

**СЕЙСМИЧНОСТЬ ПРИАМУРЬЯ и ПРИМОРЬЯ, САХАЛИНА
и КУРИЛО-ОХОТСКОГО РЕГИОНА в 2015 г.**

Т.А. Фокина¹, Д.А. Сафонов^{1,2}, Д.В. Костылев¹, В.И. Михайлов¹

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 2015 г. 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 Сахалинского филиала 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 1643 сейсмических событий, 130 из них – взрывы. Для 62 землетрясений рассчитаны механизмы очагов. 48 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 2001–2014 гг. Для каждого региона дан анализ параметров сейсмического режима в 2015 г. в сравнении с долговременными средними значениями, описаны максимальные и ощутимые сейсмические события. Сейсмичность Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2015 г. можно охарактеризовать как умеренную.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмичность, сейсмические станции, магнитуда, сейсмическая энергия.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.13

Для цитирования: Фокина Т.А., Сафонов Д.А., Костылев Д.В., Михайлов В.И. Сейсмичность Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2015 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 139–152. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.13

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 десяти автономных полевых), расположенных на Сахалине, Курильских островах, в Приамурье и Приморье. Из 34 стационарных наблюдательных пунктов 18 – с обслуживающим персоналом и 16 – автоматических, с передачей данных в режиме, близком к реальному времени, на серверы сбора опорных станций.

В Приамурье и Приморье расположено 11 сейсмических станций. В начале года на четырех из них: «Бомнак» (BMKR), «Кировский» (KROS), «Октябрьский» (OCTB), «Экимчан» (EKMR) сохранялась аналоговая регистрация землетрясений. 30 сентября 2015 г. СФ ФИЦ ЕГС РАН полностью перешел на цифровую регистрацию, были остановлены и демонтированы последние регистраторы с аналоговой формой записи. Предварительно на этих станциях были установлены современные цифровые регистраторы с передачей данных в реальном режиме времени на серверы сбора и обработки сейсмостанций «Зея» (ZEA) и «Южно-Сахалинск» (YSS): на станциях BMKR, KROS, OCTB – акселерометры Guralp CMG-5TDE, на станции EKMR – регистрирующий комплекс Datamark в составе сейсмометров STS-2, L4C3D и регистратора LS7000XT. На территории региона продолжали работать семь цифровых сейсмических станций: «Горный» (GRNR), «Зея» (ZEA), «Терней» (TEY), «Хабаровск» (KHBR), «Горнотаежное» (GRTR), «Охотск» (OKHT), «Николаевск на Амуре» (NKL). Данные о станциях и параметры аппаратуры приведены в Приложении [1].

Региональная сейсмическая сеть Сахалина состояла из 14 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), семи выносных пунктов станции «Южно-Сахалинск», оснащенных акселерометрами CMG-5T и предназначенных для регистрации сильных, в том числе цунамигенных, землетрясений, а также временной станции «Александровск-Сахалинский» (ALKS), открытой в 2014 г. и закрытой 5 сентября 2015 г. после пожара. 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 2015 г. состояла из десяти станций: «Северо-Курильск» (SKR), «Курильск» (KUR), «Южно-Курильск» (YUK), «Малокурильское» (SHO), Рейдово (РЕЙД), двух выносных пунктов станции «Северо-Курильск»: «Плато» и «Шумшу», и трех выносных пунктов станции «Южно-Курильск»: «Головнино» (GLVR), «Лагунное» (LAGR), «Туман» (GRPR). 11 июня 2015 г. в связи с выходом из строя сейсмометра, неустойчивостью связи и отсутствием бесперебойного обеспечения электроэнергией на о. Кунашир закрыт выносной пункт «Лагунное». 29 июня открыт пункт наблюдения «Рейдово» на о. Итуруп. Сведения о станциях и регистрирующей аппаратуре приведены в Приложении [4].

К определению параметров землетрясений привлекались данные сейсмических станций ИТИГ ДВО РАН: «Чегдомын» (CHMR), «Ванино» (VNNR); станций ФИЦ ЕГС РАН: «Кульдур» (KLR), «Мыс Шульца» (MSHR); станционные бюллетени Прибайкалья, Якутии; Сейсмологический бюллетень ФИЦ ЕГС РАН [5], Japan Meteorological Agency (JMA) [6], ISC [7], NEDC [8].

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.

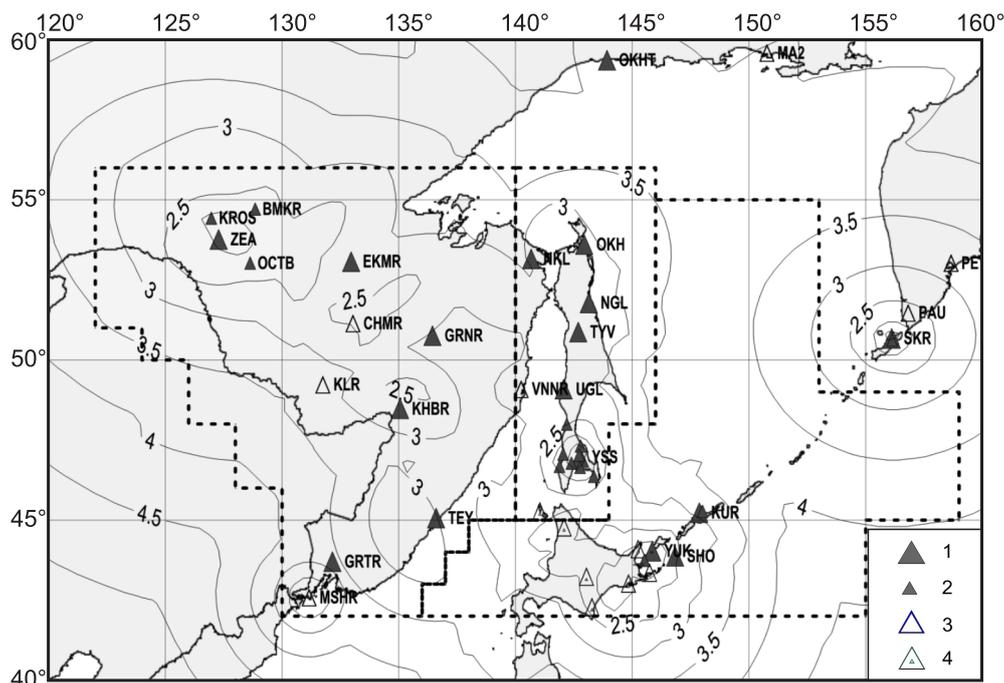


Рис. 1. Карта магнитудной представительности землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН на конец 2015 г.

