08:51 UTC в отрогах Атагского хребта (северная часть региона), магнитуда события $M_w = 4.9$, $K_r = 13.7$. Землетрясение сопровождалось несколькими афтершоками с $K_r \leq 9.1$. Такого класса события в этом районе происходят редко. Данных об ощутимых проявлениях нет в связи с отсутствием вблизи эпицентра населенных пунктов. Помимо коровых событий было зарегистрировано 4 глубокофокусных землетрясения в диапазоне глубин $H = 334–495$ км. Эпицентры 2 глубокофокусных землетрясений располагались на континентальной части Приморья, 2 – в Японском море вблизи пос. Терней. Самое сильное глубокофокусное землетрясение с $M_{SHA} = 4.4$ и $H = 495$ км произошло 24 января в 06:15 UTC севернее Владивостока.

Для Сахалинского региона 2018 год был сейсмически спокойным. Региональной сейсмической сетью были зарегистрированы и оперативно обработаны записи 32 коровых землетрясений, из которых 8 – ощутимые. Наиболее сильное коровое землетрясение произошло 12 сентября в 05:49 UTC в море к северу от п-ова Шмидта ($K_c = 11$;

*Ощутимыми считаются все сейсмические события, которые фактически ощущались людьми (обычно не менее 2 баллов), а информация об этом поступила в филиал ГС РАН.

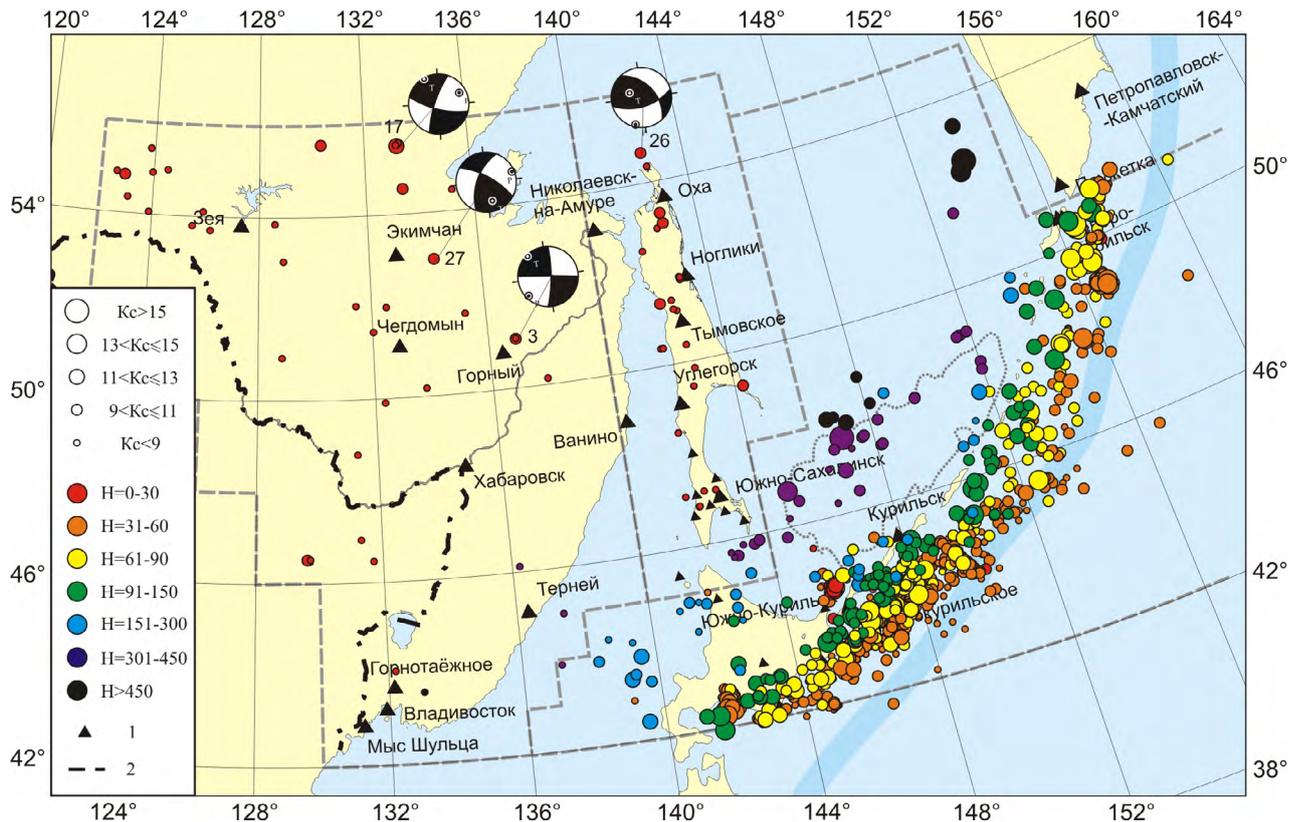


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН за 2018 г. K_c – энергетический класс С.Л. Соловьева; H – глубина гипоцентра, км; 1 – сейсмическая станция; 2 – границы регионов. Показаны механизмы очагов некоторых землетрясений Приамурья и Сахалина (см. в тексте).

$H = 10$ км), в населенных пунктах событие не ощущалось. Помимо коровых зарегистрировано 7 глубокофокусных землетрясений в диапазоне глубин $H = 275–326$ км в южной части региона, относящихся к Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне.

На территории Курило-Охотского региона по оперативным данным зарегистрировано 1068 землетрясений, из них 61 ощутимое (рис. 3).

В течение года отмечены 4 сейсмические активизации с большим числом событий.

В августе в районе Южных Курильских островов было зарегистрировано 109 землетрясений, большинство из них произошли в пределах компактной группы к юго-востоку от о. Итуруп. Несмотря на большой поток событий, сильных землетрясений в данном роде отмечено не было. Ощущалось лишь одно из землетрясений, происшедшее 9 августа в 14:14 UTC ($K_c = 11.4$; $H = 50$ км), интенсивность сотрясений составила 2–3 балла в пос. Малокурильское, 2 балла – в поселках Южно-Курильск и Горячий Пляж.

