

**СЕЙСМИЧНОСТЬ ПРИАМУРЬЯ и ПРИМОРЬЯ, САХАЛИНА
и КУРИЛО-ОХОТСКОГО РЕГИОНА в 2016–2017 гг.**

Т.А. Фокина¹, Д.А. Сафонов^{1,2}, Д.В. Костылев¹

¹Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, fokina@seismo.sakhalin.ru

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, d.safonov@imgg.ru

Аннотация. Представлен обзор за 2016–2017 гг. сейсмичности трех регионов: Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона, входящих в зону ответственности Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Использовались данные региональной сети стационарных сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН с привлечением данных сопредельных сейсмологических российских и зарубежных агентств, а также десяти станций локальной сети, функционировавшей на юге о. Сахалин. Определены параметры 4568 сейсмических событий, 113 из них – взрывы. Для 32 землетрясений рассчитаны механизмы очагов. 90 землетрясений проявили макросейсмический эффект на территории вышеуказанных регионов. Приведена карта эпицентров, дано распределение числа N коровых и глубокофокусных землетрясений по магнитуде и суммарная сейсмическая энергия ΣE по регионам в сравнении со средними параметрами N и ΣE за 2001–2015 гг. Для каждого региона дан анализ параметров сейсмического режима в 2016–2017 гг. в сравнении с долговременными средними значениями, описаны максимальные и осязаемые сейсмические события. Сейсмичность Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2016–2017 гг. можно охарактеризовать как умеренную.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмичность, сейсмическая станция, магнитуда, сейсмическая энергия.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.13 **EDN:** UCRNZJ

Для цитирования: Фокина Т.А., Сафонов Д.А., Костылев Д.В. Сейсмичность Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 146–163. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.13. EDN: UCRNZJ

Региональная сеть станций. Мониторинг сейсмической активности в зоне ответственности Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН проводился в общей сложности в 44 пунктах непрерывных наблюдений (34 стационарных и десять автономных полевых), расположенных на Сахалине, Курильских островах, в Приамурье и Приморье. Из 34 стационарных наблюдательных пунктов 18 – с обслуживающим персоналом, 16 – автоматических, с передачей данных в режиме, близком к реальному времени, на серверы сбора опорных станций [1–4]. К определению параметров землетрясений привлекались данные сейсмических станций ИТИГ ДВО РАН: «Чегдомын» (CHMR) и «Ванино» (VNNR); станций ФИЦ ЕГС РАН: «Кульдур» (KLR) и «Мыс Шульца» (MSHR); станционные бюллетени Прибайкалья, Якутии; Сейсмологический бюллетень ФИЦ ЕГС РАН [5], Japan Meteorological Agency (JMA) [6], ISC [7], NEDC [8].

В **Приамурье и Приморье** расположено 11 сейсмических станций. На территории региона продолжали работать семь цифровых сейсмических станций, оснащенных регистрирующими комплексами «Datamark» в составе сейсмометров STS-2, L4C3D и регистратора LS7000XT: «Горный» (GRNR), «Зея» (ZEA), «Терней» (TEY), «Хабаровск» (KHBR), «Горнотаежное» (GRTR), «Охотск» (OKHT), «Экимчан» (EKMR). Регистрация землетрясений на сейсмических станциях «Бомнак» (BMKR), «Кировский» (KROS) и «Октябрьский» (OCTB) производилась с помощью акселерометров Guralp CMG-5TDE, а на станции «Николаевск-на-Амуре» (NKL) – с помощью широкополосного велосиметра Guralp CMG-6TD, установленного 22 декабря 2016 года. Данные о станциях и параметры аппаратуры приведены в Приложении [1].

Региональная сейсмическая сеть **Сахалина** состояла из 16 стационарных станций: четырех с обслуживающим персоналом – «Южно-Сахалинск» (YSS), «Тымовское» (TYV), «Углегорск» (UGL), «Оха» (OKH), двух временных, оснащенных велосиметрами с высокой чувствительностью – «Ноглики» (NGLR) и «Новоалександровск» (NVA), восьми станций, оснащенных акселерометрами CMG-5TD (5T) и предназначенных для регистрации сильных, в том числе цунамигенных, землетрясений, а также двух пунктов сейсмических наблюдений, открытых

25–26 августа 2017 г. в рамках договора о сотрудничестве между СФ ФИЦ ЕГС РАН и ИМ-ГиГ ДВО РАН на севере Сахалина в поселках Вал и Ныш (Ногликский район) и оснащенных короткопериодными сейсмометрами Lennartz LE-3Dlite и регистраторами сейсмических сигналов российского производства «Дельта-03М». Данные о станциях и параметры аппаратуры приведены в Приложении [2]. Кроме того, на юге Сахалина функционировала локальная сеть из 11 временных цифровых сейсмических станций DAT (DAT-4/DAT-5a, LE-3Dlite), позволяющая регистрировать как сильные, так и слабые локальные землетрясения. Эта сеть создавалась с 1999 г. для наблюдений за сейсмичностью южной, наиболее заселенной части о. Сахалин. Сведения о станциях и их параметрах приведены в Приложении [3].

Сейсмическая сеть *Курило-Охотского* региона в конце 2017 г. состояла из семи стационарных наблюдательных пунктов, из них четыре автоматических. Четыре опорные станции: «Северо-Курильск» (SKR), «Курильск» (KUR), «Южно-Курильск» (YUK), «Малокурильское» (SHO) оснащены комплектами оборудования, включающими в себя широкополосные сейсмометры и приборы регистрации сильных движений. На выносных пунктах опорных станций «Южно-Курильск» (YUK), «Северо-Курильск» (SKR), а также на автономном пункте сейсмических наблюдений «Рейдово» на о. Итуруп регистрация производится с использованием акселерометров. В 2016–2017 гг. в связи с крайне неблагоприятными условиями эксплуатации, неустойчивой связью, частыми и длительными перерывами в подаче электроэнергии, было принято решение закрыть два выносных пункта: один – сейсмостанции «Южно-Курильск» и один – сейсмостанции «Северо-Курильск» (на о. Шумшу). Сведения о станциях и регистрирующей аппаратуре приведены в Приложении [4].

Проведена оценка регистрационных возможностей сейсмологической сети в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН и прилегающей территории с учетом локальных особенностей затухания волн и уровня сейсмических шумов на станциях [9]. Для расчетов использовались уравнения макросейсмического поля для Сахалина, Курильских островов, Приморья и Приамурья [10], а также шумовая обстановка на каждой станции сети, измеренная опытным путем. Результаты оценки, а также расположение сейсмических станций, включенных в систему сбора, приведены на рис. 1.

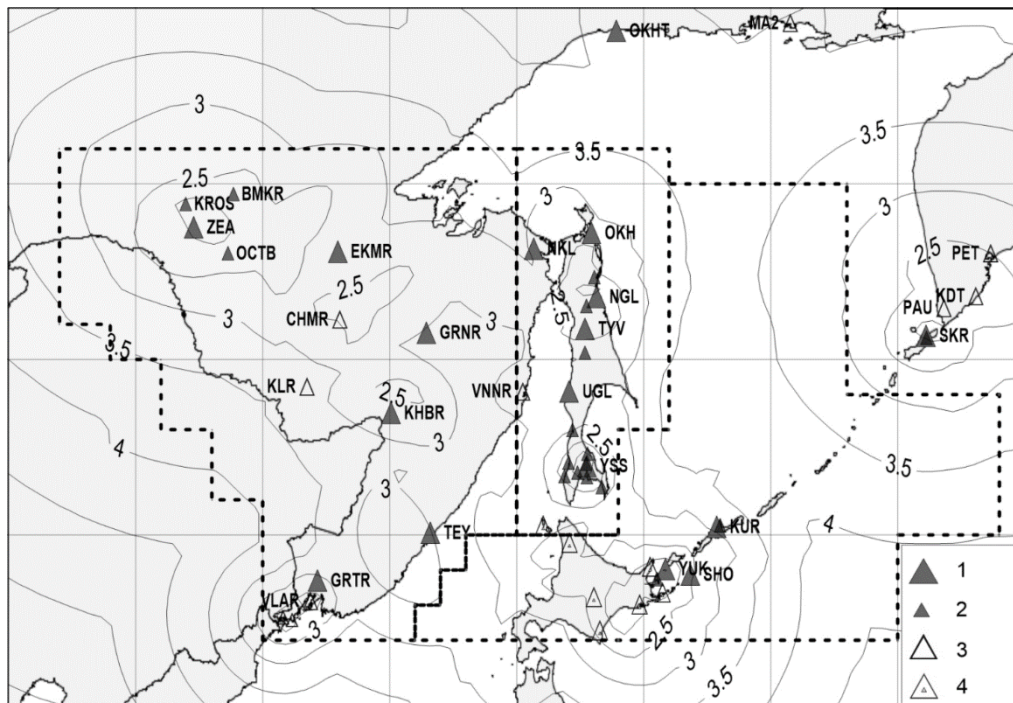


Рис. 1. Карта магнитудной представительности землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2016–2017 гг.

1 – широкополосная сейсмическая станция СФ ФИЦ ЕГС РАН, оснащенная велосейсмометром; 2 – пункт СФ ФИЦ ЕГС РАН, оснащенный акселерометром; 3 – сейсмическая станция ФИЦ ЕГС РАН и ИТиГ ДВО РАН; 4 – сейсмическая станция Japan Meteorological Agency (JMA).

Как видно из рис. 1, сейсмическая сеть обеспечила регистрацию без пропусков землетрясений с расчетной магнитудой $M^P \geq 3.5$ на большей части Приамурья и Приморья, практически во всем регионе Сахалина, на севере и юге Курильской гряды. Причем центральная, наиболее сейсмически активная часть территории Приамурья, почти весь о. Сахалин, о. Хоккайдо, о. Кунашир и острова малой Курильской гряды находятся в зоне представительной магнитуды $M^P \geq 3.0$. В северной и центральной части Охотского моря, на территории Курильских островов от о. Уруп до о. Кетой, а также в узкой полосе юго-западной части Приамурья и Приморья уверенно могут регистрироваться лишь землетрясения с $M^P \geq 4.0$.

Конфигурация локальной сети на юге о. Сахалин и обеспечиваемая ею карта магнитудной представительности землетрясений приведены на рис. 2.