1 – широкополосная сейсмическая станция СФ ФИЦ ЕГС РАН, оснащенная велосиметром; 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 на 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 частях 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 $M^P \geq 4.0$.

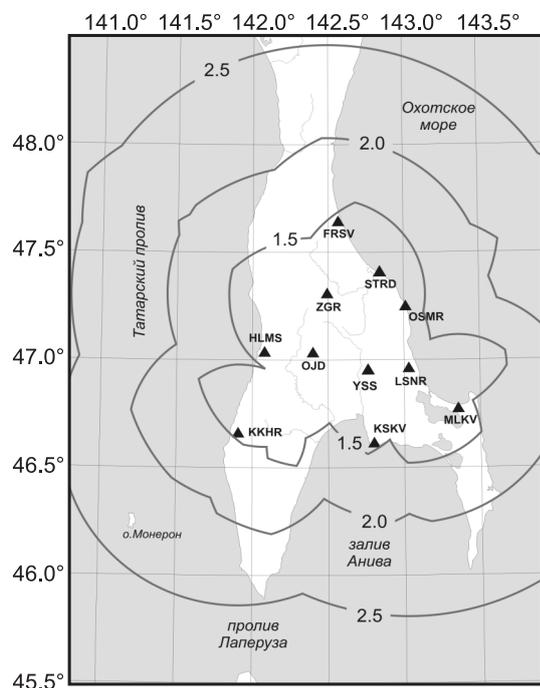


Рис. 2. Карта магнитудной представительности M^P землетрясений юга Сахалина

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

Конфигурация локальной сети на юге о. Сахалин и обеспечиваемая ею карта магнитудной представительности землетрясений приведены на рис. 2. Методика обработки сейсмологических данных описана в [11–19]. Границы регионов [20] не изменились. 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]:

$$M^P = (K_p - 4) / 1.8 \quad (1)$$

Для единой магнитудной классификации землетрясений используются расчетные магнитуды M^P . 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, установленных С.Л. Соловьёвым и О.Н. Соловьёвой [18, 22], расположенных 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]:

$$E = 10^{K_p} \quad (1)$$

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

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

Каталоги механизмов очагов землетрясений определялись двумя методами: по знакам первых вступлений объемных волн по программе Гостес [18]; методом инверсии волновых форм, программа ISOLA [19].

Сейсмичность зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН. В каталоги землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН за 2015 г. внесены параметры 1643 землетрясений [27–29], карта их эпицентров приведена на рис. 3.

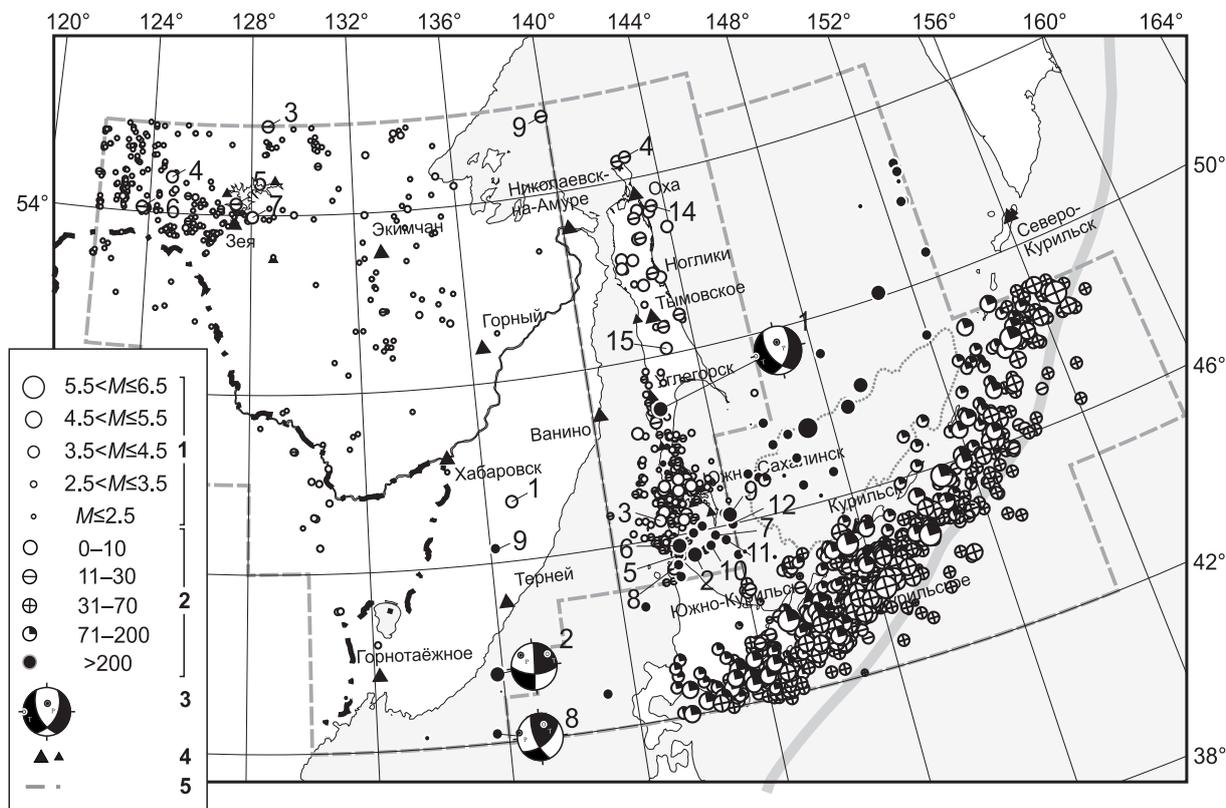


Рис. 3. Эпицентры землетрясений Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2015 г.