5 сентября в 18:07 UTC в южной части о. Хоккайдо вблизи границы зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН произошло сильное землетрясение ($M_w = 6.6$; $M_{LH} = 7.2$; $K_c = 14.5$; $H = 55$ км). На территории России оно ощущалось некоторыми жителями Южных Курильских островов в поселках Южно-Курильск, Лагунное, Горячий Пляж с интенсивностью 2 балла. В течение следующих двух месяцев в очаговой зоне землетрясения было зарегистрировано большое количество афтершоков.

В октябре в районе Северных Курильских островов зарегистрировано 34 землетрясения. Большая их часть относится к очаговой зоне серии сильных землетрясений к юго-востоку от о. Парамушир, начавшейся 9 октября в 07:45 UTC событием ($M_{LH} = 6.4$; $K_c = 13.9$; $H = 52$ км), ощущавшимся в г. Северо-Курильск с интенсивностью в 4 балла. Наиболее сильное землетрясение серии произошло 10 октября в 23:16 UTC ($M_w = 6.4$; $M_{LH} = 7.0$; $K_c = 14.0$; $H = 42$ км), ощущалось в г. Северо-Курильск и на южной оконечности п-ова Камчатка с интенсивностью в 4 балла.

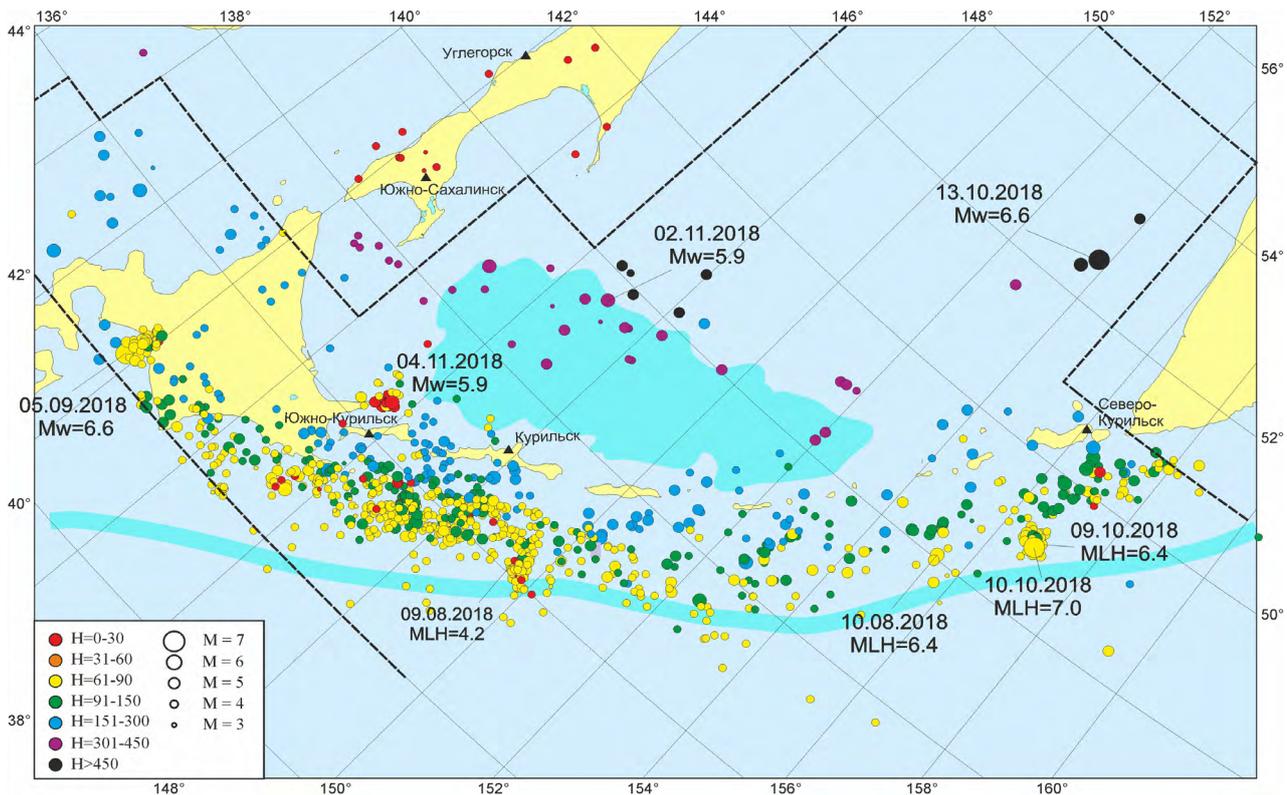


Рис. 3. Эпицентры землетрясений Курило-Охотского региона по данным оперативного каталога СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2018 г. Энергетические характеристики приведены к магнитуде по поверхностной волне MLH .

26 октября начался рой коровых землетрясений к западу от о. Кунашир и северо-востоку от оконечности о. Хоккайдо. В серии событий выделяются 2 землетрясения 26 октября: в 03:04 UTC ($M_w = 5.5$; $K_s = 12.8$; $H = 17$ км), вызвавшее колебания интенсивностью до 4–5 баллов в населенных пунктах Южных Курильских островов, и в 03:06 ($K_s = 12.6$; $H = 18$ км), ощущавшееся, несмотря на близкий энергетических класс, слабее – до 2–3 баллов. 4 ноября в 19:26 UTC ($M_w = 5.9$; $K_s = 13.0$; $H = 10$ км) в этом же районе произошло еще одно сильное землетрясение, ощущавшееся в населенных пунктах о. Кунашир с интенсивностью в 5 баллов. В той же очаговой зоне в течение месяца зарегистрировано большое количество афтершоков, в том числе ощутимых.