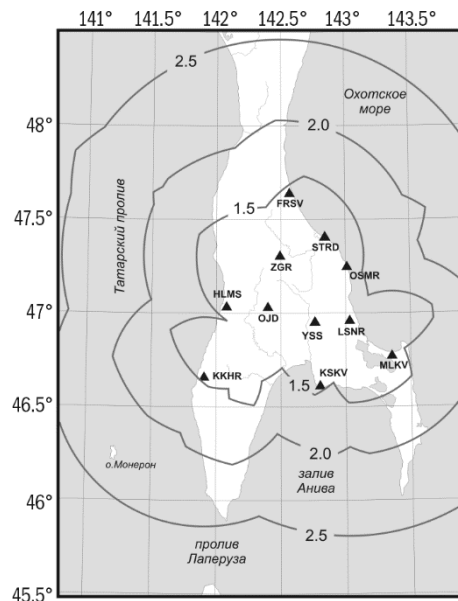


Рис. 2. Карта магнитудной представительности M^P землетрясений юга Сахалина

1 – полевая сейсмическая станция локальной сети на юге Сахалина; 2 – изолиния M^P .

Если для землетрясений Сахалина была определена региональная магнитуда $M_w(\text{рег})$, то она была взята в качестве M^P [14]. Если для мелкофокусных ($h \leq 80$ км) толчков определена магнитуда MLH по стандартной методике [23], то ее значение берется в качестве единой магнитудной оценки. Для всех остальных землетрясений производится пересчет (или из класса K_C , или из разных магнитуд MPV , $MPVA$, MSH , $MSHA$) по формулам связи магнитуд, установленным С.Л. Соловьёвым и О.Н. Соловьёвой [18, 22], расположенным сверху вниз в порядке предпочтения:

для событий с глубиной $h \leq 80$ км:

$$\begin{aligned} M^P &= MLH; \\ M^P &= (K_C - 1.2)/2; \\ M^P &= (MSH - 1.71)/0.75; \\ M^P &= (MPV - 2.5)/0.65; \\ M^P &= (MSHA - 1.71)/0.75; \\ M^P &= (MPVA - 2.5)/0.65; \end{aligned}$$

для событий с глубиной $h > 80$ км:

$$\begin{aligned} M^P &= (MSH - 1.71)/0.75; \\ M^P &= (MPV - 2.5)/0.65; \\ M^P &= (K_C - 1.2)/2; \\ M^P &= (MSHA - 1.71)/0.75; \\ M^P &= (MPVA - 2.5)/0.65. \end{aligned}$$

Для землетрясений с известными классами K_P и при отсутствии K_C была использована приведенная выше формула Т.Г. Раутиан (1).

Энергия землетрясений (в Дж) оценивалась для коровых землетрясений Приамурья и Приморья по формуле Т.Г. Раутиан [21]:

$$E = 10^{K_P},$$

Методика обработки сейсмологических данных описана в [11–19]. Границы регионов не изменились и приведены в [20]. Классификация землетрясений Приамурья и Приморья проводилась по энергетическому классу K_P Т.Г. Раутиан [21]; землетрясений Сахалина – по классу K_C С.Л. Соловьёва [22], или, если не было данных для его определения, по классу K_P ; землетрясений Курило-Охотского региона – по классу K_C . Кроме энергетических классов, для землетрясений всех регионов определялись, по возможности, магнитуды MLH , MPV , MSH по аппаратуре СКД [23] и $MPVA$, $MSHA$ – по короткопериодной аппаратуре СКМ-3 [23, 24].

Классификация регистрируемых локальной сетью местных землетрясений осуществлялась по энергетическим классам K_P шкалы Т.Г. Раутиан [21] с помощью номограммы, построенной по данным записи афтершоков катастрофического Нефтегорского землетрясения 1995 г. сетью цифровых сейсмических станций «Datamark» [25] с переходом к расчетным магнитудам M^P по формуле Т.Г. Раутиан [26]:

$$M^P = (K_P - 4)/1.8. \tag{1}$$

Для единой магнитудной классификации землетрясений используются расчетные магнитуды M^P .

для всех остальных землетрясений – по формуле Гутенберга–Рихтера из [19]:

$$\lg E = 4.8 + 1.5 \cdot M^p. \quad (2)$$

Механизмы очагов землетрясений определялись двумя методами: по знакам первых вступлений объемных волн по программе Фостес [13]; методом инверсии волновых форм, программа ISOLA [14].

В каталоги землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН за 2016–2017 гг. внесены параметры 4568 землетрясений и взрывов [27–29]: 2117 – за 2016 г., 2451 – за 2017 год. Карты их эпицентров приведены на рис. 3 и 4.

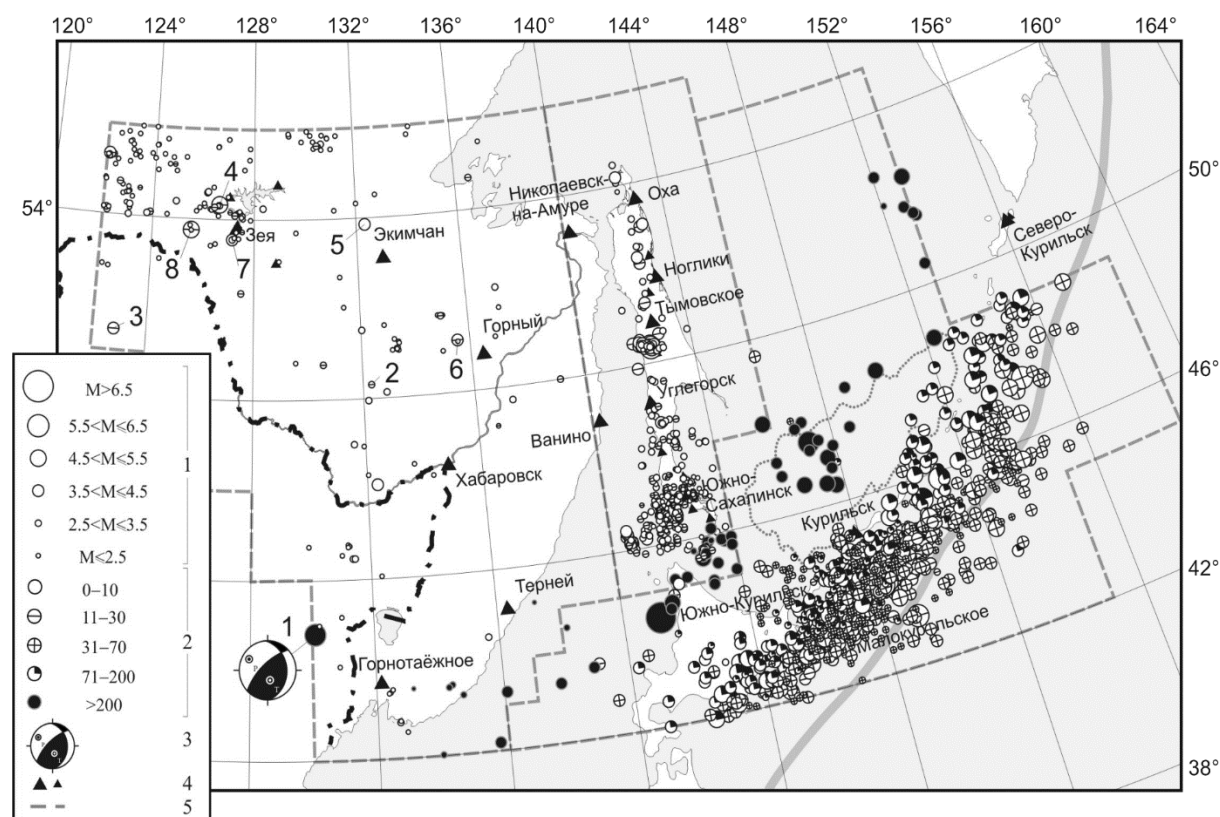


Рис. 3. Эпицентры землетрясений Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2016 г.

1 – магнитуда M^p ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – диаграмма механизма очага; 4 – сейсмическая станция; 5 – граница регионов зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН. Номера землетрясений Приамурья, Приморья и Сахалина соответствуют номерам в каталогах.

Макросейсмический эффект на территории трех регионов проявили 90 землетрясений: девять – в Приамурье (максимальная интенсивность $I_{\max}=5$ баллов), 39 – на Сахалине ($I_{\max}=5-6$ баллов), 42 – на Курильских островах ($I_{\max}=4$ балла) [30–32].

Для 32 землетрясений определены механизмы очагов [33–35].

Анализ сейсмичности.

В региональный каталог землетрясений *Приамурья и Приморья* [27] включены основные параметры 406 сейсмических событий: 204 – за 2016 г., 202 – за 2017 год. Из них 360 землетрясений с очагами в земной коре, 16 глубокофокусных, 30 событий отнесены к категории «возможно взрыв». Для девяти землетрясений имеются макросейсмические данные [30], для одного – определен механизм очага [33].

Сейсмичность региона представлена, в основном, коровыми ($h=2-25$ км), слабыми и умеренными ($K_p=5.4-13.4$, $M^p=0.8-5.2$) землетрясениями. Наибольшее число эпицентров землетрясений располагается в северо-западной части региона, там же находится большая часть эпицентров взрывов.

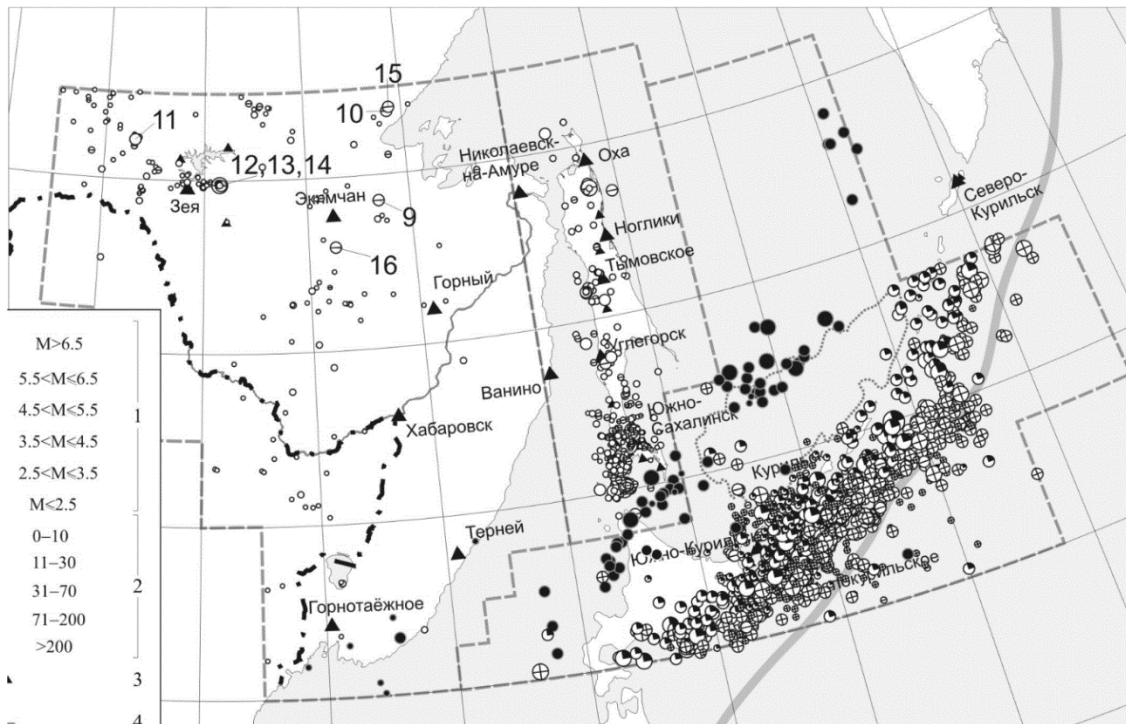


Рис. 4. Эпицентры землетрясений Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2017 г.

1 – магнитуда M^P ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – диаграмма механизма очага; 4 – сейсмическая станция; 5 – граница регионов зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН. Номера землетрясений Приамурья, Приморья и Сахалина соответствуют номерам в каталогах.

Самое сильное коровое землетрясение региона (8 на рис. 3) произошло западнее глубоководной части Зейского водохранилища 12 декабря 2016 г. в 02^h31^m UTC¹ на глубине $h=16$ км с $K_p=13.4$, $MLH=4.8$, эпицентр находился в 114 км к западу от г. Зeya, где интенсивность макросейсмических проявлений составила 3 балла. Землетрясение ощущалось в 14 населенных пунктах Амурской области, в ближайших к эпицентру селах Кислый Ключ и Гонжа ($\Delta=13$ км и 22 км соответственно) интенсивность достигала 4–5 баллов.

Всего в регионе в течение 2016–2017 гг. было отмечено девять ощутимых землетрясений. Максимальный макросейсмический эффект, равный 5 баллам, проявило землетрясение (4 на рис. 3), произошедшее 19 марта 2016 г. в 10^h54^m на глубине $h=13$ км с $K_p=13.1$ в с. Золотая Гора, эпицентрального расстояния до которого составило 4 км. Еще в шести населенных пунктах Амурской области землетрясение ощущалось с интенсивностью от 4 до 2–3 баллов.

Землетрясение (7 на рис. 3), произошедшее 11 сентября 2016 г. в 08^h07^m на глубине $h=10$ км с $K_p=12.5$, ощущалось в 12 населенных пунктах Амурской области, в восьми из которых интенсивность составила 4 балла.

В 2017 г. произошли два ощутимых землетрясения в районе о. Ханка, расположенном на границе Приморского края России и провинции Хэйлунцзян Китая. Оба землетрясения зарегистрированы 21 января в 03^h22^m ($h=14$ км с $K_p=10.1$) и в 03^h41^m ($h=10$ км с $K_p=8.7$). Первое ощущалось в семи населенных пунктах Приморского края, второе – в четырех. Максимальная интенсивность в 4 и 3 балла соответственно отмечена на базе отдыха, расположенной возле о. Ханка ($\Delta=2$ и 3 км).

Интенсивность в 4–5 баллов наблюдалась в с. Огорон ($\Delta=34$ км) при землетрясении (13 на рис. 4), произошедшем 26 октября 2017 г. в 16^h26^m на глубине $h=19$ км с $K_p=13.2$, эпицентр находился в 89 км восточнее г. Зeya, где интенсивность составила 3–4 балла. Всего землетрясение ощущалось в 14 населенных пунктах Амурской области.

Макросейсмический эффект остальных ощутимых землетрясений региона не превышал 3 баллов.

¹ Здесь и далее время возникновения землетрясения приводится в единицах UTC – всемирного координированного времени (Coordinated Universal Time)

По данным USGS [36] землетрясение (1 на рис. 3), произошедшее 2 января 2016 г. в 04^h22^m ($h=588$ км, $M_{WGCMT}=5.8$) ощущалось на территории Китая в пос. Муданьцзян в 46 км к юго-западу от эпицентра с интенсивностью $I=II$ по шкале MMI [37].

На рис. 5 показано изменение ежегодного числа коровых землетрясений региона и их суммарная сейсмическая энергия ΣE за период 2000–2017 гг.

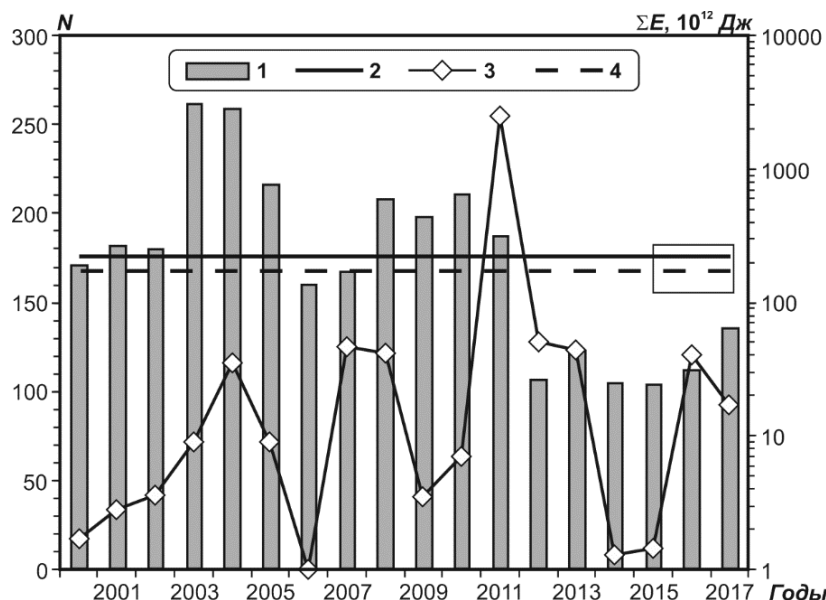


Рис. 5. Изменение ежегодного числа N землетрясений с $K_p \geq 7.6$ и суммарной сейсмической энергии ΣE коровых землетрясений Приамурья и Приморья за период 2000–2017 гг.

1 – N ; 2 – среднегодовое число N_{cp} землетрясений с $K_p \geq 7.6$ за 2000–2015 гг.; 3 – ΣE ; 4 – среднегодовое значение суммарной сейсмической энергии ΣE_{cp} за 2000–2015 гг.

В 2016 г. зарегистрировано $N=111$ коровых землетрясений с $K_p \geq 7.6$, что в 1.6 раза ниже среднего значения за период 2000–2015 гг. ($N_{cp}=176.5$), суммарная сейсмическая энергия в 4.3 раза ниже среднего значения за указанный период.

В 2017 г. зарегистрировано $N=135$ коровых землетрясений с $K_p \geq 7.6$, что в 1.3 раза ниже среднего значения за период 2000–2015 гг., суммарная сейсмическая энергия в 10.3 раза ниже среднего значения за указанный период.

Глубокофокусная сейсмичность Приамурья и Приморья представлена 16 землетрясениями с очагами в зоне субдукции Тихоокеанской плиты на глубине $h=342$ –588 км с эпицентрами в юго-восточной части региона: девять – на территории Приморья, семь – в акватории Японского моря. Их расчетные магнитуды находятся в интервале $M^P=2.4$ –5.9, макросейсмический эффект не отмечен.

Для одного, самого сильного землетрясения (1 на рис. 3), произошедшего 2 января 2016 г. в 04^h22^m ($M^P=5.9$, $MSH=6.1$, $h=588$ км) с эпицентром на территории Китая, определен механизм очага. Согласно решению, полученному методом инверсии волновых форм и показанному на рис. 3, относительно поверхности землетрясение классифицируется как взбросовое, ось сжатия P полого ($PL=22^\circ$) падает на северо-запад, ось растяжения T под углом $PL=59^\circ$ падает на юго-юго-восток. Согласно альтернативному решению, полученному методом полярности первых вступлений, землетрясение классифицируется как сбросо-сдвиговое, при этом ось P примерно сохраняет свое положение.

Ход сейсмического процесса в регионе в 2016–2017 гг. характеризует график Беньоффа [38] на рис. 6. Энергия коровых землетрясений оценивалась по формуле Раутиан [21], глубокофокусных – по формуле Гутенберга-Рихтера [19].

Примерно одинаковый наклон графика в течение года может свидетельствовать об отсутствии областей затишья или активизации перед сейсмическими событиями регионального масштаба, все происходящие землетрясения можно отнести к фоновой сейсмичности.

Стрелками показаны самые сильные землетрясения 2016–2017 гг., вызвавшие «ступеньки» на графике. Поскольку в Приамурье и Приморье регистрируются, в основном, слабые сейсмические события, на графике четко выделяются все землетрясения с $M^P \geq 4.7$ ($K_P \geq 12.5$). В 2016 г. видны четыре «ступеньки», в 2017 г. – только одна.

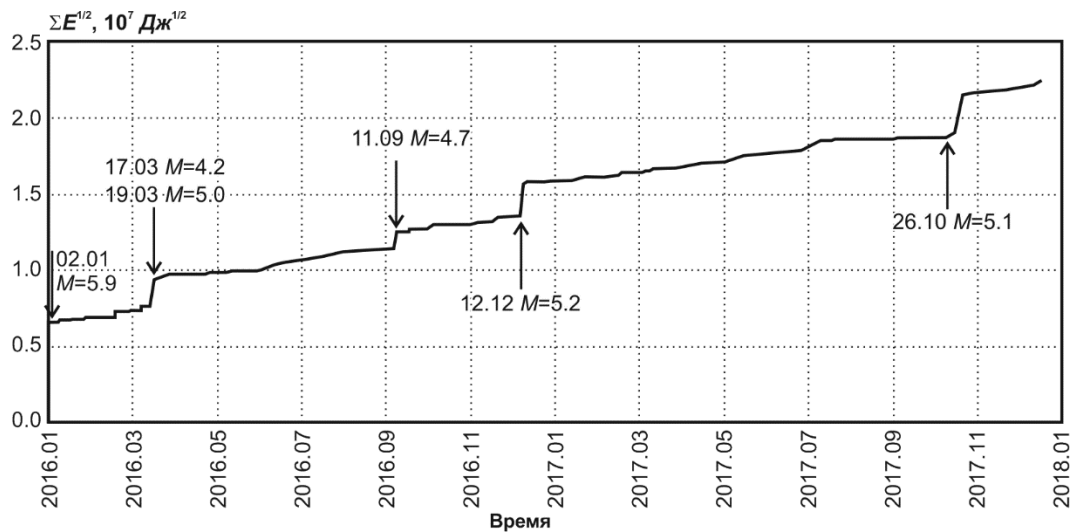


Рис. 6. График Бенъофа для региона Приамурье и Приморье за 2016–2017 гг.

Первая и самая крупная «ступень» соответствует глубокофокусному (1 на рис. 3) землетрясению, произошедшему 2 января в 04^h22^m с $M^P=5.9$, $MSH=6.1$, $h=588$ км.

Вторая «ступень» отражает два близких по времени коровых землетрясения (3 и 4 на рис. 3), зарегистрированных 17 марта в 16^h53^m ($h=15$ км с $K_P=11.5$) и 19 марта 2016 г. в 10^h54^m ($h=13$ км, $K_P=13.1$). Второе землетрясение ощутимое, о нем написано выше.

Третья и четвертая «ступени» – два ощутимых коровых землетрясения (7 и 8), о которых также написано выше.

Четвертая «ступень» соответствует ощутимому землетрясению (13 на рис. 4).

В целом в Приамурье и Приморье в 2016–2017 гг. наблюдался средний уровень коровой сейсмической активности. Глубокофокусная сейсмичность также была невысокой.

Функция распределения сейсмической энергии Приамурья и Приморья по данным каталогов за 1962–2017 гг. приведена в [39, 40], где уровень сейсмичности региона в 2016 г. и в 2017 г. по методике «СОУС'09» [41] отнесен к категории «фоновый средний».

В 2016–2017 гг. в региональный каталог *Сахалина* [28] включены параметры 1080 сейсмических событий: 498 – за 2016 г., 582 – за 2017 г., 83 из них идентифицированы как «возможно взрыв» и при анализе сейсмичности не учитывались.

Для 39 землетрясений имеются макросейсмические данные [31], для десяти определены механизмы очагов [34]. Карта эпицентров всех сейсмических событий приведена на рис. 7 а и 7 б. Обзор сейсмичности юга Сахалина по данным локальной сети приведен в [42, 43].

Сейсмичность региона представлена, в основном, коровыми землетрясениями с эпицентрами на о. Сахалин и его шельфе и, как правило, несколькими глубокофокусными землетрясениями, происходящими в зоне субдукции Тихоокеанской плиты. В 2016–2017 гг. на территории региона зарегистрировано 958 коровых землетрясений с глубиной гипоцентра 2–18 км.

Самое сильное коровое землетрясение (5 на рис. 5 а) произошло 14 августа 2016 г. в средней части о. Сахалин ($M^P=5.6$, $K_C=12.8$, $h=10$ км) и ощущалось в 44 населенных пунктах острова. Максимальная интенсивность в 5–6 баллов наблюдалась в с. Онор ($\Delta=20$ км). Очаг землетрясения приурочен к одной из вторичных структур Центрально-Сахалинского взбросо-надвига, секущему участку Западно-Сахалинских гор в направлении побережья. В очаге землетрясения реализовались субгоризонтальные напряжения сжатия СВ–ЮЗ ориентации, тип подвижки – взброс с незначительной сдвиговой компонентой. В настоящем сборнике этому землетрясению посвящена отдельная статья [44].

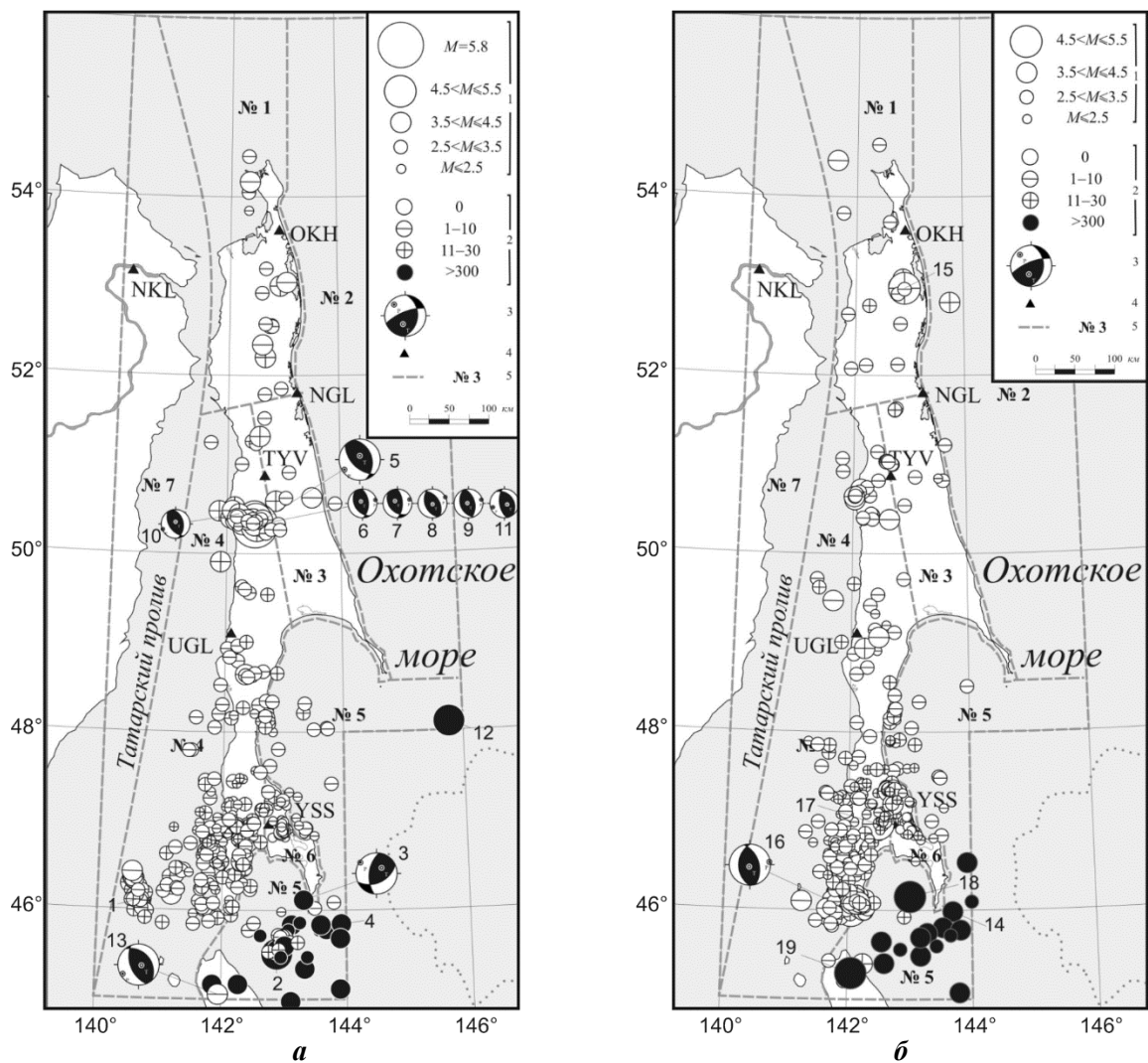


Рис. 7. Эпицентры землетрясений Сахалина в 2016 г. (а) и в 2017 г. (б)

1 – магнитуа M^P ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – диаграмма механизма очага; 4 – сейсмическая станция; 5 – граница региона и сейсмоактивных районов. Номера землетрясений соответствуют номерам в каталоге [28].

Второе по силе коровое землетрясение (16 на рис. 7 б) произошло 23 апреля 2017 г. в 06^h37^m на глубине $h=5$ км, $M^P=5.0$, $K_C=11.9$. Эпицентр находился в районе мыса Крильон – южной оконечности о. Сахалин. Землетрясение ощущалось в 13 населенных пунктах южной части Сахалина с интенсивностью от 4 до 2 баллов, непосредственно на мысе Крильон – 4 балла, а также на о. Хоккайдо – от I до II баллов по шкале JMA [45]. Тип сейсмодислокации в очаге землетрясения – взбросовый. Подвижка реализовалась в условиях близгоризонтального субширотного сжатия. Этому землетрясению также посвящена отдельная статья в данном сборнике [46].

Макросейсмический эффект на территории региона всего проявило 39 землетрясений: четыре – на севере Сахалина, 12 – в центральной части, 23 – на юге. Максимальная интенсивность на севере и на юге острова составила $I_{\max}=3-4$ балла. Из 12 ощутимых землетрясений средней части Сахалина четыре произошли в Углегорском районе ($I_{\max}=3-4$ балла) и восемь – в районе эпицентральной зоны Онорского землетрясения [31].

Глубокофокусная сейсмичность Сахалина в 2016–2017 гг. представлена 39 землетрясениями. Самое сильное и глубокое ($M^P=5.3$, $MSH=5.7$, $h=517$ км) произошло 6 ноября 2016 г. в 10^h35^m, его эпицентр (12 на рис. 7 а) находился на Охотоморском шельфе, в юго-восточной части региона. Остальные 38 глубокофокусных землетрясений региона зарегистрированы в акватории залива Анива, южной части залива Терпения и под северной оконечностью о. Хоккайдо. Их гипоцентры расположены на глубине 203–398 км, расчетные магнитуды $M^P=2.8-5.2$. Макросейсмический эффект на территории России ни одно глубокофокусное землетрясение не

проявило. Для одного (3 на рис. 7 а) определен механизм очага. Согласно полученному решению, землетрясение классифицируется как взбросо-сдвиг, оно произошло в условиях горизонтального ($PL=5^\circ$) сжатия, ось сжатия P ориентирована на северо-запад, ось растяжения T падает на северо-восток под углом $PL=57^\circ$.

На рис. 8 показаны изменение ежегодного числа мелкофокусных землетрясений региона с $M^P \geq 3.0$ и их суммарная сейсмическая энергия за период 2001–2017 гг.

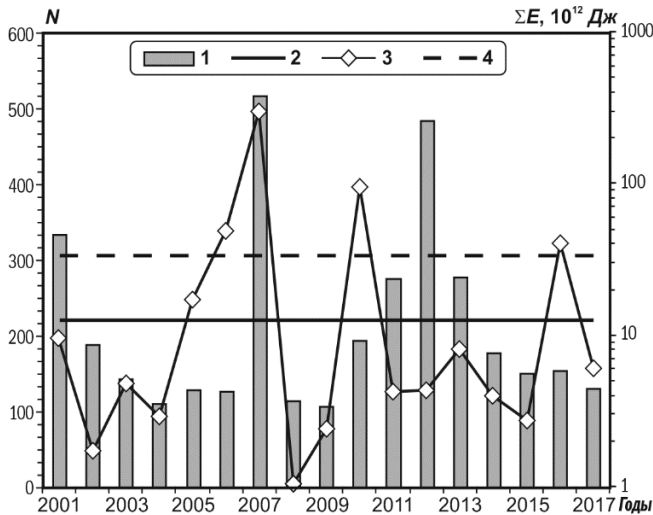


Рис. 8. Изменение ежегодного числа N землетрясений с $M^P \geq 3.0$ и суммарной сейсмической энергии ΣE мелкофокусных землетрясений Сахалина за период 2001–2017 гг.

1 – N ; 2 – среднегодовое число N_{cp} землетрясений с $M^P \geq 3.0$ за 2001–2015 гг.; 3 – ΣE ; 4 – среднегодовое значение суммарной сейсмической энергии ΣE_{cp} за 2001–2015 гг.

С магнитудой $M^P \geq 3$ зарегистрировано 157 землетрясений в 2016 г. и 131 – в 2017 г., что в 1.4 и 1.7 раза ниже среднего значения за период 2001–2015 гг. ($N_{cp}=221$), тогда как суммарная сейсмическая энергия в 2016 г. в 1.2 раза выше, а в 2017 г. – в 5.6 раза ниже среднего значения за указанный период.

На рис. 9 представлен график Бенъоффа, характеризующий ход сейсмического процесса в Сахалинском регионе в течение 2016–2017 гг. Стрелками показаны самые сильные землетрясения года, вызвавшие заметные «ступеньки» на графике.

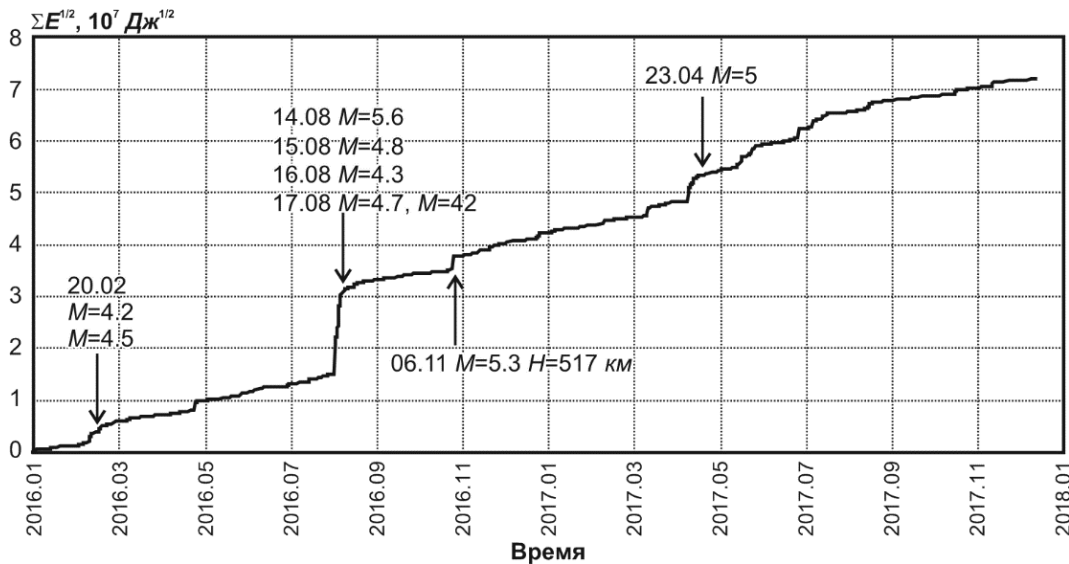


Рис. 9. График Бенъоффа для землетрясений Сахалина за 2016–2017 гг.

Первая «ступенька» соответствует рою землетрясений, начавшемуся 20 февраля 2016 г. в южной части Татарского пролива, западнее о. Монерон. Первое землетрясение роя зарегистрировано в 02^h51^m ($h=7$ км, $M^P=4.2$, $K_C=9.6$), самое сильное землетрясение (1 на рис. 7 а) произошло в этот же день в 10^h21^m ($h=10$ км, $M^P=4.5$, $K_C=10.2$). Магнитуда остальных землетрясений роя не превышала $M^P=4.0$. С 20 по 28 февраля 2016 г. в этом месте было зарегистрировано 27 землетрясений, в следующие месяцы рой постепенно затухал.

Вторая «ступенька» соответствует глубокофокусному землетрясению (2 на рис. 7 а), произошедшему 5 мая 2016 г. в 23^h04^m с $M^P=5.1$, $M_{SHA}=5.5$, $h=316$ км, эпицентр находился в заливе Анива.

Третья, самая крупная, «ступень» графика отражает Онорское землетрясение (5 на рис. 7 а) – сильнейшее в регионе в период 2016–2017 гг., произошедшее 14 августа в 11^h16^m с $M^P=5.6$, $K_C=12.8$, $h=10$ км, а также его сильнейшие афтершоки, зарегистрированные 14–17 августа [44].

Четвертая «ступень» соответствует глубокофокусному землетрясению (12 на рис. 7 а), произошедшему 6 ноября 2016 г. в 10^h35^m с $M^P=5.3$, $MSH=5.7$, $h=517$ км.

Пятая «ступень» отражает Крильонское землетрясение (16 на рис. 7 б), зарегистрированное 23 апреля 2017 г. в 06^h37^m на глубине $h=5$ км, $M^P=5.0$, $K_C=11.9$ [44].

Шестая «ступень» соответствует глубокофокусному землетрясению (18 на рис. 7 б), произошедшему 11 июля 2017 г. в 13^h35^m с $M^P=5.2$, $MSH=5.6$, $h=347$ км.

Функция распределения сейсмической энергии землетрясений региона Сахалин по данным каталогов за 1962–2017 гг. приведена в [39, 40], где уровень сейсмичности региона в 2016 и 2017 гг. по методике «СОУС’09» [41] отнесен к категории «фоновый средний».

В региональный каталог *Курило-Охотского региона* [29] включены параметры 3082 землетрясений с $M^P=2.4–6.9$: 1415 – за 2016 г., 1667 – за 2017 год. Гипоцентры 2444 землетрясений (79.4 %) локализованы в верхнем глубинном интервале с $h \leq 80$ км, 579 (18.8 %) – в промежуточном слое с $h=81–300$ км, 59 (1.9 %) – в нижнем интервале глубин $h > 300$ км. 1693 землетрясения (55 %) произошли в слое $31 \text{ км} \leq h \leq 60 \text{ км}$, 1291 (41.9 %) – в слое $31 \text{ км} \leq h \leq 50 \text{ км}$. Распределение всех землетрясений по глубине приведено на рис. 10.

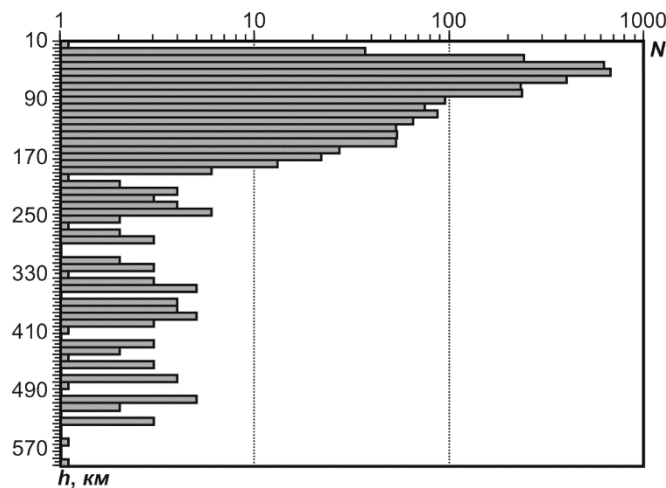


Рис. 10. Распределение землетрясений Курило-Охотского региона 2016–2017 гг. по глубине гипоцентра h , км

Для 42 землетрясений есть сведения о макросейсмическом эффекте [32] на Курильских островах, где интенсивность составила от 2 до 4–5 баллов по шкале MSK-64 [47]. Гипоцентры ощутимых землетрясений находились в глубинном диапазоне $h=34–136$ км, 28 из них зафиксированы на глубине не более 80 км.

По данным Японского Метеорологического Агентства [6, 7], в границах Курило-Охотского региона зафиксировано еще около 140 ощутимых землетрясений. Основная масса этих событий произошла на территории о. Хоккайдо и юга Курильских островов и ощущалась в населенных пунктах Японии с интенсивностью 2–6 балла по шкале MSK-64 [32].

В каталог механизмов очагов землетрясений [35] включены решения для 21 землетрясения, полученные с использованием двух методик (полярности первых вступлений и инверсии волновых форм (ИВФ) [13–16]).

На рис. 11 и 12 приведены эпицентры землетрясений Курило-Охотского региона в 2016 г. и 2017 г. соответственно. Как обычно, основная часть эпицентров располагается вдоль западного склона Курило-Камчатского глубокоководного желоба, глубина гипоцентров возрастает в северо-западном направлении.

Самое сильное землетрясение региона (3 на рис. 11) произошло 11 января 2016 г. в 17^h08^m на глубине $h=237$ км с $M^P=6.9$, $MLH=6.0$, $M_{\text{рег}}=6.3$. Его эпицентр находился в Японском море, возле западного побережья о. Хоккайдо. Макросейсмический эффект на территории Курильских островов отмечен не был. По данным [7 и 36] землетрясение ощущалось в Японии с интенсивностью 3–5 баллов по шкале MSK-64 [32].

Механизм очага, полученный методом инверсии волновых форм, классифицируется как сдвиговый с горизонтальным положением оси T , ориентированной на северо-восток, и осью P , падающей на юго-восток под углом $PL=43^\circ$; в альтернативном решении, полученном методом полярности первых вступлений, ось T сохраняет свое положение, а ось P разворачивается на северо-запад с углом погружения $PL=57^\circ$, таким образом, механизм очага меняется на сбросо-сдвиговый.

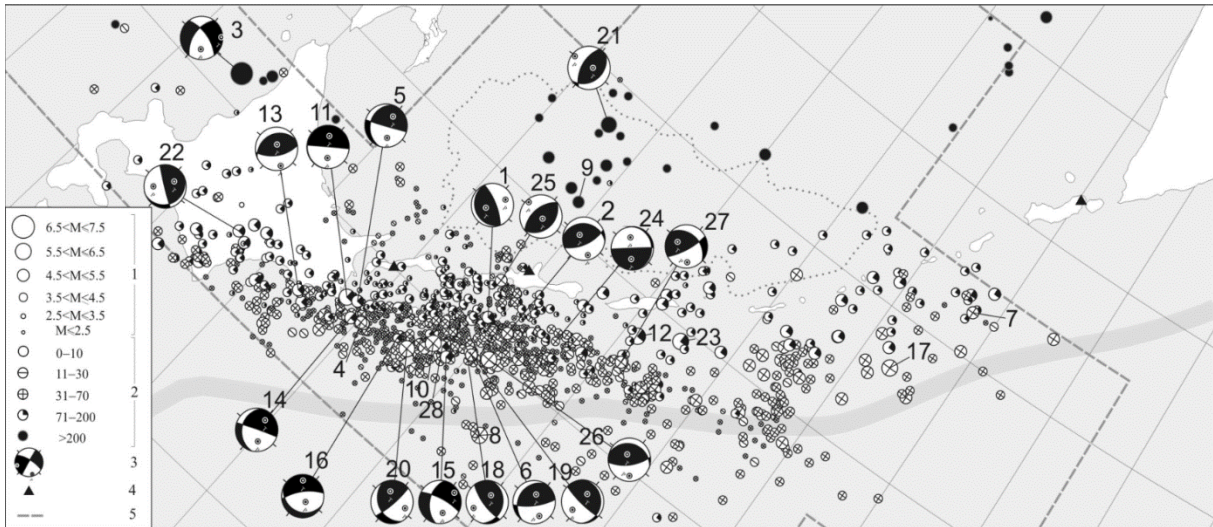


Рис. 11. Эпицентры и механизмы очагов землетрясений Курило-Охотского региона в 2016 г.

1 – магнитуда M^P ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – диаграмма механизма очага в проекции на нижнюю полусферу, зачернены области сжатия; 4 – сейсмическая станция; 5 – граница региона. Номера землетрясений соответствуют их номерам в каталоге.

Второе по силе землетрясение региона (21 на рис. 11) зарегистрировано 23 июля 2016 г. в 01^h00^m на глубине $h=410$ км с $M^P=6.3$, $M_{W_{per}}=5.8$. Его эпицентр находился в юго-западной части акватории Охотского моря. Макросейсмический эффект на территории Курильских островов не отмечен. Механизм очага взбросовый, очаг в условиях горизонтального субширотного сжатия.

В верхнем глубинном слое ($h \leq 80$ км) самые сильные землетрясения 2016 г. (10, 17, 20 на рис. 11) произошли: 21 марта в 00^h11^m ($h=62$ км, $M^P=5.8$, $K_C=12.8$), 31 мая в 10^h04^m ($h=53$ км, $M^P=5.9$, $K_C=12.8$, $MLH=5.9$), и 2 июля в 01^h47^m ($h=66$ км, $M^P=5.8$, $K_C=12.8$, $M_{W_{per}}=4.7$). Первое и третье землетрясения произошли в южной части Курильской гряды, они ощущались в населенных пунктах о. Кунашир и о. Шикотан с интенсивностью не более 3 и 3–4 баллов соответственно. Эпицентр землетрясения (17 на рис. 11) находился в районе Средних Курил, на флангах гряды макросейсмический эффект не отмечен. Для землетрясения (20 на рис. 11) определен механизм очага, классифицируемый как взрез вдоль субвертикальной ($DP=81^\circ$) плоскости $NP2$, ориентированной на север, либо как надвиг ($DP=32^\circ$) вдоль плоскости $NP1$ восток-юго-восточного простирания.

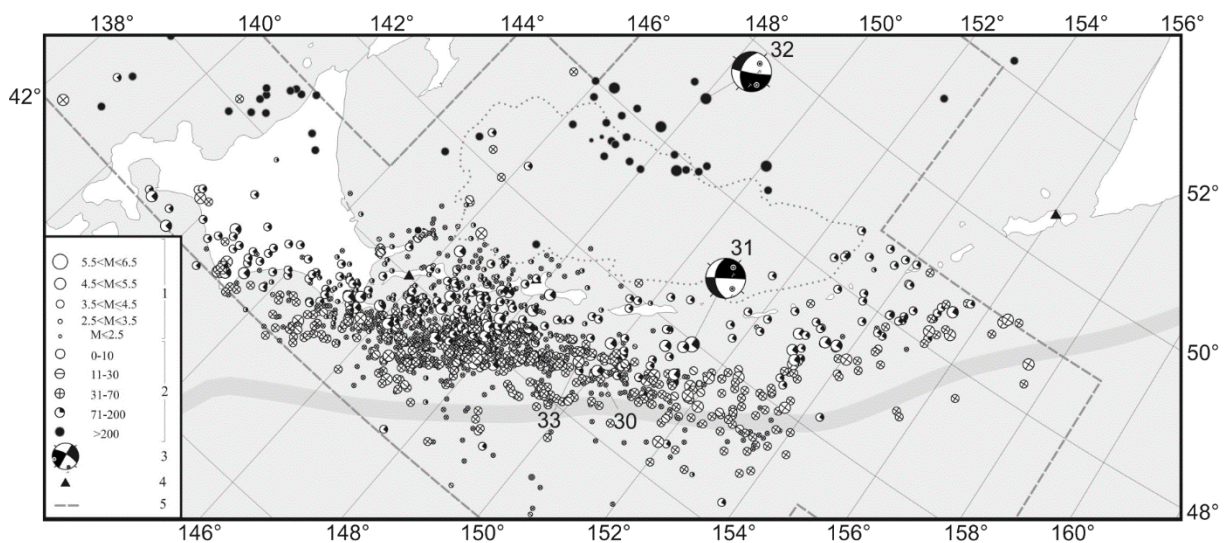


Рис. 12. Эпицентры и механизмы очагов землетрясений Курило-Охотского региона в 2017 г.

1 – магнитуда M^P ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – диаграмма механизма очага в проекции на нижнюю полусферу, зачернены области сжатия; 4 – сейсмическая станция; 5 – граница региона. Номера землетрясений соответствуют их номерам в каталоге.

Самое сильное землетрясение 2017 года (31 на рис. 12) произошло 30 июля в 21^h00^m на глубине $h=113$ км с $M^p=6.0$, $MLH=5.2$, $K_c=13.0$, $M_{w\text{per}}=5.5$. Эпицентр находился восточнее о. Уруп, макросейсмический эффект в с. Малокурильское (о. Шикотан) составил 3 балла. Механизм очага – взрез вдоль субвертикальной ($DP=88^\circ$) плоскости $NP2$ юго-западного простирания, или надвиг вдоль плоскости $NP1$ ($DP=42^\circ$) юго-восточного простирания.

На рис. 13 показано изменение ежегодного числа землетрясений региона с $M^p \geq 4.3$ и их суммарная сейсмическая энергии за 2001–2017 гг.

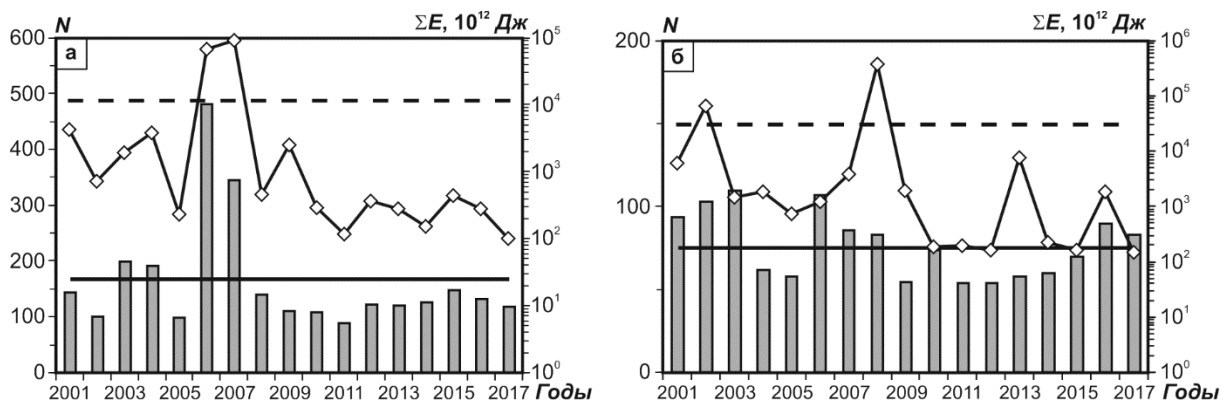


Рис. 13. Распределение числа землетрясений с $M^p \geq 4.3$ с $h \leq 80$ км (а) и $h > 80$ км (б), и величины суммарной сейсмической энергии ΣE Курило-Охотского региона за 2001–2017 гг.

Условные обозначения, как на рис. 8.

Всего в 2016 г. было зарегистрировано 1132 мелкофокусных ($h \leq 80$ км) землетрясения, из них $N=132$ с $M^p \geq 4.3$, что в 1.3 раза меньше среднего значения ($N_{\text{cp}}=168.9$) за 2001–2015 гг., а их суммарная сейсмическая энергия почти в 41 раз меньше среднего значения за указанный период (рис. 13 а).

В 2017 г. было зарегистрировано 1312 мелкофокусных землетрясений, из них $N=120$ с $M^p \geq 4.3$, что в 1.4 раза меньше среднего значения за 2001–2015 гг., а их суммарная сейсмическая энергия в 115 раз меньше среднего значения за указанный период (рис. 13 а).

Число землетрясений с гипоцентрами на глубине $h > 80$ км составило в 2016 г. $N=283$, из них $N=91$ с $M^p \geq 4.3$, что в 1.2 раза больше среднего значения ($N_{\text{cp}}=75.2$) за 2001–2015 гг., а их суммарная сейсмическая энергия в 16.9 раза меньше среднего значения за указанный период (рис. 13 б).

Число землетрясений с гипоцентрами на глубине $h > 80$ км в 2017 г. $N=355$, из них $N=83$ с $M^p \geq 4.3$, что в 1.1 раза больше среднего значения за 2001–2015 гг., а их суммарная сейсмическая энергия в 216 раз меньше среднего значения за указанный период (рис. 13 б).

На рис. 14 представлен график Бенъоффа, характеризующий ход сейсмического процесса в Курило-Охотском регионе в течение 2016–2017 гг. Примерно одинаковый наклон графика может свидетельствовать об отсутствии областей затишья или активизации перед сейсмическими событиями регионального масштаба, все происходящие землетрясения можно отнести к фоновой сейсмичности. Стрелками показаны самые сильные землетрясения года, вызвавшие «ступеньки» на графике.

Поскольку Курило-Охотский регион характеризуется высокой сейсмической активностью, ежегодно на его территории происходит более тысячи землетрясений, на графике Бенъоффа в виде «ступенек» выделяются землетрясения с магнитудой $M^p \geq 6$.

Первая «ступень» соответствует самому сильному землетрясению региона (3 на рис. 11), произошедшему в Японском море 11 января 2016 г. в 17^h08^m на глубине $h=237$ км с $M^p=6.9$, $MLH=6.0$, $M_{w\text{per}}=6.3$. О его механизме очага сказано выше.

Вторая «ступень» отражает два землетрясения (21 и 23 на рис. 11), произошедших с разницей в один день. Землетрясение (21) – глубокофокусное, второе по силе землетрясение региона, зарегистрированное 23 июля 2016 г. в 01^h00^m ($h=410$ км, $M^p=6.3$, $M_{w\text{per}}=5.8$) в юго-западной части акватории Охотского моря. Его механизм описан выше.

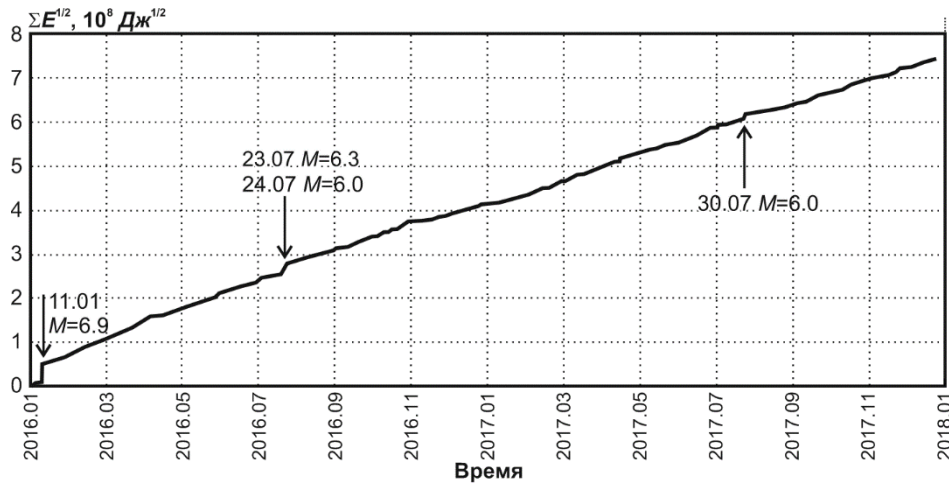


Рис. 14. График Беньюфа для землетрясений Курило-Охотского региона за 2016–2017 гг.

Землетрясение (23) произошло в промежуточном слое 24 июля 2016 г. в 17^h08^m на глубине $h=116$ км с $M^P=6.0$, $MSH=6.2$. Эпицентр находился восточнее о. Уруп, макросейсмический эффект не отмечен.

Третья «ступенька» соответствует самому сильному землетрясению 2017 г. (31 на рис. 12), которое произошло 30 июля в 21^h00^m на глубине $h=113$ км с $M^P=6.0$, $MLH=5.2$, $M_{W_{per}}=5.5$. Эпицентр находился восточнее о. Уруп, рядом с эпицентром (23). Об этом землетрясении сказано выше.

В целом, сейсмичность региона в 2016–2017 гг. можно считать умеренной, число мелкофокусных землетрясений с магнитудой $M^P \geq 4.3$ и их суммарная сейсмическая энергия не превышают средних величин за 15-летний период. Число землетрясений с $h > 80$ км в 2016 г. немного превышает среднее значение, при этом суммарная сейсмическая энергия остается ниже среднего.

Функция распределения сейсмической энергии Курило-Охотского региона по данным каталогов за 1962–2017 гг. приведена в [39, 40], где уровень сейсмичности региона в 2016 г. по методике «СОУС'09» [41] отнесен к категории «фоновый средний», в 2017 г. – «фоновый пониженный».

Заключение. Землетрясения Курило-Охотского региона в 2016–2017 гг., как и в предыдущие годы, происходили в пределах зоны субдукции Тихоокеанской и Охотоморской литосферных плит. Самые заметные события Курило-Охотского региона относятся к области межплитового взаимодействия, внутриплитовым событиям промежуточных глубин, а также, возможно, области изгиба в верхней части погружающейся Тихоокеанской плиты. В пределах Сахалинского региона основной вклад в сейсмическую энергию 2016–2017 гг. внесло Онорское коровое землетрясение 14 августа 2016 г., $M_{W_{per}}=5.6$ с афтершоками. В Приамурье и Приморье, наименее сейсмически активном регионе зоны ответственности Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН, 2016–2017 гг. выдались спокойными в отношении верхнекоровых землетрясений. Основной вклад в сейсмическую энергию внесло мантийное землетрясение 2 января 2016 г., $h=588$ км, $M_{W_{per}}=5.7$.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках темы НИР АААА-А20-120060890034-7 госзадания № 075-00576-21 ФИЦ ЕГС РАН с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Л и т е р а т у р а

1. Костылев Д.В. Сейсмические станции Приамурья и Приморья в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
2. Костылев Д.В. Стационарные сейсмические станции и сеть цунами Сахалина в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>

3. Михайлов В.И. Локальная сеть сейсмических станций Сахалина в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
4. Костылев Д.В. Стационарные сейсмические станции Курило-Охотского региона в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
5. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2016–2017. (2022) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2016
6. Japan Meteorological Agency. (2022). – URL: <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
7. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. National Earthquake Data Center. (2022). – URL: <http://data.earthquake.cn/index.html>
9. Дягилев Р.А. Программа расчета регистрационных возможностей сейсмических сетей и групп, SAgra / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662170 от 09.10.2020 г.
10. Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Макросейсмическое проявление землетрясений на территории южной части Дальнего Востока // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 45–64.
11. Поплавская Л.Н., Бобков А.О., Кузнецова В.Н., Нагорных Т.В., Рудик М.И. Принципы формирования и состав алгоритмического обеспечения регионального центра обработки сейсмологических наблюдений (на примере Дальнего Востока) // Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. Методические работы ЕССН. – М.: Наука, 1989. – С. 32–51.
12. Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Сейсмический режим сейсмогенных зон юга Дальнего Востока // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. VI. (Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона). – Южно-Сахалинск: ИМГиГ, 1997. – С. 179–197.
13. Сафонов Д.А., Коновалов А.В. Апробация вычислительной программы FOCMEC для определения фокальных механизмов землетрясений Курило-Охотского и Сахалинского регионов // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32, № 3. – С. 102–117.
14. 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.
15. Snoke J.A., Munsey J.W., Teague A.C., Bollinger G.A. A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data // Earthquake Notes. – 1984. – V. 55, N 3. – 15 p.
16. Sokos E., Zahradnik J. Evaluating Centroid Moment Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software // Seismological Research Letters. – 2013. – V. 84. – P. 656–665.
17. Соловьёв С.Л., Соловьёва О.Н. Скорость колебания земной поверхности в объемных волнах неглубокофокусных Курило-Камчатских землетрясений на расстояниях до 17° // Физика Земли. – 1967. – № 1. – С. 37–60.
18. Соловьёва О.Н., Соловьёв С.Л. Новые данные о динамике сейсмических волн неглубокофокусных Курило-Камчатских землетрясений // Проблемы цунами. – М.: Наука, 1968. – С. 75–97.
19. Гутенберг Б., Рихтер К.Ф. Магнитуда, интенсивность, энергия и ускорение как параметры землетрясений (II) // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 72–119.
20. Маловичко А.А., Петрова Н.В., Габсатарова И.П., Михайлова Р.С., Левина В.И., Старовойт О.Е., Курова А.Д. Сейсмичность Северной Евразии в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 10–30. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.01
21. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика. (Труды ИФЗ АН СССР; № 32 (199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
22. Соловьёв С.Л., Соловьёва О.Н. Соотношение между энергетическим классом и магнитудой Курильских землетрясений // Физика Земли. – 1967. – № 2. – С. 13–23.
23. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР / Отв. сост. Кондорская Н.В., Аранович З.И., Шебалин Н.В. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
24. Волкова Л.Ф., Поплавская Л.Н., Соловьёва О.Н. Шкалы *MPVA*, *MSHA* для определения магнитуд близких глубокофокусных землетрясений Дальнего Востока // Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. Методические работы ЕССН. – М.: Наука, 1989. – С. 81–85.
25. Ким Ч.У., Сен Р.С. Результаты сейсмических исследований в окрестности Южно-Сахалинска с использованием цифровой сейсмической станции DATAMARK // Очаги сильных землетрясений Дальнего Востока. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 163–175.

26. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
27. Коваленко Н.С. (отв. сост.); Авдеева Л.И. Каталог землетрясений и взрывов Приамурья и Приморья за 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
28. Кругова И.П. (отв. сост.); Сохатюк А.С., Децик И.В., Паршина И.А., Ферчева В.Н. Каталог землетрясений Сахалина за 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
29. Дорошкевич Е.Н. (отв. сост.); Пиневич М.В., Швидская С.В. Каталог землетрясений Курило-Охотского региона за 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
30. Фокина Т.А. (отв. сост.); Лукаш Н.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Приамурья и Приморья в населенных пунктах в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
31. Фокина Т.А. (отв. сост.); Лукаш Н.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Сахалина в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
32. Фокина Т.А. (отв. сост.); Лукаш Н.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Курило-Охотского региона в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
33. Сафонов Д.А. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Приамурья и Приморья за 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
34. Сафонов Н.А., Богинская Н.В. Каталог механизмов очагов землетрясений Сахалина за 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
35. Сафонов Н.А., Богинская Н.В. Каталог механизмов очагов землетрясений Курило-Охотского региона за 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
36. Search Earthquake Catalog // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
37. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics // USGS [Web Site]. – URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
38. Benioff H. Earthquakes and rock creep // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1951. – V. 41, N 1. – P. 31–62.
39. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.В., Воропаев В.П. Оценка уровня сейсмической активности регионов России // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ГС РАН, 2018. – С. 73–79.
40. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.В., Воропаев В.П. Оценка уровня сейсмической активности регионов России // Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ГС РАН, 2019. – С. 77–83.
41. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
42. Михайлов В.И. Юг о. Сахалин // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ГС РАН, 2018. – С. 96–98.
43. Михайлов В.И., Семёнова Е.П. Юг о. Сахалин // Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ГС РАН, 2019. – С. 104–107.
44. Сафонов Д.А., Семенова Е.П. Онорское землетрясение 14 августа 2016 г. с $M_w=5.8$ (о. Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 294–303. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.27. EDN: ITXNSF
45. Hisada T., Nakagawa K. Present Japanese Development in Engineering Seismology and their Application to Buildings. – Building Research Institute, Ministry of Construction, Japanese Government, 1958.
46. Сафонов Д.А., Семенова Е.П. Крильонское землетрясение 23 апреля 2017 г. с $M_w=5.1$, $I_0^p=5$ (о. Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 327–337. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.30. EDN: KWLVT
47. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.

**SEISMICITY of the AMUR AND PRIMORYE, SAKHALIN and
the KURIL-OKHOTSK REGION in 2016–2017**

T.A. Fokina¹, D.A. Safonov^{1,2}, D.V. Kostylev¹

¹Sakhalin branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk,
fokina@seismo.sakhalin.ru

²Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, d.safonov@imgg.ru

Abstract. A review of the Amur and Primorye, Sakhalin, and the Kuril-Okhotsk region seismicity for 2016–2017 is presented on the basis of data from the regional network of stationary seismic stations of the Sakhalin branch of the Geophysical Survey RAS with the involvement of data from adjacent seismological Russian and foreign agencies, as well as ten stations of the local network operating in the south Sakhalin. Parameters of 4561 seismic events have been determined, 114 of them are explosions. Focal mechanisms were calculated for 32 earthquakes. 88 earthquakes have shown a macroseismic effect. A map of the epicenters is presented, the distribution of the number N of crustal and deep-focus earthquakes by a magnitude, a total seismic energy ΣE for seismically active regions of three regions are given, in comparison with the average parameters N and ΣE for 2001–2015. For each region, an analysis of the parameters of the seismic regime in 2016–2017 is given in comparison with long-term averages, the maximum and significant seismic events are described. The seismicity of the Priamurye and Primorye, Sakhalin, and the Kuril-Okhotsk region in 2016–2017 can be characterized as a moderate one.

Key words: earthquake, seismicity, seismic station, magnitude, seismic energy.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.13 **EDN:** UCRNZJ

For citation: Fokina, T.A., Safonov, D.A., & Kostylev, D.V. (2022). [Seismicity of the Amur and Primorye, Sakhalin and the Kuril-Okhotsk region in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 146–163. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.13. EDN: UCRNZJ

R e f e r e n c e s

1. Kostylev, D.V. (2022). [Regional network of Priamurye and Primorye seismic stations in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
2. Kostylev, D.V. (2022). [Seismic stations of Sakhalin in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
3. Mikhaylov, V.I. (2022). [Seismic stations of local network of south Sakhalin in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
4. Kostylev, D.V. (2022). [Seismic stations of Kuril-Okhotsk region in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
5. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2016–2017. (2022). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2016
6. Japan Meteorological Agency. (2022). Retrieved from <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
7. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. National Earthquake Data Center. (2022). Retrieved from <http://data.earthquake.cn/index.html>
9. Dyagilev, R.A. (2020). [Program for calculating registration capabilities of seismic networks and groups, SArra]. Certificate of state registration of a computer program № 2020662170. (In Russ.).
10. Oskorbin, L.S., & Bobkov, A.O. (1997). [Macroseismic demonstration of earthquakes in the southern part of the Far East]. In *Geodinamika tektonosfery zony sochleneniya Tikhogo okeana s Evrazii. T. VI. (Problemy seysmicheskoy opasnosti Dal'nevostochnogo regiona)* [Geodynamics tektonosfer of a zone of a joint of the Pacific Ocean with Eurasia. V. VI. (Problems of seismic hazard of the Far East region)] (pp. 45–64). Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMGIG Publ. (In Russ.).
11. Poplavskaya, L.N., Bobkov, A.O., Kuznetsova, V.N., Nagornykh, T.V., & Rudik, M.I. (1989). [The principles of formation and structure of algorithmic providing the regional center of processing of seismological observations (on the example of the Far East)]. In *Seysmologicheskiye nablyudeniya na Dal'nem Vostoke USSR. Metodicheskiye raboty ESSN* [Seismological observations in the Far East of the USSR. Methodical works of ESSN] (pp. 32–51). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).

12. Oskorbin, L.S., & Bobkov, A.O. (1997). [Seismic mode of seismogene zones of the South of the Far East]. In *Geodinamika tektonosfery zony sochleneniya Tikhogo okeana s Evrazii. T. VI. (Problemy seismicheskoy opasnosti Dal'nevostochnogo regiona)* [Geodynamics tektonosfer of a zone of a joint of the Pacific Ocean with Eurasia. T. VI. (Problems of seismic hazard of the Far East region)] (pp. 179–197). Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMGIG Publ. (In Russ.).
13. Safonov, D.A., & Konovalov, A.V. (2013). [Testing the FOCMEC computing program to determine the focal mechanisms of earthquakes in the Kuril-Okhotsk and Sakhalin regions]. *Tihookeanskaya geologiya*, 32(3), 102–117. (In Russ.).
14. Safonov, D.A., & Konovalov, A.V. (2017). [Moment tensor inversion in the Kuril-Okhotsk and Sakhalin Regions using ISOLA software]. *Tihookeanskaya geologiya*, 36(3), 102–112. (In Russ.).
15. Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.C., & Bollinger, G.A. (1984). A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data. *Earthquake Notes*, 55(3), 15.
16. Sokos, E., & Zahradnik, J. (2013). Evaluating Centroid Moment Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software. *Seismological Research Letters*, 84, 656–665.
17. Solov'yov, S.L., & Solov'yova, O.N. (1967). [Earth surface oscillation velocity in body waves of shallow focus Kuril-Kamchatka earthquakes at distances up to 17°]. *Fizika Zemli [Izvestiya. Physics of the Solid Earth]*, 1, 37–60. (In Russ.).
18. Solov'yova, O.N., & Solov'yov, S.L. (1968). [New data on the dynamics of seismic waves of shallow focus Kuril-Kamchatka earthquakes]. In *Problemy cunami [Tsunami problems]* (pp. 75–97). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
19. Gutenberg, B., & Richter, K.F. (1961). [Magnitude, intensity, energy and acceleration as parameters of earthquakes (II)]. In *Slabye zemletriaseniia [Weak earthquakes]* (pp. 72–119). Moscow, Russia: IL Publ. (In Russ.).
20. Malovichko, A.A., Petrova, N.V., Gabsatarova, I.P., Mikhailova, R.S., Levina, V.I., Starovoit, O.E., & Kurova, A.D. (2021). [Seismicity of Northern Eurasia in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii [Earthquakes in Northern Eurasia]*, 24(2015), 10–30. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.01
21. Rautian, T.G. (1964). [On determining the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspirimental'naiia seismika. Trudy IFZ AN SSSR № 32 (199) [Experimental seismic]* (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
22. Solov'yov, S.L., & Solov'yova, O.N. (1967). [Relationship between the energy class and the magnitude of the Kuril earthquakes]. *Fizika Zemli [Izvestiya. Physics of the Solid Earth]*, 2, 13–23. (In Russ.).
23. *Instruktsiia o poriadke proizvodstva i obrabotki nabliudeniia na seismicheskikh stantsiiakh Edinoi sistemy seismicheskikh nabliudeniia SSSR [Instructions on the procedure for the production and processing of observations at seismic stations of the Unified Seismic Observation System of the USSR]*. (1982). Moscow, Russia: Nauka Publ., 273 p. (In Russ.).
24. Volkova, L.F., Poplavskaya, L.N., & Solov'yova, O.N. (1989). [MPVA, MSHA scales for determining magnitudes of nearby deep focus earthquakes in the Far East]. In *Seismologicheskie nablyudeniia na Dal'nem Vostoke SSSR. Metodicheskie raboty ESSN [Seismological observations in the Far East of the USSR. Methodological work of ECHS]* (pp. 81–85). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
25. Kim, Ch.U., & Sen, R.S. (1997). [Results of seismic studies in the vicinity of Yuzhno-Sakhalinsk using a digital seismic station DATAMARK]. In *Ochagi sil'nykh zemletryasenij Dal'nego Vostoka [The centers of strong earthquakes in the Far East]* (pp. 163–175). Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMGIG Publ. (In Russ.).
26. Rautian, T.G. (1960). [Energy of earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniia seismichnosti (Trudy IFZ AN SSSR, № 9 (176)) [Methods of Detail Study of Seismicity]* (pp. 75–114). Moscow, Russia: Inst. Fiz. Zemli Akad. Nauk SSSR Publ. (In Russ.).
27. Kovalenko, N.S., & Avdeeva, L.I. (2022). [Catalog of earthquakes and explosions of Priamurye and Primorye in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii [Earthquakes in Northern Eurasia]*, 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
28. Krugova, I.P., Sohatyuk, A.S., Decik, I.V., Parshina, I.A., & Fercheva, V.N. (2022). [Catalog of earthquakes of Sakhalin in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii [Earthquakes in Northern Eurasia]*, 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
29. Doroshkevich, E.N., Pinevich, M.V., & Shvidskaya, S.V. (2022). [Catalog of earthquakes of Kuril-Okhotsk Region in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii [Earthquakes in Northern Eurasia]*, 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).

30. Fokina, T.A. (2022). [Macroseismic effect of felt earthquakes in the settlements of Priamurye and Primorye in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gstras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
31. Fokina, T.A., & Lukash, N.A. (2022). [Macroseismic effect of felt earthquakes in the settlements of Sakhalin in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gstras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
32. Fokina, T.A., & Lukash, N.A. (2022). [Macroseismic effect of felt earthquakes in the settlements of Kuril-Okhotsk Region in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gstras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
33. Safonov, D.A. (2022). [Catalog of focal mechanisms of the Priamurye and Primorye in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gstras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
34. Safonov, D.A., & Boginskaya, N.V. (2022). [Catalog of focal mechanisms of the Sakhalin earthquakes in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gstras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
35. Safonov D.A., & Boginskaya, N.V. (2022). [Catalog of focal mechanisms of the Kuril-Okhotsk Region earthquakes in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gstras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
36. USGS. (2022). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
37. The Modified Mercalli Intensity Scale. USGS National Earthquake Information Centre. (2022). Retrieved from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
38. Benioff, H. (1951). Earthquakes and rock creep. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 41(1), 31–62.
39. Saltykov, V.A., Kravchenko, N.M., Poygina, S.G., & Voropaev, V.P. (2018). [Estimation of the level of seismic activity in Russian regions]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2016 godu* [Earthquakes in Russia, 2016] (pp. 73–79). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
40. Saltykov, V.A., Kravchenko, N.M., Poygina, S.G., & Voropaev, V.P. (2019). [Estimation of the level of seismic activity in Russian regions]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2017 godu* [Earthquakes in Russia, 2017] (pp. 77–83). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
41. Saltykov, V.A. (2011). [Statistical estimation of the level of seismic: methodology and application results on the example of Kamchatka]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and seismology], 2, 53–59. (In Russ.).
42. Mikhaylov, V.I. (2018). [South of Sakhalin]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2016 godu* [Earthquakes in Russia, 2016] (pp. 96–98). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
43. Mikhaylov, V.I., & Semenova, E.P. (2019). [South of Sakhalin]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2017 godu* [Earthquakes in Russia, 2017] (pp. 104–107). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
44. Safonov, D.A., & Semenova, E.P. (2022). [The Onor earthquake on August 14, 2016, $M_w=5$ (Sakhalin Island)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 294–303. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.27. EDN: ITXNSF
45. Hisada, T., & Nakagawa, K. (1958). Present Japanese Development in Engineering Seismology and their Application to Buildings. *Building Research Institute, Ministry of Construction, Japanese Government*.
46. Semenova, E.P., & Safonov, D.A. (2022). [Krillon earthquake on April 23, 2017, $M_w=5.1$ (Sakhalin Island)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 327–337. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.30. EDN: KWLVSF
47. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).