1 – магнитуа 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 48 землетрясений: три – в Приамурье (максимальная интенсивность $I_{max}=3$ балла), 24 – на Сахалине ($I_{max}=4$ балла), 21 – на Курильских островах ($I_{max}=5-6$ баллов) [30–32].

(Прим. ред.) По данным международных агентств, на территории зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН зафиксировано еще 83 землетрясения, которые ощущались на островах Японии с интенсивностью $I=I-IV$ по шкале JMA [31–33].

Для 62 землетрясений определены механизмы очагов [34–36].

Приамурье и Приморье. В региональный каталог [27] включены основные параметры 411 сейсмических событий, из которых 14 произошли за пределами региона и в обзоре не анализируются. Из 397 событий с эпицентрами на территории Приамурья и Приморья, 290 землетрясений – с очагами в земной коре, шесть – глубокофокусных, 101 событие отнесено к категории «возможно взрыв». Для трех землетрясений имеются макросейсмические данные [30], для двух определены механизмы очагов [34].

Сейсмичность региона представлена, в основном, коровыми ($h=4-24$ км), слабыми и умеренными ($K_p=5.6-11.7$, $M^P=0.9-4.3$) землетрясениями. Наибольшее число эпицентров землетрясений располагается в северо-западной части региона, там же находится большая часть эпицентров взрывов.

Самое сильное коровое землетрясение региона (5 на рис. 3) произошло вблизи глубоководной части Зейского водохранилища 16 апреля в 23^h31^m UTC¹ на глубине $h=12$ км с $K_p=11.7$, эпицентр находился в 55 км к северу от г. Зeya, где интенсивность макросейсмических проявлений составила 2 балла.

В Приамурье отмечено еще два ощутимых землетрясения: первое (6) произошло 9 июля в 01^h12^m на глубине $h=12$ км с $K_p=11.2$ в очаговой зоне Сквородинского землетрясения 2011 г. и ощущалось в пос. Тахтамыгда (8 км) и г. Сквородино (21 км) с интенсивностью в 3 балла, в г. Тында (132 км) – 2 балла. Землетрясение (7) произошло 24 июля в 06^h25^m на глубине $h=9$ км с $K_p=11.1$ в 54 км восточнее г. Зeya (54 км), где интенсивность составила 2–3 балла.

Глубокофокусная сейсмичность Приамурья и Приморья представлена шестью землетрясениями с очагами в зоне субдукции Тихоокеанской плиты, на глубине $h=354–562$ км, с эпицентрами в юго-восточной части региона: два – на территории Приморья, четыре – в акватории Японского моря. Их расчетные магнитуды находятся в интервале $M^p=2.8–4.7$, макросейсмический эффект не отмечен. Для двух землетрясений (2 и 8) определены механизмы очагов.

На рис. 4 показано изменение ежегодного числа коровых землетрясений региона и их суммарная сейсмическая энергия ΣE за период 2000–2015 гг.

В 2015 г. зарегистрировано $N=103$ коровых землетрясения с $K_p \geq 7.6$, что в 1.8 раза ниже среднего значения за период 2001–2014 гг. ($N_{cp}=181$), суммарная сейсмическая энергия почти в 128 раз ниже среднего значения за указанный период.

Ход сейсмического процесса в регионе в 2015 г. характеризует график Беньофа [37] на рис. 5. Энергия землетрясений оценивалась 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 года, вызвавшие «ступеньки» на графике.

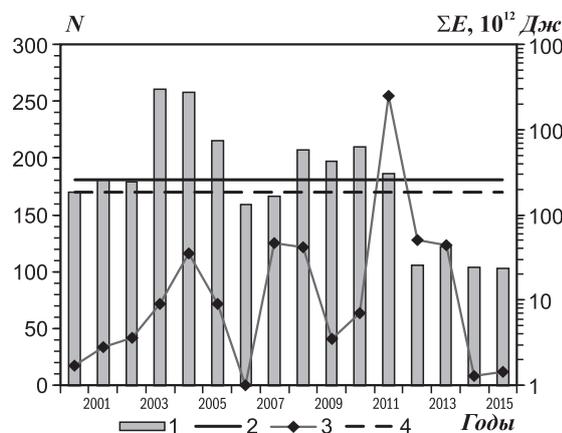


Рис. 4. Изменение ежегодного числа N землетрясений с $K_p \geq 7.6$ и суммарной сейсмической энергии ΣE коровых землетрясений Приамурья и Приморья за период 2001–2015 гг.

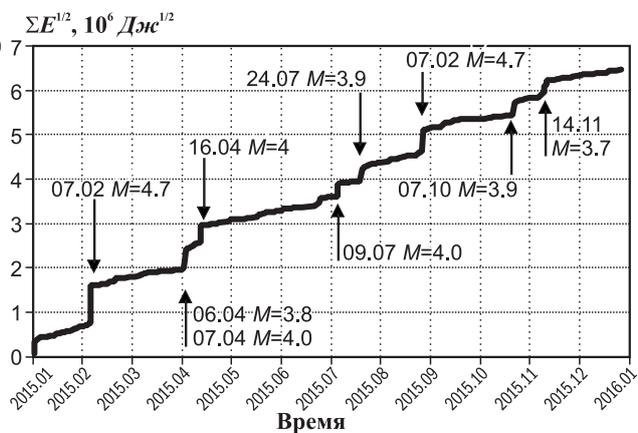


Рис. 5. График Беньофа для региона Приморья и Приморья за 2015 г.