Помимо этих событий стоит отметить сильные одиночные (или с небольшим числом афтершоков) землетрясения:

в северной части Курильской островной гряды 10 августа в 18:12 UTC ($M_w = 6.0$; $M_{LN} = 6.4$; $K_s = 13.5$; $H = 43$ км) (рис. 3). Несмотря на значительную удаленность, землетрясение ощутили некоторые жители г. Северо-Курильск с интенсивностью в 2 балла;

глубокофокусное землетрясение с эпицентром западнее камчатского побережья 13 октября в 11:10 UTC ($M_w = 6.6$; $M_{SH} = 7.5$; $H = 515$ км). Его очаг расположен в южной части очаговой области знаменитого Охотоморского землетрясения 2013 г. [Чебров и др., 2013], механизмы очагов этих событий также очень схожи. Землетрясение ощущалось с интенсивностью 4 балла на кордоне Кроноцкого заповедника на восточном побережье Камчатки, 2–3 балла в г. Петропавловск-Камчатский, 2 балла в г. Северо-Курильск, а также поселках Южно-Курильск и Горячий Пляж на о. Кунашир;

глубокое землетрясение под северо-западным краем Курильской глубоководной котловины 2 ноября в 11:02 ($M_w = 5.9$; $M_{SH} = 7.1$; $H = 445$ км) (рис. 3). На поверхности по оперативным данным оно не ощущалось.

Макросейсмические проявления землетрясений

Особый интерес для исследователей, жителей территории и средств массовой информации представляют ощутимые землетрясения, даже если их энергия невелика. Для таких событий ведется отдельная статистика.

Сбор данных о макросейсмических проявлениях землетрясений, в первую очередь об их ощутимости жителями Курильских островов, Сахалина, в Приамурье и Приморье, осуществляется из всех доступных источников, в числе которых:

данные сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН, в зоне ответственности которых происходят ощутимые землетрясения (срочные сообщения, ежедневные сводки, опрос населения);

сообщения от сотрудников метеорологических станций Сахалинского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды «Росгидромет»;

сообщения сотрудников Единой дежурной диспетчерской службы МЧС России муниципальных образований по Сахалинской области;

сообщения сотрудников информационных агентств;

звонки и сообщения от жителей региона.

Оценка результатов макросейсмических наблюдений проводится на основе шкалы MSK-64 [Медведев и др., 1965].

Сбор макросейсмических данных на Сахалине при землетрясениях с интенсивностью сотрясений не менее 5 баллов, как правило, производится сотрудниками отдела сводной обработки сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН, которые оперативно выезжают в населенные пункты острова с целью сбора данных о характере и границах области макросейсмических проявлений землетрясений.

В 2018 г. в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН макросейсмический эффект проявили 76 землетрясений:

5 ощутимых землетрясений в Приамурье и Приморье, наиболее сильно ощущалось событие 1 февраля в 09:44 UTC ($M_w = 4.2$; $H = 18$ км, 1 на рис. 4) с интенсивностью до 4 баллов в поселках Хурмули, Горин, Боктор Хабаровского края.

10 ощутимых землетрясений на о. Сахалин: 7 – в северной и 3 – в южной части острова; сильнее всего ощущалось землетрясение 7 октября в 16:21 UTC ($K_s = 9.5$; $H = 10$ км, 2 на рис. 4) – 4 балла в пос. Хоэ.