1 – N ; 2 – среднегодовое число N_{cp} землетрясений с $K_p \geq 7.6$ за 2001–2014 гг.; 3 – ΣE ; 4 – среднегодовое значение суммарной сейсмической энергии ΣE_{cp} за 2001–2014 гг.

Поскольку в Приамурье и Приморье регистрируются, в основном, слабые сейсмические события, на графике четко выделяются все землетрясения с $M^p \geq 3.7$ ($K_p \geq 10.7$). Наиболее крупная «ступень» соответствует глубокофокусному (2 на рис. 3) землетрясению, произошедшему 7 фев-

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

раля в 16^h40^m UTC с $M^P=4.7$, $MSH=5.2$, $h=354$ км. Механизм его очага сдвигового типа с вертикальной плоскостью $NP1$ северного ($STK=5^\circ$, $DP=88^\circ$) простирания и наклонной на юг плоскостью $NP2$ западного ($STK=96^\circ$, $DP=61^\circ$) простирания.

Вторая «ступень» отражает два близких по времени коровых землетрясения (3 и 4), зарегистрированных 6 и 7 апреля с $K_p=10.9$ и $K_p=11.2$ соответственно. Эпицентр первого землетрясения находился на северной границе региона, второго – в его северо-западной части.

Третья «ступень» соответствует самому сильному коровому землетрясению региона (5), о котором сказано выше.

Четвертая и пятая «ступени» – два ощутимых землетрясения (6 и 7), о которых также написано выше.

Шестая «ступень» соответствует глубокому землетрясению (8) с эпицентром на юге региона, в акватории Японского моря, 31 августа в 01^h53^m UTC с $M^P=4.3$, $MSHA=4.9$, $h=367$ км. Механизм очага – взбросо-сдвиг с нодальными плоскостями юго-юго-восточного $NP1$ ($STK=161^\circ$) и северо-восточного $NP2$ ($STK=56^\circ$) простирания.

Предпоследняя «ступень» соответствует коровому землетрясению (9), произошедшему 27 октября в 03^h25^m с $M^P=4.1$, $K_p=11.3$ на границе с регионом Сахалина, к северу от г. Николаевска-на-Амуре.

Последняя «ступень» – глубокофокусное землетрясение с эпицентром в Приморье, севернее пос. Терней, произошедшее 14 ноября в 14^h34^m UTC с $M^P=3.7$, $MSH=4.5$, $h=437$ км.

В целом, в Приамурье и Приморье в 2015 г. наблюдался один из самых низких за последние 16 лет (2000–2015 гг.) уровень коровой сейсмической активности. Глубокофокусная сейсмичность также была невысока. Функция распределения сейсмической энергии Приамурья и Приморья по данным каталогов за 1962–2015 гг. приведена в [38], где уровень сейсмичности региона в 2015 г. по методике «СОУС'09» [39] отнесен к категории «фоновый средний».

Сахалин. В 2015 г. в региональный каталог Сахалина [28] включены параметры 399 сейсмических событий, 24 из них – взрывы. Для 24 землетрясений имеются макросейсмические данные [31], для одного определен механизм очага двумя способами [35]. Карта эпицентров всех сейсмических событий приведена на рис. 3.

Обзор сейсмичности юга Сахалина по данным локальной сети приведен в [40].

Сейсмичность региона представлена, в основном, коровыми землетрясениями с эпицентрами на о. Сахалин и его шельфе и несколькими глубокофокусными землетрясениями, происходящими в зоне субдукции Тихоокеанской плиты.

Глубокофокусная сейсмичность Сахалина в 2015 г. представлена 18 землетрясениями. Первое произошло 10 января в 01^h37^m UTC ($h=484$ км, $M^P=2.3$, $MPVA=4.0$), его эпицентр находился на Охотоморском шельфе, в юго-восточной части региона. Второе землетрясение, самое глубокое в регионе в 2015 г., зарегистрировано 14 января в 12^h09^m UTC ($h=597$ км, $M^P=5.1$, $MSH=5.8$), эпицентр (1 на рис. 3) располагался в средней части о. Сахалин, южнее г. Углегорска. Остальные 16 глубокофокусных землетрясений региона зарегистрированы в акватории залива Анива и южной части залива Терпения. Их гипоцентры расположены на глубине 257–349 км, расчетные магнитуды $M^P=3.1–5.5$. Макросейсмический эффект на территории России ни одно глубокофокусное землетрясение не проявило, однако есть информация [41], что самое сильное из них ощущалось в Японии с интенсивностью $I=III$ по шкале MMI [42].

Мелкофокусная сейсмичность Сахалина представлена 357 коровыми землетрясениями с глубиной гипоцентра 2–21 км и 24 событиями с глубиной $h=0$ км, идентифицированными как «возможно взрыв», которые при анализе сейсмичности не учитывались. Из 357 землетрясений 150 – с магнитудой $M \geq 3$, что в 1.4 раза ниже среднего значения за период 2001–2014 гг. ($N_{cp}=209.2$), тогда как суммарная сейсмическая энергия в 13 раз ниже среднего значения за указанный период.

На рис. 6 показаны изменение ежегодного числа мелкофокусных землетрясений региона и их суммарная сейсмическая энергия за период 2001–2015 гг.

На рис. 7 представлен график Бенъофа, характеризующий ход сейсмического процесса в Сахалинском регионе в течение 2015 года. 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 года, вызвавшие «ступеньки» на графике.

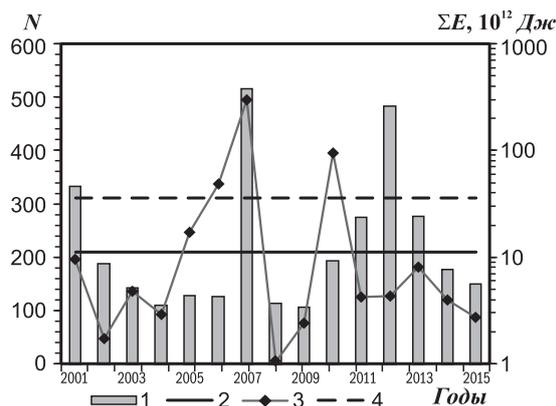


Рис. 6. Изменение ежегодного числа N землетрясений с $M \geq 3.0$ и суммарной сейсмической энергии ΣE мелкофокусных землетрясений Сахалина за период 2001–2015 гг.

1 – N ; 2 – среднегодовое число $N_{\text{ср}}$ землетрясений с $M \geq 3.0$ за 2001–2014 гг.; 3 – ΣE ; 4 – среднегодовое значение суммарной сейсмической энергии $\Sigma E_{\text{ср}}$ за 2001–2014 гг.

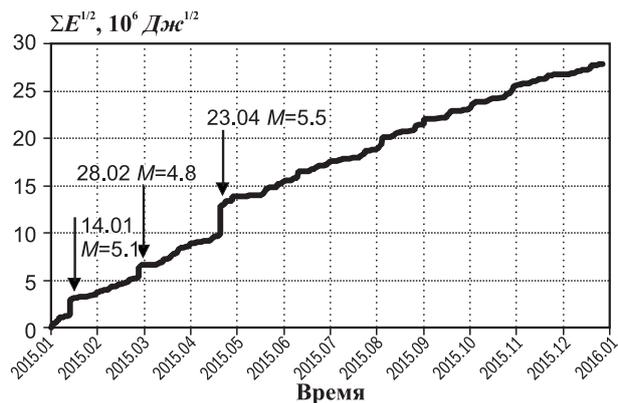


Рис. 7. График Беньофа для землетрясений Сахалина за 2015 г.

Первая «ступенька» соответствует самому глубокому в регионе землетрясению (1), зарегистрированному 14 января в 12^h09^m UTC ($h=597$ км, $M^p=5.1$, $MSH=5.8$), его механизм очага относительно поверхности классифицируется как сброс в условиях горизонтального широтного растяжения с небольшой сдвиговой компонентой подвижки.

Второе землетрясение (2), отраженное незначительной ступенью на графике Беньофа, произошло на юге региона 28 февраля в 23^h40^m UTC с $M^p=4.8$, $MSHA=5.3$, $h=311$ км, эпицентр располагался в акватории Охотского моря, к востоку от северной оконечности о. Хоккайдо.

Третья, наиболее крупная «ступень» соответствует сильнейшему землетрясению региона (6), происшедшему так же на юге региона 23 апреля в 14^h31^m UTC с $M^p=5.5$, $MSH=5.8$, $h=320$ км, его эпицентр находился в проливе Лаперуза.

Ни одно мелкофокусное землетрясение Сахалина 2015 г. не отражено на графике Беньофа заметной «ступенькой». Два самых сильных коровых землетрясения (3 и 14) имели $M^p=4.4$, еще два (4 и 15) – $M^p=4.3$.

Макросейсмический эффект на территории региона проявило 21 землетрясение: пять – на севере Сахалина, два – в центральной его части, 14 – на юге. Максимальная интенсивность составила $I_{\text{max}}=4$ балла, она наблюдалась один раз в г. Холмске ($\Delta=9$ км) при землетрясении с $M^p=5.5$, произошедшем 6 января в 23^h37^m UTC в южной части острова. Интенсивность сотрясений от землетрясений, произошедших на севере и в средней части острова, не превышала 2–3 баллов [31].

Функция распределения сейсмической энергии землетрясений региона Сахалин по данным каталогов за 1962–2015 гг. приведена в [38], где уровень сейсмичности региона в 2015 г. по методике «СОУС’09» [39] отнесен к категории «фоновый средний».

Курило-Охотский регион. В региональный каталог [29] включены параметры 833 землетрясений с $M^p=2.7$ –6.3. Гипоцентры 656 землетрясений (78.8 %) локализованы в верхнем глубинном интервале с $h \leq 80$ км, 157 (18.8 %) – в промежуточном слое с $h=81$ –300 км, 20 (2.4 %) – в нижнем интервале глубин $h > 300$ км. 446 землетрясений (53.5 %) произошли в слое $31 \text{ км} \leq h \leq 60 \text{ км}$, 188 (22.6 %) – $31 \text{ км} \leq h \leq 40 \text{ км}$. Распределение всех землетрясений по глубине приведено на рис. 8.

Для 21 землетрясения получены сведения об их макросейсмическом эффекте [32] на Курильских островах, интенсивность составила от 2 до 5–6 баллов по шкале MSK-64 [43]. Для 95 землетрясений есть сведения об интенсивности на территории Японских островов [41], максимальное значение которой $I=IV$ балла по шкале MMI [42]. Гипоцентры ощутимых землетрясений находились в глубинном диапазоне $h=15$ –471 км, 71 из них зафиксирован на глубине менее 80 км.

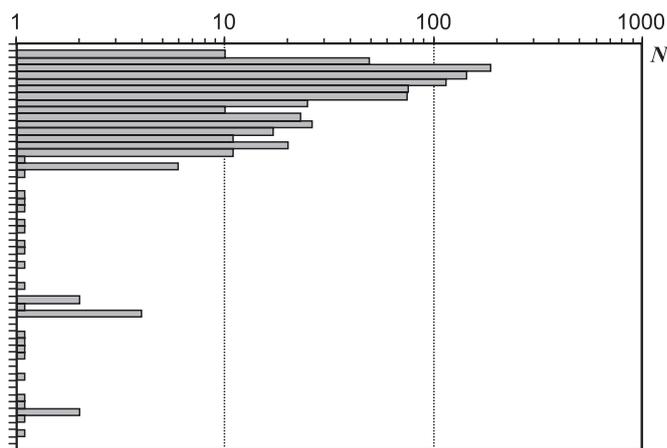


Рис. 8. Распределение землетрясений Курило-Охотского региона 2015 г. по глубине гипоцентра h , км

поскольку его механизм очага определить не удалось. Как обычно, основная часть эпицентров располагается вдоль западного склона Курило-Камчатского глубоководного желоба, глубина гипоцентров возрастает в северо-западном направлении.