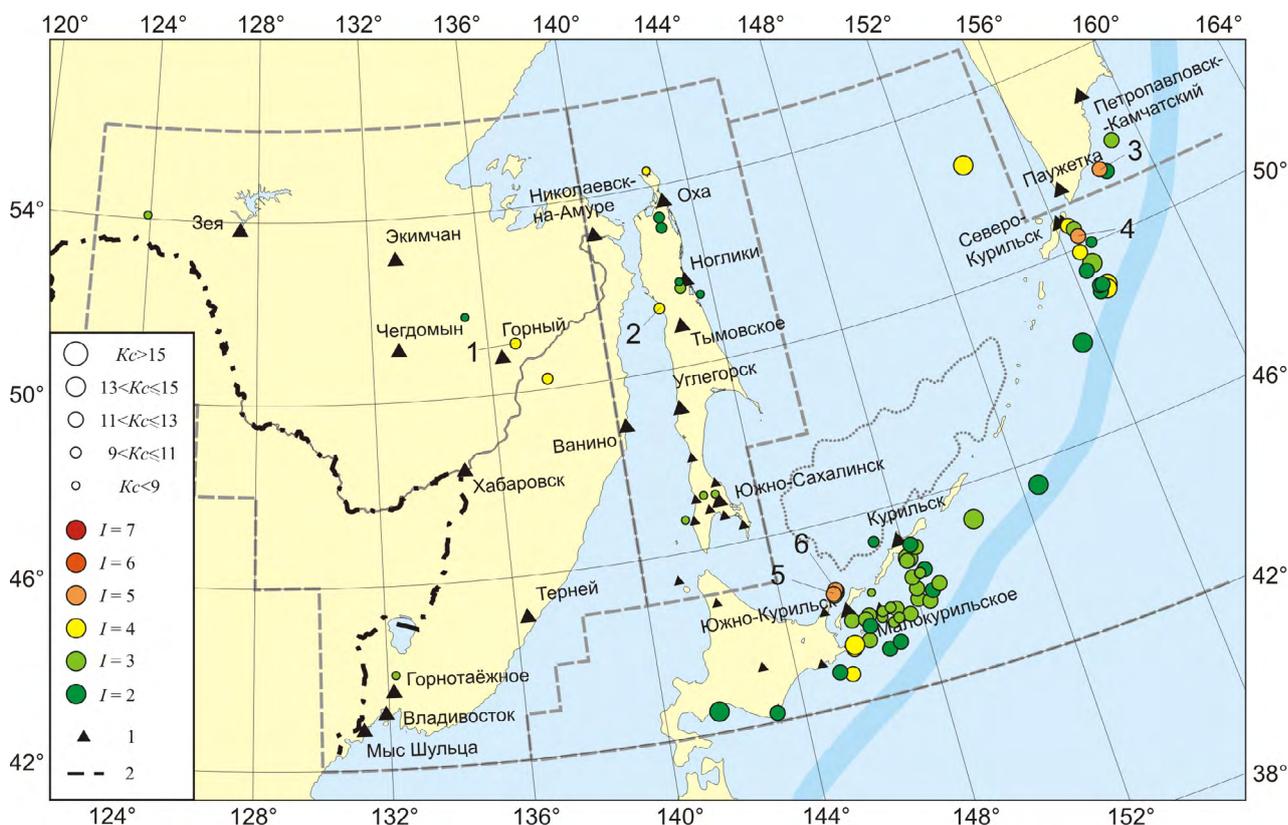


Рис. 4. Карта эпицентров ощутимых землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН за 2018 г. по данным оперативного каталога. K_s – энергетический класс С.Л. Соловьева; I – интенсивность сотрясений, балл; 1 – сейсмическая станция; 2 – граница региона.

17 на севере Курильской гряды (из них 3 землетрясения с эпицентрами у юго-восточного побережья п-ова Камчатка за пределами зоны оперативной ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН). Максимальная интенсивность сотрясений составила 5 баллов в г. Северо-Курильск от землетрясения 6 июля в 01:40 UTC ($M_{LH} = 5.6$; $H = 90$ км, 3 на рис. 4) с эпицентром у побережья Камчатки; из землетрясений в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН сильнее всего, с интенсивностью в 4–5 баллов, ощущалось землетрясение в г. Северо-Курильск 2 августа в 23:16 UTC ($K_s = 14$; $H = 42$ км, 4 на рис. 4).

44 землетрясения (из которых 2 события на о. Хоккайдо) ощущались жителями Южных Курильских островов, наибольший макросейсмический эффект вызвали упоминавшиеся выше землетрясения с эпицентрами западнее о. Кунашир: 26 октября в 03:04 UTC ($M_w = 5.5$; $K_s = 12.8$; $H = 17$ км, 5 на рис. 4), ощущавшееся в пос. Южно-Курильск как 4–5 баллов, в Головинно, Лагунное, Горячий Пляж, Менделеево – 4 балла; и 4 ноября в 19:26 UTC ($M_w = 5.9$; $K_s = 13.0$; $H = 10$ км, 6 на рис. 4), с интенсивностью сотрясений в поселках Южно-Курильск, Головинно, Лагунное, Горячий Пляж и Менделеево в 5 баллов.

На рис. 4 показаны эпицентры всех ощутимых землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2018 г. В случае промежуточных баллов (например, 3–4) значения округлялись в большую сторону.

Сейсмическая активность и график Беньофа

В целях сравнения сейсмичности зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2018 г. с наблюдениями предыдущих лет для Курило-Охотского региона был построен график накопления условной деформации (рис. 5) по Беньофу [Benioff, 1951]:

$$e = \frac{\sum \sqrt{E}}{T} \quad (1)$$

Как видно из рис. 5, в последнее десятилетие скорость накопления условной деформации в регионе была относительно стабильной, несколько выделяются наличием

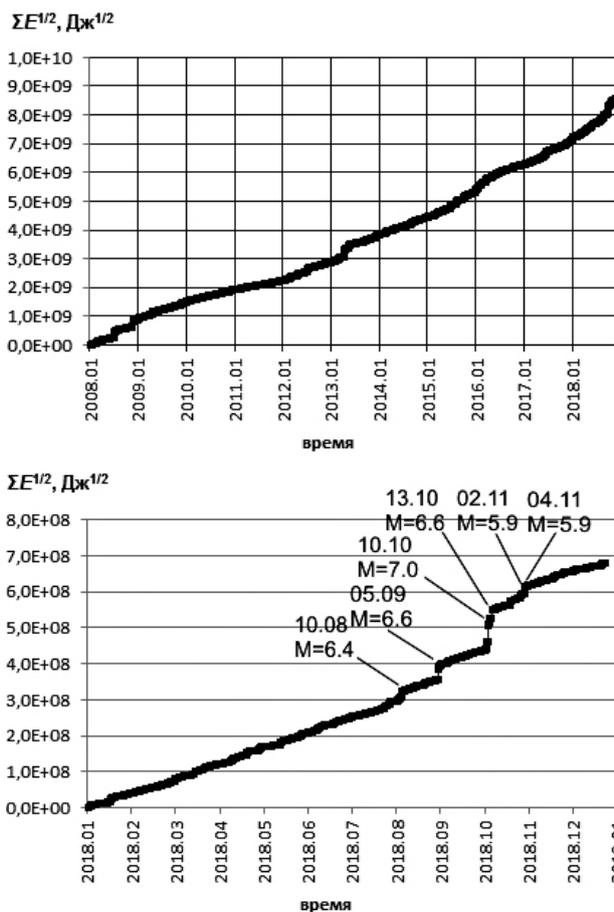


Рис. 5. График Беньофа для Курило-Охотского региона по данным каталогов СФ ФИЦ ЕГС РАН за 2008–2018 гг. (вверху) и оперативного каталога за 2018 г.

крупных сейсмических событий 2008, 2013 и 2016 гг. На этом фоне 2018 г. отмечен значительным уступом на графике. Как видно из нижней части рис. 5, в первом полугодии 2018 г. рост графика также указывает на фоновую сейсмичность и отсутствие сильных событий, значительная ступень в 2018 г. обусловлена рядом сильных землетрясений во втором полугодии, описанных выше.

На рис. 6 показан график повторяемости землетрясений Курило-Охотского региона, построенный для интервала 2008–2018, для сравнения на графике показаны значения диапазонов по данным 2018 г. Как можно убедиться, повторяемость землетрясений в 2018 г. соответствует десятилетнему тренду, но имеется некоторый избыток сильных ($M \geq 6.5$) землетрясений и недостаток в интервале $M = 5.5–6.0$, хотя это может быть связано с некорректным определением магнитуд сильных землетрясений.