Всего с использованием двух методик (полярности первых вступлений и инверсии волновых форм (ИВФ) [13–16]) получены решения механизмов очагов 59 землетрясений региона [40] (для одного события получено два решения независимо обеими методиками, в этих случаях учитывается решение по методу инверсии волновых форм).

На рис. 3 приведены эпицентры всех зарегистрированных землетрясений Курило-Охотского региона 2015 г., а на рис. 9 – эпицентры и механизмы очагов сильнейших землетрясений региона кроме землетрясения (37) с $MLH=5.5$, для которого показан только эпицентр,

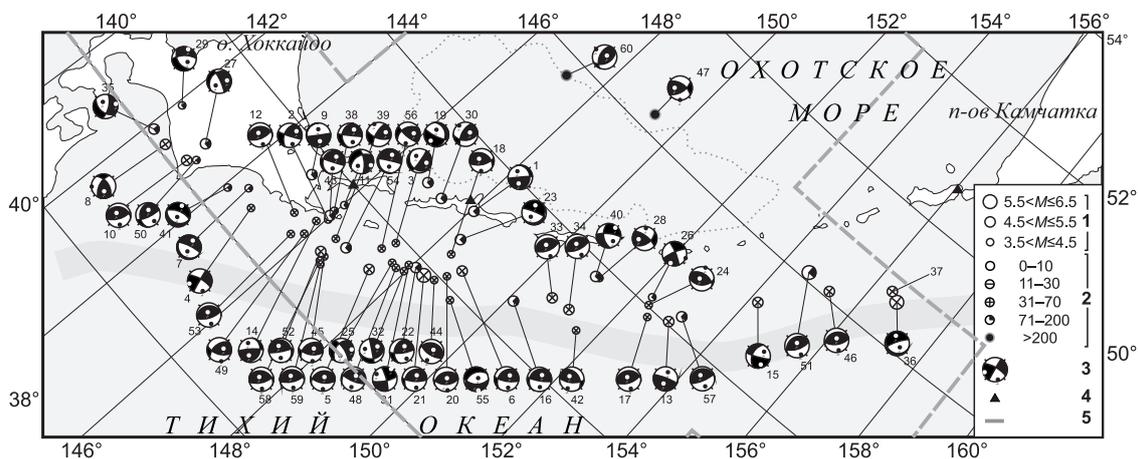


Рис. 9. Эпицентры и механизмы очагов сильнейших землетрясений Курило-Охотского региона в 2015 г.

1 – магнитуа 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 региона (36 на рис. 9) произошло 14 октября в 05^h43^m на глубине $h=53$ км с $M^P=6.3$, $MLH=6.3$, $M_{w\text{рег}}=6.0$. Его эпицентр находился в северной части Курильской дуги, в 233 км к юго-юго-востоку от г. Северо-Курильска, где макросейсмический эффект составил 2 балла. Механизм очага классифицируется как пологий сброс вдоль плоскости $NP1$ восток-северо-восточного простирания ($STK=72^\circ$, $DP=17^\circ$) либо как взрез вдоль плоскости $NP2$ юго-юго-западного простирания ($STK=206^\circ$, $DP=78^\circ$). Землетрясение в течение пяти дней сопровождалось афтершоками. Максимальный из них (37) с $M^P=5.5$ произошел через три минуты после главного толчка.

Второе по силе землетрясение региона (21) зарегистрировано 7 июля в 05^h10^m на глубине $h=66$ км с $M^P=6.0$, $MLH=6.0$, $M_{w\text{рег}}=6.3$. Его эпицентр находился в южной части Курильской дуги, к востоку от о. Итуруп, где макросейсмический эффект составил 5–6 баллов в пос. Горный ($\Delta=138$ км) и Горячие Ключи (144 км). Подробные сведения о макросейсмических проявлениях землетрясения (21) приведены в [32]. Механизм очага классифицируется либо как пологий надвиг вдоль плоскости $NP1$ южного ($STK=178^\circ$, $DP=27^\circ$) простирания, либо как субвертикальный взброс вдоль плоскости $NP2$ северо-восточного ($STK=49^\circ$, $DP=72^\circ$) простирания.

На рис. 10 показаны изменение ежегодного числа землетрясений региона с $M^P \geq 4.5$ и их суммарная сейсмическая энергии за 2001–2015 гг.

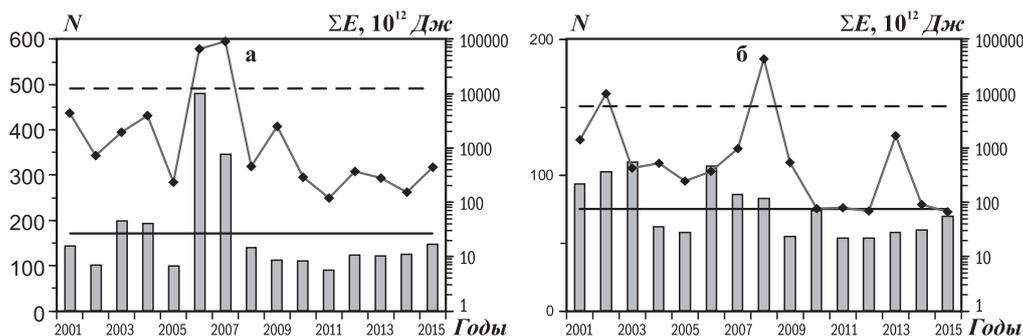


Рис. 10. Распределение числа землетрясений с $M^P \geq 4.3$ с $h \leq 80$ км (а) и $h > 80$ км (б), и величины суммарной сейсмической энергии ΣE Курило-Охотского региона за 2001–2015 гг.