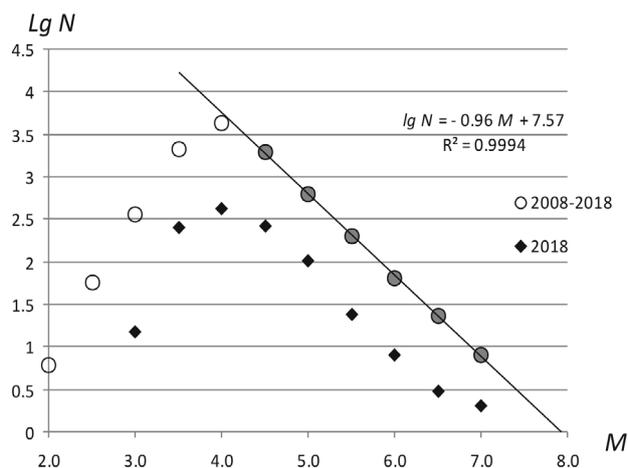


Рис. 6. График повторяемости землетрясений Курило-Охотского региона в 2008–2018 гг.

Пространственное распределение сейсмичности отражено на карте сейсмической активности территории для энергетического уровня A_{10} , построенной методом суммирования с постоянной детальностью [Ризниченко, 1964]:

$$A_{10} = \frac{1 - 10^{-\gamma}}{10^{-\gamma(K_{\min} - 10)}} * \frac{S_0 T_0}{ST} * N_{\Sigma} \quad (2)$$

где A_{10} – число очагов землетрясений в заданном диапазоне энергетического класса (в данном случае класса С.Л. Соловьева, $K_c = 10 \pm 0.5$), происходящих на данной территории в единицу времени T_0 (1 год), нормированное на площадь S_0 , традиционно принимаемую в 1000 км²; K_{\min} – минимальный уровень представительной регистрации для данной территории; S – площадь площадки усреднения; T – период времени, охватываемый использованным каталогом землетрясений; γ – угол наклона графика повторяемости землетрясений исследуемой территории; N_{Σ} – количество всех событий представительного класса $K_c \geq K_{\min}$ на площадке усреднения S за время T .

Подобный метод удобен для представления сейсмичности регионов с неравномерным охватом территории сетями наблюдений. Помимо этого методика данного расчета слабее зависит от погрешностей определения магнитуды сильных землетрясений, чем методики расчета карт, основанных на сейсмической энергии или сейсмическом моменте, что при наличии значительных проблем Сахалинского филиала в точности

определения магнитуд особенно важно. Для сравнения на рис. 7 приводятся карты сейсмической активности для территории Курило-Охотского региона за десятилетний период 2008–2017 гг. и за 2018 г.

Угол наклона графика повторяемости γ энергетического класса получен пересчетом коэффициента наклона b графика повторяемости магнитуд (рис. 6) с учетом соотношения этих величин из формулы [Соловьев, Соловьева, 1967]:

$$K_c = 2 M_{LH} + 1.2 \quad (3)$$

Размер площадки усреднения S принимался равным $0.3 \times 0.3^\circ$. Параметр A_{10} рассчитывался скользящим окном площадью S с шагом 0.1° по широте и 0.1° по долготу. В 2018 г. в связи с меньшим количеством событий размер ячеек был увеличен, т.е. $0.6 \times 0.6^\circ$ с шагом 0.2° .

Как видно из графика Беньофа (рис. 5) и карты сейсмической активности (рис. 7), в предшествующее десятилетие на Курильских островах не было больших сейсмических активизаций, сопровождавшихся катастрофическими землетрясениями, подобными Симуширским событиям 2006–2007 гг. [Рогожин, Левина, 2013] или Шикотанскому 1994 г. [Злобин и др., 2008]. Поэтому оценки сейсмической активности в этом десятилетии можно отнести к фоновому уровню, характерному для данной сейсмоактивной зоны в период между крупнейшими землетрясениями. Как и следовало ожидать, наиболее сейсмически активна зона контакта литосферных плит в промежутке между глубоководным желобом и островной дугой. Задуговая внутриплитовая активность, как и области погруженной Тихоокеанской плиты под Охотским морем, существенно менее сейсмически активны. Впрочем, про глубокие области нельзя говорить с полной уверенностью, так как представительность каталога оценивалась вдоль поверхности и без учета глубины.

Можно сделать вывод, что в 2018 г. наиболее сейсмически активными оказались Северные Курилы, где значения A_{10} превышают средние за последние 10 лет, здесь можно говорить о небольшой сейсмической

активизации. На Южных Курилах сейсмическая активность оставалась в пределах значений, характерных для предыдущих 10 лет. На Средних Курилах (между островами и желобом) сейсмическая активность ниже средней, т.е. наблюдался небольшой спад активности. В целом сейсмическая активность выше 0.1 считается умеренной, выше 1 – высокой [Сейсмическое районирование... , 1978]. То есть сейсмическую

активность Северных и Южных Курил можно считать высокой, что является обычным для данного региона, на средних Курильских островах в 2018 г. сейсмическую активность можно охарактеризовать как умеренную, ниже средних значений.

Механизмы очагов землетрясений

Механизмы очагов землетрясений являются дополнительным параметром характеристики

очагов, не входящим в основной каталог землетрясений. Ежегодно составляется отдельный каталог механизмов очагов землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН, включающий несколько десятков, как правило, наиболее сильных событий регионов. С недавнего времени Сахалинский филиал в сотрудничестве с ИМГиГ ДВО РАН начал массовое определение тензора сейсмического момента очага землетрясения, как более полной характеристики очага, чем классический механизм в двух-дипольном приближении.

Расчет тензора сейсмического момента осуществляется с применением программного комплекса ISOLA [Sokos, Zahradnik, 2013; Сафонов, Коновалов, 2014]. Для инверсии волновых форм использовались записи широкополосных велосиграфов, установленных на стационарных пунктах наблюдения СФ ФИЦ ЕГС РАН (рис. 1). Дополнительно привлекались записи сейсмических станций КФ ФИЦ ЕГС РАН, а также широкополосных станций сети F-Net агентства NIED, Япония [NIED]. В ходе расчета помимо компонент тензора сейсмического момента, ориентации главных осей напряжений и двух нодальных плоскостей также определяется моментная магнитуда землетрясений. В каталог включаются события с устойчивым решением и показателем сходимости $V_r \geq 0.2$.

Всего по оперативным данным были получены решения для 36 зем-

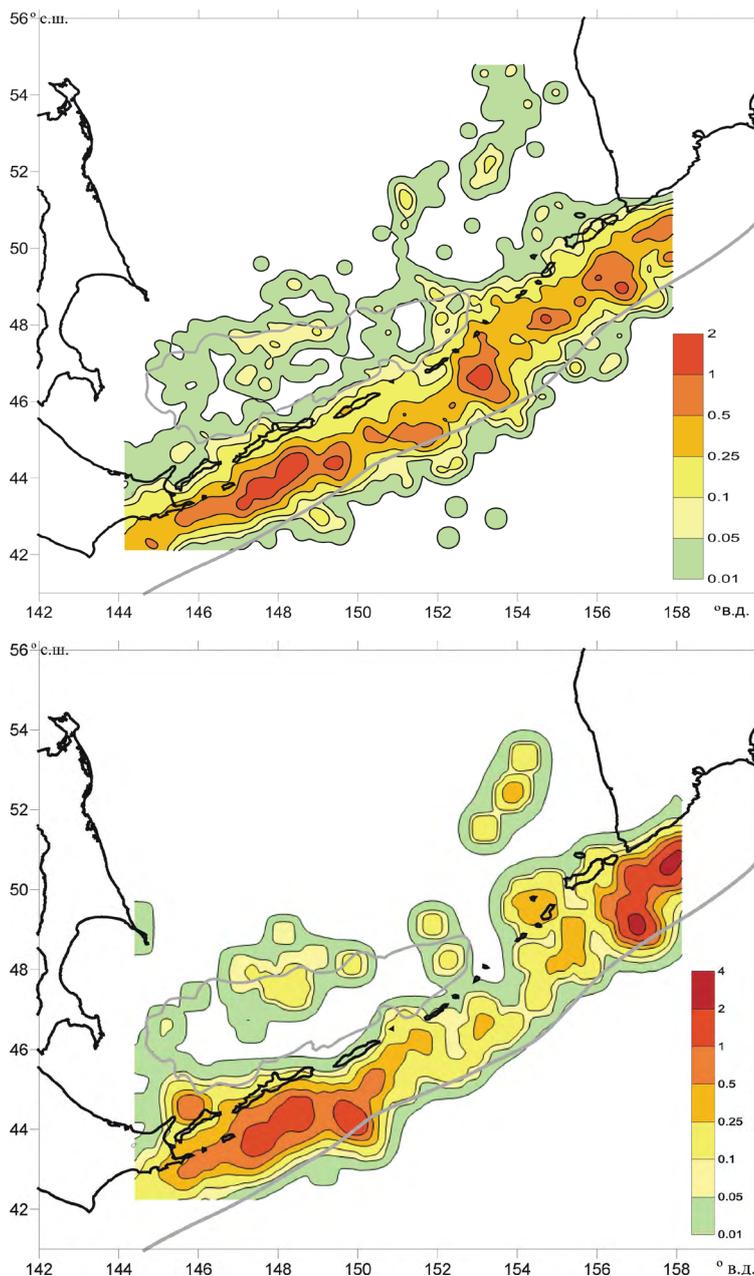


Рис. 7. Сейсмическая активность Курило-Охотского региона по данным каталога землетрясений СФ ФИЦ ЕГС РАН: сверху – 2008–2017 гг.; внизу – 2018 г. Изолинии оконтуривают области, где ежегодное количество землетрясений энергетического класса $K_s = 10$ из расчета на 1000 км^2 равно либо превышает указанное значение.

летрясений, включая 3 в регионе Приамурье и Приморье, 1 в Сахалинском регионе и 32 в Курило-Охотском регионе. На рис. 2 и 8 показаны стереограммы механизмов очагов в двухдипольном приближении (в проекции на нижнюю полусферу).

В Приамурье определен механизм очага наиболее сильного землетрясения, произошедшего 7 июля в 08:51 UTC ($M_w = 4.9$; $K_p = 13.7$; $H = 9$ км, 17 на рис. 2). В очаге реализовался сдвиг, вероятнее всего – правый, вдоль субширотной нодальной плоскости, если исходить из основной направленности разломов данного района. Два других землетрясения: 01 февраля в 09:44 ($M_w = 4.2$; $H = 18$ км, 3 на рис. 2) и 22 сентября в 03:39 ($M_w = 3.7$; $H = 10$ км, 27 на рис. 2), судя по полученным решениям механизмов очагов, произошли в сходных тектонических условиях – СВ-ЮЗ сжатия и ССЗ-ЮЮВ растяжения с преобладанием сдвигового типа сейсмодислокации. Это хорошо согласуется с преобладающим в регионе полем тектонических напряжений [Сафонов, 2018].

В Сахалинском регионе определен механизм очага землетрясения 12 сентября

в 05:49 UTC с эпицентром в море к северу от п-ова Шмидта ($M_w = 4.0$; $K_s = 11$; $H = 10$ км, 26 на рис. 2). Полученное решение оказалось неустойчивым в связи с малым числом качественно записавших его станций, согласно ему здесь реализовался взбросо-сдвиг в условиях ССВ-ЮЮЗ сжатия.

В Курило-Охотском регионе произошло несколько коровых событий, относящихся к Охотоморской плите: событие 5 сентября (22 на рис. 8) и его афтершоки (23, 24, 28, 29 на рис. 8) в районе о. Хоккайдо; землетрясения 26 октября и 4 ноября (32, 34) севернее. За исключением сильнейшего события 5 сентября, классифицируемого как взрез с вертикальной плоскостью меридионального простирания, остальные события в основном являются взбросовыми.