1 – число землетрясений N ; 2 – сейсмическая энергия ΣE ; 3 – среднее число землетрясений по данным за 2001–2014 гг.; 4 – средняя величина энергии за период 2001–2014 гг.

Общее число мелкофокусных землетрясений в 2015 г. ($N=656$) в 1.2 раза выше среднего значения за 2001–2014 гг. ($N_{\text{ср}}=552$), а их суммарная сейсмическая энергия в 26 раз ниже среднего значения за указанный период. Число мелкофокусных землетрясений с $M^P \geq 4.3$ ($N=166$) всего на пять событий ниже среднего значения за 2001–2014 гг., а их суммарная сейсмическая энергия почти в 27 раз меньше среднего значения за предыдущие четырнадцать лет (рис. 10 а).

Число землетрясений с гипоцентрами на глубине $h > 80$ км также выше (в 1.2 раза), а их суммарная сейсмическая энергия в 203 раза ниже соответствующих средних значений за 2001–2014 гг. Число землетрясений с $M^P \geq 4.3$ больше в 1.1 раза, а их суммарная сейсмическая энергия меньше в 210 раз средних показателей за указанный период (рис. 10 б).

На рис. 11 представлен график Бенъофа, характеризующий ход сейсмического процесса в Курило-Охотском регионе в течение 2015 года. Примерно одинаковый наклон графика может свидетельствовать об отсутствии областей затихья 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.

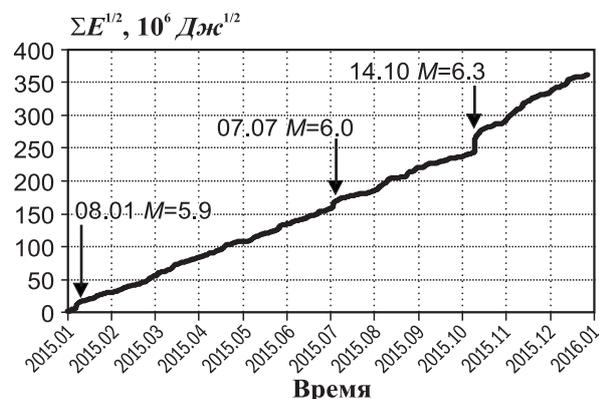


Рис. 11. График Бенъофа для землетрясений Курило-Охотского региона за 2015 г.

(21 и 36), о которых написано в начале раздела.

В целом сейсмичность региона в 2015 г. можно считать умеренной, число землетрясений с магнитудой $M^P \geq 4.3$ и их суммарная сейсмическая энергия не превышают средних величин за 14-летний период.

Функция распределения сейсмической энергии Курило-Охотского региона по данным каталогов за 1962–2015 гг. приведена в [38], где уровень сейсмичности региона в 2015 г. по методике «СОУС'09» [39] отнесен к категории «фоновый средний».

Закключение. Исходя из полученных решений механизмов очагов, большинство землетрясений, включая самые крупные, как и в прошлые годы, происходили в пределах зоны субдукции Тихоокеанской литосферной плиты под Охотоморскую. Самые заметные события Курило-Охотского региона относятся к области межплитового взаимодействия (21 на рис. 9), внутриплитовым

событиям промежуточных глубин (2 на рис. 9), а также, возможно, к области изгиба в верхней части погружающейся Тихоокеанской плиты (36 на рис. 9). В пределах Сахалинского региона коровая сейсмичность оказалась довольно низкой, основной вклад в сейсмическую энергию 2015 г. внесли землетрясения в погружающейся плите зоны субдукции. В Приамурье и Приморье, наименее сейсмически активном из регионов зоны ответственности Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН, 2015 г. выдался спокойным как в отношении верхнекоровых, так и мантийных землетрясений.

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 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
2. Костылев Д.В. Региональная сеть сейсмических станций Сахалина в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
3. Михайлов В.И. Сейсмические станции локальной сети юга о. Сахалин // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
4. Костылев Д.В. Сейсмические станции Курило-Охотского региона в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
5. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2015. (2021) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2015
6. Japan Meteorological Agency. (2021). – URL: <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
7. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. National Earthquake Data Center. (2021). – URL: <http://data.earthquake.cn/index.html>
9. Дягилев Р.А. Программа расчета регистрационных возможностей сейсмических сетей и групп, SARra. / 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 ДВО РАН, 1997. – С. 179–197.
13. Сафонов Д.А., Коновалов А.В. Апробация вычислительной программы ФОСМЕС 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. Габсатарова И.П. Границы сейсмоактивных регионов России с 2004 г. // Землетрясения России в 2004 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 139–140.
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. Кондорская Н.В., Аранович З.И., Шебалин Н.В. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – 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 ЕСОН. – 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 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
28. Сохатюк А.С. Фокина Т.А. (отв. сост.); Децик И.В., Богинская Н.В., Паршина И.А., Ферчева В.Н. Каталог землетрясений Сахалина за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
29. Дорошкевич Е.Н., Фокина Т.А. (отв. сост.); Пиневич М.В., Швидская С.В. Каталог землетрясений Курило-Охотского региона за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
30. Коваленко Н.С. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Приамурья и Приморья в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
31. Фокина Т.А. (отв. сост.); Лукаш Н.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Сахалина в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
32. Фокина Т.А. (отв. сост.); Лукаш Н.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Курило-Охотского региона в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
33. Hisada T., Nakagawa K. Present Japanese Development in Engineering Seismology and their Application to Buildings. – Building Research Institute, Ministry of Construction, Japanese Government, 1958.
34. Сафонов Д.А. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Приамурья и Приморья за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
35. Сафонов Н.А., (отв. сост.); Богинская Н.В. Каталог механизмов очагов землетрясений Сахалина за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
36. Сафонов Н.А., (отв. сост.); Богинская Н.В. Каталог механизмов очагов землетрясений Курило-Охотского региона за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
37. Benioff H. Earthquakes and rock creep // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1951. – V. 41, N 1. – P. 31–62.
38. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.В., Воропаев В.П. Оценка уровня сейсмической активности регионов России // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ГС РАН, 2017. – С. 74–80.
39. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
40. Михайлов В.И. Юг о. Сахалин // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ГС РАН, 2017. – С. 95–97.

41. Search Earthquake Catalog // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
42. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics // USGS [Web Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>
43. 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 2015

T.A. Fokina¹, D.A. Safonov^{1,2}, D.V. Kostylev¹, V.I. Mikhaylov¹

¹*Sakhalin branch GS RAS, Yuzhno-Sakhalinsk*

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

Abstract. A review of the Amur and Primorye, Sakhalin, and the Kuril-Okhotsk region seismicity for 2015 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 1643 seismic events have been determined, 126 of them are explosions. Focal mechanisms were calculated for 62 earthquakes. 48 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 $\sum E$ for seismically active regions of three regions are given, in comparison with the average parameters N and $\sum E$ for 2001–2014. For each region, an analysis of the parameters of the seismic regime in 2015 is given in comparison with long-term averages, the maximum and significant seismic events are described. The seismicity of the Primorye and Primorye, Sakhalin, and the Kuril-Okhotsk region in 2015 can be characterized as a moderate one.

Keywords: earthquake, seismicity, seismic station, magnitude, seismic energy.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.13

For citation: Fokina, T.A., Safonov, D.A., Kostylev, D.V., & Mikhailov, V.I. (2021). [Seismicity of the Amur and Primorye, Sakhalin and the Kuril-Okhotsk region in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii [Earthquakes in Northern Eurasia]*, 24(2015), 139–152. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.13

R e f e r e n c e s

1. Kostylev, D.V. (2021). [Regional network of Primorye and Primorye seismic stations in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii [Earthquakes in Northern Eurasia]*, 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
2. Kostylev, D.V. (2021). [Seismic stations of Sakhalin in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii [Earthquakes in Northern Eurasia]*, 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
3. Mikhaylov, V.I. (2021). [Seismic stations of local network of south Sakhalin in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii [Earthquakes in Northern Eurasia]*, 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
4. Kostylev, D.V. (2021). [Seismic stations of Kuril-Okhotsk region in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii [Earthquakes in Northern Eurasia]*, 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
5. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2015. (2021). Retrieved from ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2015.
6. Japan Meteorological Agency. (2021). Retrieved from <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
7. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. National Earthquake Data Center. (2021). 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 tectonosphere 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 *Seismologicheskiye 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. V. 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* [Pacific Ocean geology], 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* [Pacific Ocean geology], 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'yov, S.L., & Solov'yova, O.N. (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. Gabsatarova, I.P. (2007). [Borders of seismoactive regions of Russia since 2004]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2004 godu* [Earthquakes of Russia, 2004] (pp. 139–140). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
21. Rautian, T.G. (1964). [On the determination of the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Experimentalnaya seismica. Trudy IFZ AN USSR; № 32(199)* [Experimental seismic. Proceedings of the IFZ AS USSR № 32(199)] (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 *Seismologicheskiye nablyudeniya na Dal'nem Vostoke SSSR. Metodicheskiye 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 zemletryaseniy 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 izucheniya seysmichnosti. Trudy IFZ AN USSR; № 9(176)* [Methods of Detailed Study of the Seismicity. Proceedings of the IFZ AS USSR № 9(176)] (pp. 75–114). Moscow, Russia: IFZ AN USSR Publ. (In Russ.).
27. Kovalenko, N.S., & Avdeyeva, L.I. (2021). [Catalog of earthquakes and explosions of Priamurye and Primorye for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
28. Sohatyuk, A.S., Fokina, T.A., Decik, I.V., Boginskaya, N.V., Parshina, I.A., & Fercheva, V.N. (2021). [Catalog of earthquakes of Sakhalin]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).

29. Doroshkevich, E.N., Fokina, T.A., Pinevich, M.V., & Shvidskaya, S.V. (2021). [Catalog of earthquakes of Kuril-Okhotsk Region]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
30. Kovalenko, N.S. (2021). [Macroseismic effect of notable earthquakes in the settlements of Priamurye and Primorye in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
31. Fokina, T.A., & Lukash, N.A. (2021). [The macroseismic effect of tangible earthquakes in the settlements of Sakhalin in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
32. Fokina, T.A., & Lukash, N.A. (2021). [The macroseismic effect of tangible earthquakes in the settlements of Kuril-Okhotsk Region in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
33. Hisada, T., & Nakagawa, K. (1958). Present Japanese Development in Engineering Seismology and their Application to Buildings. *Building Research Institute, Ministry of Construction, Japanese Government*.
34. Safonov, D.A. (2021). [Catalog of mechanisms of the centers of earthquakes of Priamurye and Primorye for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
35. Safonov, D.A., & Boginskaya, N.V. (2021). [Catalog of the mechanisms of the foci of the Sakhalin earthquakes in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
36. Safonov, D.A., & Boginskaya, N.V. (2021). [Catalog of the mechanisms of the foci of Kuril-Okhotsk Region earthquakes in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
37. Benioff, H. (1951). Earthquakes and rock creep. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 41(1), 31–62.
38. Saltykov, V.A., Kravchenko, N.M., Poygina, S.G., & Voropaev, V.P. (2016). [Estimation of the level of seismic activity in Russian regions]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2014 godu* [Earthquakes in Russia, 2014] (pp. 67–73). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
39. Saltykov, V.A. (2011). [Statistical estimation of the level of seismic: methodology and application results on the example of Kamchatka]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 2, 53–59. (In Russ.).
40. Mikhaylov, V.I. (2017). [South of Sakhalin]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2015 godu* [Earthquakes in Russia, 2015] (pp. 95–97). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
41. Search Earthquake Catalog. USGS. (2021). Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
42. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics. USGS. (2021). Retrieved from: <https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>
43. 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.).