Остальные события с определенными механизмами очагов в Курило-Охотском регионе относятся к субдуцирующей Тихоокеанской плите и зоне ее контакта с Охотоморской. Здесь отмечены все обычные для региона виды сейсмодислокаций: сбросовые события на изгибе Тихоокеанской плиты (13, 21 на рис. 8); подвиги в зоне контакта плит

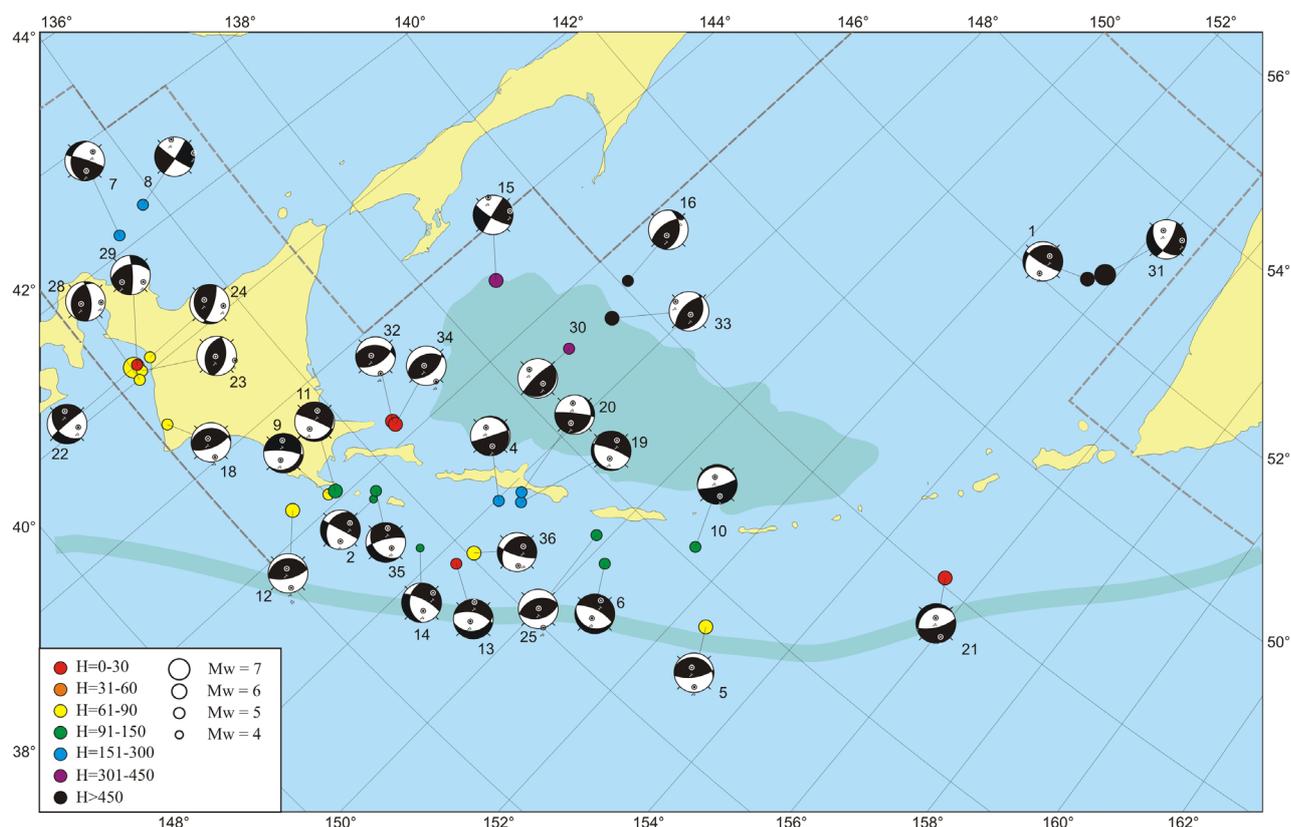


Рис. 8. Механизмы очагов землетрясений Курило-Охотского региона в 2018 г. по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН.

(5, 12, 36); и особенно много в этом году землетрясений в зоне промежуточных глубин (2, 4, 6, 9, 10, 11, 19, 20, 25) с характерными для этого района механизмами с субвертикальной нодальной плоскостью, по классификации относительно поверхности – взрез.

Особенно стоит отметить землетрясения 23 и 27 июля (19, 20 на рис. 8) с эпицентрами в районе о. Итуруп, эти события с моментной магнитудой $M_w = 5.1$, глубинами $H = 103$ км и $H = 143$ км и близкими эпицентрами имеют противоположные механизмы. Можно предположить, что их гипоцентры находятся в разных частях двойной сейсмофокальной зоны, образованной изогнутой плитой: событие 23 июля – в нижней зоне сжатия, а событие 27 июля – в верхней зоне растяжения. Интересно также, что именно в данном районе, согласно [Christova, 2015], двойной сейсмогенерирующий слой по массиву данных не прослеживается. К сожалению, точности гипоцентрии по оперативным данным СФ ФИЦ ЕГС РАН недостаточно для отнесения гипоцентров данных событий к конкретным слоям двойной сейсмофокальной зоны.

Среди глубокофокусных событий особенно выделяется сильное землетрясение 13 октября (31, рис. 8), произошедшее в южной части очаговой области Охотоморского землетрясения 2013 г. [Чебров и др., 2013]. Механизмы очага этих событий очень схожи. Вероятный его форшок 18 октября (1, рис. 8), однако, имеет другой тип сейсмодислокации. Остальные глубокофокусные землетрясения с эпицентрами в Охотском (15, 16, 30, 33) и Японском (7, 8) морях также, судя по механизмам их очагов (взбросы, сдвиги и взрезы), произошли в условиях, характерных для данных участков субдущурующей плиты [Сафонов, 2019].

Выводы

По оперативным данным Сахалинского филиала ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН» в 2018 г. были определены параметры 1112 землетрясений, получены решения 36 механизмов очагов землетрясений.

В сейсмическом отношении 2018 год для территории зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН выдался относительно спокойным, не происходило событий катастрофического уровня, подобных Симуширским землетрясениям 2006–2007 гг. или Шикотанскому землетрясению 1994 г. Магнитуда наиболее сильного землетрясения 10 октября, согласно оперативным данным, составила $M_{LN} = 7.0$, хотя по совокупности всех энергетических характеристик и макросейсмических проявлений это значение, скорее всего, несколько завышено. Тем не менее на фоне последнего десятилетия число сильных землетрясений магнитудой $M > 6.0$ оказалось несколько выше среднего.

В Сахалинском регионе значительных событий не было и общее число землетрясений, как и интенсивность их макросейсмических проявлений, оказались ниже среднегодового уровня.

В Приамурье и Приморье общее число как коровых, так и глубокофокусных землетрясений осталось примерно на уровне средних значений, было отмечено одно сильное землетрясение, произошедшее, однако, вдали от населенных пунктов и не вызвавшее серьезных последствий.

В Курило-Охотском регионе несколько выше среднего оказалась сейсмическая активность Северных Курильских островов, ниже среднего – в средней части гряды, Южные Курильские острова проявили обычную для них высокую сейсмическую активность.

Список литературы

1. Габсагарова И.П. Границы сейсмоактивных регионов с 2004 г. // *Землетрясения России в 2004 году*. Обнинск: ГС РАН, 2007. С. 139.
2. Злобин Т.К., Поплавская Л.Н., Левин Б.В., Сафонов Д.А., Полец А.Ю., Рудик М.И. Вариации поля упругих напряжений и основные сейсмодислокации в очаговой зоне Шикотанского землетрясения 04(05) октября 1994 г. // *Доклады Академии наук*. 2008. Т. 419, № 6. С. 820–823.
3. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. *Шкала сейсмической интенсивности MSK-64*. М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.
4. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // *Эксперимен-*

- ральная сейсмика. М.: Наука, 1964. С. 88–93. (Труды ИФЗ АН СССР; № 32(199)).
5. Ризниченко Ю.В. Метод суммирования землетрясений для изучения сейсмической активности // *Изв. АН СССР. Сер. геофиз.* 1964. № 7. С. 969–977.
6. Рогожин Е.А., Левина В.И. Симуширские землетрясения 15 ноября 2006 г. (I) и 13 января 2007 г. (II) с $M_w=8.3$ и $M_w=8.1$ (Средние Курилы) // *Землетрясения Северной Евразии, 2007 г.* Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 326–338.
7. Сафонов Д.А. Современное поле тектонических напряжений территории Приамурья // *Геодинамика и тектонофизика.* 2018. Т. 9, № 3. С. 1025–1037. doi:10.5800/GT-2018-9-3-0382
8. Сафонов Д.А. Пространственное распределение тектонических напряжений в южной глубокой части Курило-Камчатской зоны субдукции // *Геосистемы переходных зон.* 2019. Т. 3, № 2. С. 175–188. doi:10.30730/2541-8912.2019.3.2.175-188
9. Сафонов Д.А., Коновалов А.В. Использование программы ISOLA для определения тензора сейсмического момента землетрясений Курило-Охотского и Сахалинского регионов // *Тихоокеанская геология.* 2017. Т. 36, № 3. С. 102–112.
10. *Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г.* / отв. ред. В.И. Бунз, Г.П. Горшков. М.: Наука, 1980. 308 с.
11. Семенова Е.П., Костылев Д.В., Михайлов В.И., Паршина И.А., Ферчева В.Н. Оценка сейсмичности южного Сахалина по методике СОУС'09 // *Геосистемы переходных зон.* 2018. Т. 2, № 3. С. 191–195. doi:10.30730/2541-8912.2018.2.3.191-195
12. Соловьев С.Л., Соловьева О.Н. Соотношение между энергетическим классом и магнитудой Курильских землетрясений // *Физика земли.* 1967. № 2. С. 13–22.
13. Фокина Т.А., Сафонов Д.А., Дорошкевич Е.Н., Костылев Д.В. Курило-Охотский регион // *Землетрясения Северной Евразии, 2011 год.* Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 170–180.
14. Фокина Т.А., Коваленко Н.С., Костылев Д.В., Левин Ю.Н., Лихачева О.Н., Михайлов В.И. Приамурье и Приморье, Сахалин и Курило-Охотский регион // *Землетрясения России в 2016 году.* Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С. 45–53.
15. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А., Кравченко Н.М., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Раевская А.А., Салтыков В.А., Чебров Д.В., Ландер А.В. Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой $M_w = 8.3$ – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле.* 2013. № 1, вып. 21. С. 17–24.
16. Benioff H. Earthquakes and rock creep // *Bulletin of the Seismological Society of America.* 1951. Vol. 41, N 1. P. 31–62.
17. Christova C.V. Spatial distribution of the contemporary stress field in the Kurile Wadati-Benioff zone by inversion of earthquake focal mechanisms // *J. of Geodynamics.* 2015. Т. 83. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2014.11.001>
18. NIED – National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan. URL: <http://www.fnet.bosai.go.jp>
19. Sokos E., Zahradník J. Evaluating Centroid-Moment-Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software // *Seismological Research Letters.* 2013. Vol. 84. P. 656–665. <https://doi.org/10.1785/0220130002>

Об авторах

САФОНОВ Дмитрий Александрович (ORCID 0000-0002-2201-2016), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории сейсмологии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, программист отдела сводной обработки сейсмологических данных, Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск; ФОКИНА Татьяна Александровна, начальник отдела, КОВАЛЕНКО Наталья Семеновна, ведущий инженер – отдел сводной обработки сейсмологических данных, Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск.