

ПРИМОРСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 12 апреля 2014 года, $K_r=11.9$ **(Дальний Восток)****Д.А. Сафонов^{1,2}, Н.В. Шестаков^{3,4}, Н.С. Коваленко¹**¹Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, 693010, kovalenko@seismo.sakhalin.ru²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, 693022, d.safonov@imgg.ru³Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, 690091, shestakov.nv@dvfu.ru⁴Институт прикладной математики ДВО РАН, г. Владивосток, 690041

Аннотация. В статье приведены инструментальные и макросейсмические данные землетрясения, произошедшего 12 апреля 2014 г. в Приморском крае Дальневосточного федерального округа РФ. Приморье относится к зонам с весьма слабой мелкофокусной сейсмической активностью. Это относительно небольшое по магнитуде $M=4.5$ землетрясение является редким явлением для данного региона. Оно вызвало значительный макросейсмический эффект на неожиданно большой площади. Наиболее сильно землетрясение ощущалось в близлежащих к эпицентру поселках, где интенсивность сотрясений составила 5 баллов. Спустя 36^м после основного события был зарегистрирован афтершок с эпицентром в 6.5 км к юго-востоку от местоположения главного толчка, ощущавшийся жителями пос. Крыловка. Согласно полученному механизму очага (впервые для данного района), землетрясение стало результатом сдвиговой подвижки, которая произошла в субширотной либо субмеридиональной плоскости. В тектоническом отношении эпицентры землетрясения и его афтершока могут быть соотнесены с безымянным второстепенным разломом северо-западного простирания, соединяющим Крыловский и Чернореченский разломы и проходящим вблизи пос. Межгорье.

Ключевые слова: Приморье, землетрясение, механизм очага, макросейсмические проявления.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.30

Для цитирования: Сафонов Д.А., Шестаков Н.В., Коваленко Н.С. Приморское землетрясение 12 апреля 2014 года, $K_r=11.9$ (Дальний Восток) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 298–306. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.30

Введение. 12 апреля 2014 г. в 21^h22^m по всемирному координированному времени UTC (13 апреля в 08^h22^m по местному времени) в Кировском районе Приморского края, примерно в 70 км к востоку от оз. Ханка, на глубине около 14 км произошло землетрясение с магнитудой $M_{PVA}=4.5$ и энергетическим классом $K_r=11.9$, ощущавшееся в близлежащих населенных пунктах с интенсивностью до 5 баллов по шкале MSK-64. Это землетрясение стало первым в Приморском крае коровым сейсмическим событием, для которого удалось помимо параметров гипоцентра определить параметры механизма очага и отождествить его с конкретной геологической структурой. Актуальная информация о произошедшем землетрясении приведена авторами в публикации [1].

Приморский край расположен примерно в 1000 км к западу от зоны сочленения и взаимодействия крупнейших литосферных плит – Евроазиатской, Североамериканской и Тихоокеанской. Погружение (субдукция) последней под массивную Евроазиатскую плиту является источником глубокофокусных землетрясений с магнитудой до 7.7 [2], регулярно происходящих на глубинах 300–600 км в южной части края (рис. 1), при этом уровень коровой сейсмичности достаточно низок как по числу событий, так и по их магнитуде [3].

Согласно комплекту карт ОСР-97, Приморье относится к зонам с весьма умеренной мелкофокусной сейсмической активностью. На большей части края ожидаемая интенсивность сотрясений не превосходит 7 баллов, а период их повторяемости изменяется от 100–200 лет в пределах горной области Сихотэ-Алинь до 1000–5000 лет в равнинной юго-западной части края. Вероятность превышения 8-балльной интенсивности на полувековом интервале не более 1 % [4].

По Л.С. Оскорбину [5], магнитуда наиболее вероятного в ближайшие 100 лет максимального корового землетрясения в Приморье не превосходит $MLH=5.5$, что впрочем не исключает возникновения в этот промежуток времени землетрясения большей магнитуды, период повторяемости которых превышает вековой.

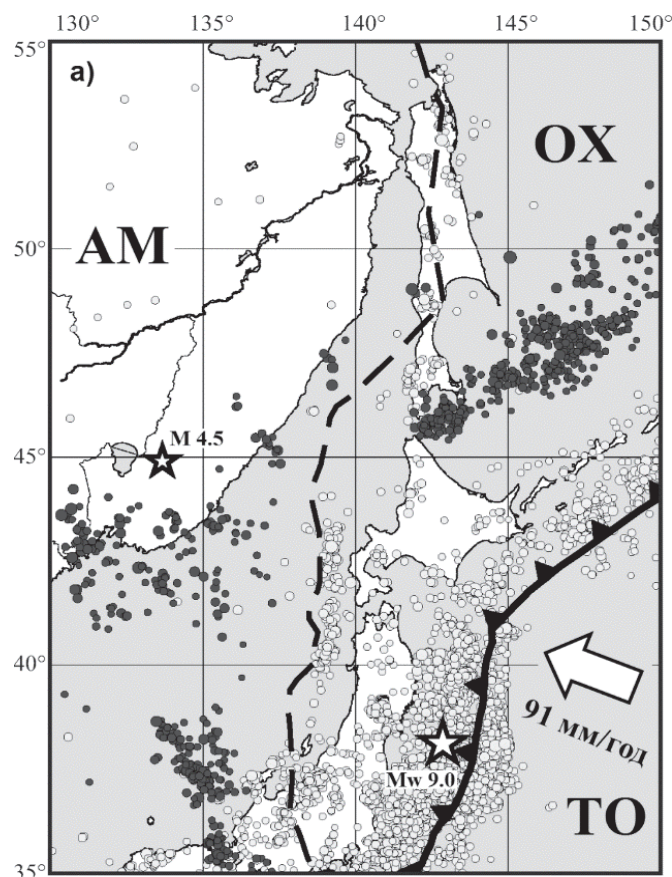


Рис. 1. Обзорная сеймотектоническая схема региона

Сплошной зубчатой линией обозначена граница между Тихоокеанской литосферной плитой (ТО) и предполагаемой Охотоморской (ОХ) микроплитой. Пунктиром показана предполагаемая граница между Амурской (АМ) и Охотоморской микроплитами. Светлая стрелка указывает направление и скорость движения Тихоокеанской плиты относительно Евразийской плиты, к которой, согласно модели MORVEL [6], принадлежит Амурская микроплита. Светлыми и темными кружками показаны эпицентры соответственно коровых и глубоководных землетрясений с магнитудами $M \geq 4$ по данным каталога USGS за период 1976–2016 гг. [7]. Звездочками отмечены эпицентры землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. и Приморского землетрясения 12.04.2014 г.

Инструментальные данные. Приморское землетрясение 12 апреля 2014 г. было зафиксировано сетями сейсмических станций России, Китая и Японии. Обработка волновых форм была затруднена тем, что сейсмические колебания от данного землетрясения наложились на остаточные колебания, инициированные сильным удаленным сейсмическим событием (землетрясение в районе Соломоновых островов в 20^h14^m с $M_w=7.6$).

Расчеты всех основных параметров очага выполнены с использованием программы MGR [8].

Координаты эпицентра определены методом засечек и средних линий по результатам наблюдений 34 сейсмических станций, включающих всю сеть сейсмических станций Сахалинского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (СФ ФИЦ ЕГС РАН), станций Дальневосточного отделения РАН (СНМН, VNNI) [9], станций Центрального отделения (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН (KLR, MSH). Также были использованы материалы наблюдений ИСЦ «Обнинск» по телесеизмическим станциям.

На трех станциях (ТЕУ, MSH, ОСТВ) удалось идентифицировать волны sP , отраженные вблизи эпицентра, по которым была уточнена глубина очага (h) землетрясения. Результаты определения параметров гипоцентра и магнитуды приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные параметры Приморского землетрясения 12 апреля 2014 г. и его афтершока

№	Дата д м	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
				φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	Δh , км		
1	12.04.	21 22 44.3	0.5	44.90	0.03	133.66	0.09	14	1	$K_p=11.9$, $MPVA=4.5/10$	[10]
2	12.04.	02 58 43.8	0.1	44.86	0.02	133.72	0.03	10	–	$K_p=9.2$, $MPVA=3.6/2$	[10]

В 22^h58^m, т.е. спустя 36^m после основного события, был зарегистрирован афтершок, ощущавшийся жителями пос. Крыловка. Его эпицентр располагался в 6.5 км к юго-востоку от местоположения главного толчка. Параметры гипоцентра афтершока приведены в табл. 1. Анализ имеющихся волновых форм ближайших сейсмических станций указывает на то, что афтершоковая активность не ограничилась единственным событием, однако существующая разреженная сеть сейсмических станций, обеспечивающая представительность $M_{\min} \geq 3.0$ в данном районе, не позволила определить параметры более слабых афтершоков этого землетрясения.

Механизм очага главного толчка был определен методом полярности первых вступлений в P -волне на основе данных 14 сейсмических станций СФ и ЦО ФИЦ ЕГС РАН, международной сейсмологической сети IRIS [11] и агентства NIED [12]. Для четырех ближайших станций удалось привлечь по две фазы (Pn и Pg). Для уточнения полученного решения применялся метод первых смещений в S -волне, описанный в [13], позволивший выбрать одно решение из двух возможных. Результаты расчетов приведены в приложении [14] и показаны на рис. 2.

Согласно полученным данным, землетрясение стало результатом сдвиговой подвижки, которая произошла в субширотной ($NP1$) либо субмеридиональной плоскости ($NP2$).

Таблица 2. Параметры механизма очага Приморского землетрясения 12 апреля 2014 г. [14]

Знаки				Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
P -волна		S -волна		P		N		T		$NP1$			$NP2$		
+	-	SV	SH	PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DIP	$SLIP$	STK	DIP	$SLIP$
8	10	7	7	8	56	62	162	27	322	103	66	14	7	77	155

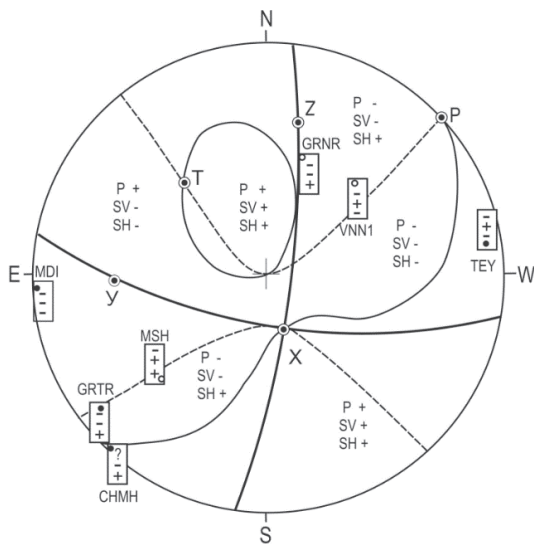


Рис. 2. Диаграмма механизма очага Приморского землетрясения 21 апреля 2014 г. в проекции на нижнюю полусферу (построено Т.В. Нагорных)

Нодальные линии P показаны сплошной утолщенной чертой, линии SV – сплошная тонкая черта, SH – пунктирная линия. Символами «+» и «-» обозначены знаки первых смещений в P , SV , SH -волнах. В рамки заключены знаки смещений, полученные экспериментально, без рамки даны знаки смещений, определенные теоретически. Пустой кружок соответствует волне, распространяющейся от очага вниз, зачерненный – вверх. Буквами обозначены оси сжатия P , растяжения T , промежуточного напряжения X и дополнительных Y и Z .

Макросейсмические проявления. Сведения об ощутимости землетрясения приводятся в табл. 3 и на рис. 3. Наиболее сильно землетрясение ощущалось в близлежащих к эпицентру поселках – Межгорье, Крыловка, Марьяновка, где интенсивность

сотрясений составила 5 баллов (рис. 3). Спящие проснулись от толчка, услышали сильный гул, из потолочных плит осыпалась штукатурка и появились трещины между ними, в углах и на стенах шириной до 3–5 мм, во многих домах образовались трещины в печах. Деформировались обои на стене, падала посуда, упало кашпо с цветком, плафон с люстры и другие мелкие предметы. Многие жители вышли на улицу. Детального полевого макросейсмического обследования плейстоценовой области не производилось, фотографии зафиксированных повреждений зданий отсутствуют. Основная часть макросейсмической информации была получена по телефону, а также по результатам опроса населения.

Таблица 3. Макросейсмические данные о землетрясении 12 апреля 2014 г. [15]

№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E
5 баллов					4–5 баллов				
1	Межгорье	4	44.93	133.64	4	Преображенка	20	45.08	133.63
2	Крыловка	5	44.94	133.69	4 балла				
3	Марьяновка	13	44.79	133.73	5	Афанасьевка	21	44.93	133.40

№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E
6	Горный	24	44.82	133.96
	3–4 балла			
7	Кировский	25	45.09	133.50
8	Руновка	26	44.96	133.34
9	Хвищанка	28	45.04	133.96
	3 балла			
10	Горные Ключи	39	45.23	133.50

№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E
	2–3 балла			
11	Лесозаводск	67	45.48	133.42
12	Дальнереченск	114	45.93	133.73
13	Смычка	181	44.35	135.82
	2 балла			
14	Дальнегорск	154	44.55	135.55



Рис. 3. Карта интенсивности проявлений землетрясения 12 апреля 2014 г.

Согласно собранной информации, пятибалльный эффект ощущался в трех поселках: Межгорье, Крыловка и Марьяновка, расположенных на расстоянии 4–13 км от эпицентра. В пятибалльную зону попадают и поселки Владимировка и Бельцово, находящиеся на таком же расстоянии от эпицентра, но опросные данные по ним отсутствуют. С расстоянием интенсивность сотрясений закономерно уменьшается. Землетрясение хорошо ощущалось в населенных пунктах к северу от эпицентра на расстояниях до 65–115 км (г. Лесозаводск и Дальнереченск). Имеются отдельные свидетельства об ощутимых эффектах в 2–3 балла на расстояниях 150–180 км к юго-востоку от эпицентра (г. Дальнегорск, пос. Смычка), что достаточно далеко для землетрясения подобной магнитуды и глубины и, возможно, является характерной особенностью Приморья. В юго-западном направлении не зафиксировано ни одного свидетельства о макросейсмических проявлениях данного сейсмического события. Интересно отметить, что это зафиксированное множество свидетелей землетрясение было практически обойдено вниманием СМИ. Только одна газета [16] поместила краткую и совершенно неверную информацию о самом событии и несколько описаний ощутимости землетрясения в г. Дальнереченске, удаленном от эпицентра на расстояние свыше 100 км.

Тектоническая обстановка в районе эпицентра землетрясения. В тектоническом отношении эпицентры землетрясения и его афтершока (рис. 4) находятся в пределах Ханкайского массива между Чернореченским и Крыловским разломами, которые простираются в северо-восточном направлении, круто падают к востоку и прослеживаются геофизическими методами до глубины более 25 км. Смещения по обоим разломам преимущественно сбросовые с элементами правого сдвига. К юго-востоку от эпицентра главного толчка по геофизическим и общегеологическим данным выделяется Среднеханкайский глубинный разлом, круто падающий к востоку и уходящий в верхнюю мантию. Разломными структурами северо-западного и субширотного простираения данный район разбит на множество отдельных блоков, испытавших значительные вертикальные смещения [17]. Сколько-нибудь надежные инструментальные данные о современной кинематике разрывных структур в данном районе отсутствуют.

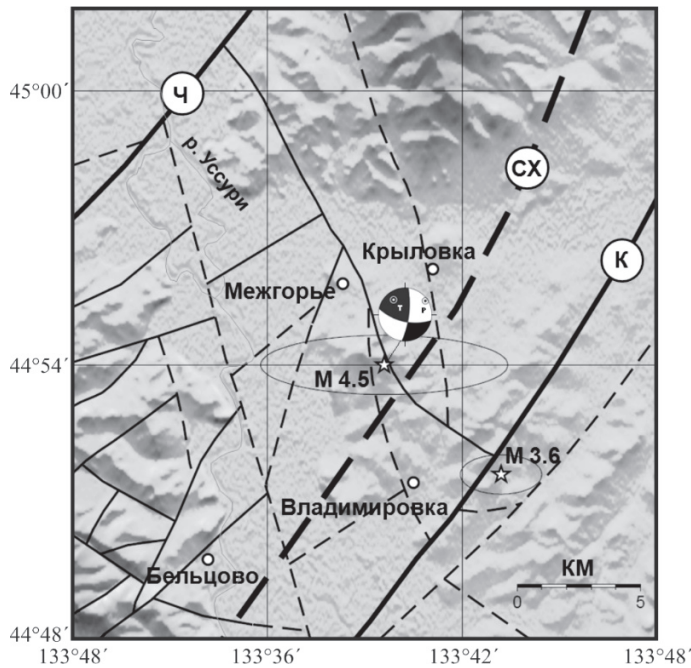


Рис. 4. Тектоническое строение исследуемого района

Сплошными линиями показаны достоверно установленные разломы, пунктиром – предполагаемые. Утолщенными линиями и буквами обозначены главные разрывные структуры: К – Крыловский, Ч – Чернореченский разломы. Утолщенной пунктирной линией показан Среднеханкайский глубинный разлом. Эллипсы погрешностей определения положений эпицентров главного толчка и его афтершока (обозначены звездочками) построены с доверительной вероятностью 68 %. Кружками показаны и подписаны населенные пункты.

Положение очага землетрясения, с учетом ошибок его определения и географической привязки, может быть соотнесено с безымянным второстепенным разломом северо-западного простирания, соединяющим Крыловский и Чернореченский разломы и проходящим вблизи пос. Межгорье (рис. 4). Эпицентр

зарегистрированного афтершока находится практически на продолжении этой же разрывной структуры вблизи ее стыка с Крыловским разломом и может быть отнесен как к вышеуказанным разломам, так и к связанной с ними незакартированной геоструктуре.

Сопоставление азимута простирания разлома (146°), с которым наиболее вероятно отождествляется местоположение эпицентра землетрясения и механизма очага ($NP1 - 103^\circ$, $NP2 - 7^\circ$), не позволяет уверенно выделить одну из нодальных плоскостей в качестве плоскости сейсмодислокации. Весьма значительные различия ($>40^\circ$) в ориентировке разлома и азимутов простирания нодальных плоскостей, а также имеющиеся данные локализации лишь одного афтершока, не исключают возможности принадлежности очага к какой-либо неизвестной второстепенной разломной структуре, оперяющей выделенный нами разлом.

Заключение. Полученная из решения механизма очага ориентация осей сжатия-растяжения (рис. 4), имеющиеся данные о кинематике главных разломных структур [17] и результаты ряда геодинамических наблюдений в Приморском крае и на сопредельных с ним территориях (см., например, работы [3, 18, 19, 20]) указывают на то, что территория Приморья находится в обстановке диагонального сжатия с северо-востока на юго-запад, действующего под углом к системе субмеридиональных (Крыловский и Чернореченский) разломов, определяющих тектоническое строение района. В этом случае вполне вероятным типом смещения в очаге представляется левосторонняя подвижка по выделенному нами или достаточно близкому к нему по простиранию незакартированному разлому, которая соответствует нодальной плоскости NP_1 с крутым падением плоскости сейсморазрыва (66°) к юго-западу. На наличие левосторонних движений в геологическом прошлом указывает и взаимное положение частей различных геологических структур, заключенных между Крыловским и Чернореченским разломами и рассекаемых многочисленными разрывными структурами низшего порядка (см. [17]), однако установление возраста таких смещений и их достоверность нуждаются в отдельном исследовании. Имеющиеся данные не позволяют исключить и возможность правостороннего смещения по второй нодальной плоскости.

Источник регионального сжатия рядом авторов ассоциируется с вековыми движениями и взаимодействием крупнейших литосферных плит региона – Евразийской, Североамериканской и Тихоокеанской, а также предположительно выделяемых в пределах первых двух плит Амурской и Охотоморской микроплит [4, 18, 21, 22]. На наличие такого сжатия указывает и механизм сильного корового ($h=15-16$ км) землетрясения с магнитудой $M_w=5.9$, зарегистрированного 13.11.1990 г. в 200 км к северо-востоку от пос. Терней в акватории Японского моря [23, 24].

Следует отметить, что по другим данным непрерывных и периодических GPS-наблюдений в Приморье не обнаружены сколько-нибудь значительные горизонтальные движения земной коры относительно Евроазиатской плиты [25]. Этот результат может указывать как на то, что исследуемый регион находится в пределах достаточно жесткого блока, движение которого определяется вращением Евроазиатской плиты, так и на эффективное затухание относительных смещений у восточной окраины Амурской микроплиты, главным образом обусловленное вязкоупругим, а не жестко-упругим взаимодействием вблизи зоны сочленения трех вышеуказанных плит. В первом случае современная мелкофокусная сейсмическая активность Приморья должна быть весьма незначительна, однако наличие достоверно установленной, хотя и достаточно слабой, коровой сейсмической активности делает это предположение маловероятным. С другой стороны, отсутствие интенсивных относительных вековых движений и деформаций земной коры в Приморье вполне объясняет отсутствие сейсмических событий с магнитудой выше $M=5$. Низкие магнитуды приморских коровых землетрясений не позволяют в полной мере применить для оценки их повторяемости методы геодезического GPS-мониторинга, как это делается, например, на о. Сахалин [26].

Еще одной косвенной причиной Приморского землетрясения 2014 г. могло стать мегаземлетрясение Тохоку $M_w=9.0$, произошедшее 11.03.2011 г. у северо-восточного побережья японского о. Хонсю [27]. Инициированные им косейсмические смещения и наблюдаемые в настоящее время GPS-методами постсейсмические смещения земной коры в Приморье [28] вызвали изменение напряженно-деформированного состояния литосферы края, особенно в южных и центральных районах, что могло спровоцировать активизацию отдельных разломных структур в Приморье. Необходимо отметить, что в силу разницы в скоростях затухания постсейсмических движений и деформаций земной коры в южной части Приморья, где они наиболее интенсивны, и в центральных и северных районах края, где скорости таких движений быстро уменьшаются, в ближайшие несколько десятилетий можно ожидать перераспределения напряжений в земной коре на территории края и повышения уровня современной геодинамической активности разломных структур и связанной с ними мелкофокусной сейсмической активности.

Л и т е р а т у р а

1. Шестаков Н.В., Сафонов Д.А., Коваленко Н.С., Касаткин С.А., Краснопеев С.М., Герасименко М.Д., Meng Guojie. Результаты исследования Приморского землетрясения 12 апреля 2014 года, $M=4.5$ (Дальний Восток России) // Тихоокеанская геология. – 2018. – Т. 37. – № 1. – С. 51–60.
2. Ким Чун Ун, Андреева М.Ю. Каталог землетрясений Курило-Камчатского региона (1737–2005 гг.) // Препринт. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2009. – 126 с.
3. Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Коваленко Н.С. Сейсмичность региона Приамурье и Приморье. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2019. – 104 с.
4. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб: 1:8000000. 1999 г. Гл. ред. В.Н. Страхов, В.И. Уломов. Отв. сост. Уломов В.И., Шумилина Л.С., Гусев А.А., Павлов В.М., Медведева Н.С. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 57 с.
5. Оскорбин Л.С. Районирование юга Дальнего Востока по сейсмогенным зонам // Геодинамика и тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. VI. Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 111–153.
6. Apel E.V., Burgmann R., Steblov G. et al. Independent active microplate tectonics of northeast Asia from GPS velocities and block modeling // Geophysical Research Letters. – 2006. – V. 33. – Issue 11. – P. L11303–11308. DOI: 10.1029/2006GL026077
7. United States Geological Survey / Search Earthquake Catalog. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>
8. Поплавская Л.Н., Бобков А.О., Кузнецова В.Н. и др. Принципы формирования и состав алгоритмического обеспечения регионального центра обработки сейсмологических наблюдений (на примере Дальнего Востока) // Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. – М.: Наука, 1989. – С. 32–51.
9. Korolev S.P., Sorokin A.A., Verkhoturov A.L. et al. Automated information system for instrument-data processing of the regional seismic observation network of FEB RAS // Seismic Instruments. – V. 51. – Issue 3. – P. 209–218. DOI: 10.3103/S0747923915030068

10. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Авдеева Л.И., Человечкова Е.В. Каталог землетрясений и взрывов Приамурья и Приморья за 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
11. Incorporated Research Institutions for Seismology / BREQ_FAST Request. – URL: <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/forms/breqfast-request/>
12. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. – URL: <http://www.fnet.bosai.go.jp>
13. Коновалов А.В., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А. Современные исследования механизмов очагов землетрясений о. Сахалин / Отв. ред. А.И. Кожурин. – Владивосток: Дальнаука, 2014. – 252 с.
14. Сафонов Д.А. (отв. сост.), Нагорных Т.В. Каталог механизмов очагов землетрясений Приамурья и Приморья за 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
15. Коваленко Н.С. (отв. сост.). Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Приамурья и Приморья в 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
16. Дальнеречье. Общественно-политическая газета г. Дальнереченск и Дальнереченского района. – Дальнереченск. – 2014. – № 15 (1287). – С. 5.
17. Рыбалко В.И. (отв. сост.), Амельченко Г.Л., Найденко А.Н., Рыбалко В.И. Геологическая карта масштаба 1:200000 и пояснительная записка к ней: геологическое строение и полезные ископаемые листов L-53-XIV, XV, XX, XXVI (участок Кабаргинский). Отчет Кабаргинской партии о результатах геологического доизучения масштаба 1:200000 за 1995–2002 гг. в 4-х книгах. Книга 3. Лист L-53-XXVI / Владивосток: Министерство природных ресурсов РФ. Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды по Приморскому краю. Федеральное Государственное унитарное геологическое предприятие «Приморская поисково-съёмочная экспедиция». – 2002. – 134 с.
18. Ашурков С.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И. и др. Кинематика Амурской плиты по данным GPS-геодезии // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 2. – С. 299–311.
19. Тимофеев В.Ю., Горнов П.Ю., Ардюков Д.Г. и др. Результаты анализа данных GPS измерений (2003–2006 гг.) на Дальнем Востоке по Сихотэ-Алиньской сети // Тихоокеанская геология. – 2008. – Т. 27. – № 4. – С. 39–49.
20. Hsu H., Park P.H., Kato T. et al. Study on crustal movement of the Eastern Asia by GPS technique // Proceedings of the APSG symposium: space geodesy and dynamic planet / Eds. Cheng Hyang, Ruixian Zhou. Korea. APSG. – 2006. – P. 182–188.
21. Takahashi H., Kasahara M., Kimata F. et al. Velocity field of around the Sea of Okhotsk and sea of Japan regions determined from a New Continuous GPS Network Data // Geophysical Research Letters. – 1999. – V. 26. – Issue 16. – P. 2533–2536.
22. Zonenshain L.P., Savostin L.A. Geodynamics of the Baikal rift zone and plate tectonics of Asia // Tectonophysics. – 1981. – V. 76. – P. 1–45.
23. Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В. Динамические параметры очага, сейсмогенные подвижки и макросейсмический эффект Приморского землетрясения 13 ноября 1990 г. // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. VI. Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. – Южно-Сахалинск: Ин-т морской геологии и геофизики ДВО РАН, 1997. – С. 39–44.
24. Nakanishi I., Moriya T., Endo M. et al. The November 13, 1990 earthquake off the coast of the Primorskij Region, the Eastern Russia // Geophysical Research Letters. – 1992. – Vol. 19. – Issue 6. – P. 549–552.
25. Shestakov N.V., Gerasimenko M.D., Takahashi H. et al. Present tectonics of the southeast of Russia as seen from GPS observations // Geophysical Journal International. – 2011. – V. 184. – P. 529–540. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04871.x
26. Прытков А.С. Современные движения земной коры Сахалино-Курильского региона и моделирование геодинамических процессов по данным GPS-наблюдений / Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2008. – 113 с.
27. Simons M., Minson S.E., Sladen A. et al. The 2011 Magnitude 9.0 Tohoku-Oki Earthquake: Mosaicking the Megathrust from Seconds to Centuries // Science. – 2011. – V. 332. – Issue 6036. – P. 1421–1425. DOI:10.1126/science.1206731
28. Shestakov N.V., Takahashi H., Ohzono M. Analysis of the far-field crustal displacements caused by the 2011 Great Tohoku earthquake inferred from continuous GPS observations // Tectonophysics. – 2012. – V. 524–525. – P. 76–86. DOI:10.1016/j.tecto.2011.12.019

PRIMORYE EARTHQUAKE on April 12, 2014, $K_p=11.9$ (Far Eastern Russia)

D.A. Safonov^{1,2}, N.V. Shestakov^{3,4}, N.S. Kovalenko¹

¹*Sakhalin Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, kovalenko@seismo.sakhalin.ru*

²*Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, d.safonov@imgg.ru*

³*Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia,*

⁴*Institute for Applied Mathematics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

Abstract. The article presents instrumental and macroseismic data of the earthquake that occurred on April 12, 2014 in the Primorye Region of the Far Eastern Federal District of the Russian Federation. Primorye refers to areas with a weak of shallow seismic activity. This relatively small magnitude $M=4.5$ earthquake is a rare occurrence in this region. It caused a significant macroseismic effect over an unexpectedly large area. The highest seismic intensity as large as 5 degrees was observed in the settlements nearest to the epicenter – Mezhgorye, Krylovka and Maryanovka. 36 minutes after the main event, an aftershock was recorded with an epicenter 6.5 km southeast of the main shock location, felt by the inhabitants of the settlement of Krylovka. According to the data obtained, the focal mechanism of the earthquake might be treated as the strikeslip fault type with the nodal planes of the sublatitudinal and sublongitudinal extension. In view of tectonics, the earthquake and its aftershock epicenters might be related to a nameless NW striking fault located near Mezhgorye Settlement and linking the Krylovsky and Chernorechensky faults.

Keywords: Primorye, earthquake, focal mechanism, macroseismic.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.30

For citation: Safonov, D.A., Shestakov, N.V., & Kovalenko, N.S. (2020). [Primorye earthquake on April 12, 2014, $K_p=11.9$ (Far Eastern Russia)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 298–306. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.30

R e f e r e n c e s

1. Shestakov, N.V., Safonov, D.A., Kovalenko, N.S., Kasatkin, S.A., Krasnopeyev, S.M., Gerasimenko, M.D., & Meng, G. (2018). [The Investigation Results of the April 12, 2014, $M=4.5$ Primorye Earthquake (Far Eastern Russia)]. *Tikhookeanskaia geologiia* [Russian Journal of Pacific Geology], 37(1), 51–60. (In Russ.).
2. Kim, Chun Un, & Andreeva, M.Yu. (2009). *Katalog zemletrjasenij Kurilo-Kamchatskogo regiona (1737–2005 gg)* [Catalog of earthquakes of the Kuril-Kamchatka region (1737–2005)]. Preprint. Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMG&G FEB RAS Publ. 126 p.
3. Safonov, D.A., Nagornyh, T.V. & Kovalenko, N.S. (2019). *Sejsmichnost' regiona Priamur'e i Primor'e*. [Seismicity of Amur and Primorye region]. Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMG&G FEB RAS Publ. 104 p.
4. Strakhov, V.N., & Ulomov, V.I. (Eds.). (1999). *Komplekt kart obshchego seismicheskogo raionirovaniia territorii Rossiiskoi Federatsii – OSR-97. Masshtab: 1:8000000*. [A Set of Maps of General Seismic Zoning of the Russian Federation. OSR-97. 1: 8000000]. Moscow, Russia, 57 p. (In Russ.).
5. Oskorbin, L.S. (1997). [Zoning of southern Far East on Seismogenic zones]. In *Geodinamika i tektonosfery zony sochleneniia Tihogo okeana s Evraziej. T. VI. Problemy seismicheskoi opasnosti Dal'nevostochnogo regiona*. [Geodynamics and Tectonospheres of the Pacific–Eurasia Junction Zone. Volume 4. Problems of Seismic Hazard of the Far East Region] (p. 111–153). Yuzhno-Sakhalinsk (In Russ.).
6. Apel, E.V., Bürgmann, R., Steblov, G., Vasilenko, N., King, R., & Prytkov, A. (2006). Independent active microplate tectonics of northeast Asia from GPS velocities and block modeling. *Geophysical Research Letters*, 33(11).
7. United States Geological Survey. (2020). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>
8. Poplavskaya, L.N., Bobkov, A.O., Kuznetsova, V.N. et al. (1989). [The principles of formation and composition of the algorithmic support of a regional center for processing seismological observations (by the example of the Far East)]. In *Seismologicheskie nabliudeniia na Dal'nem Vostoke SSSR* [Seismological observations in the Far East of the USSR] (pp. 32–51). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
9. Korolev, S.P., Sorokin, A.A., Verkhoturov, A.L., Kononov, A.V., & Shestakov, N.V. (2015). Automated information system for instrument-data processing of the regional seismic observation network of FEB RAS. *Seismic Instruments*, 51(3), 209–218.
10. Kovalenko, N.S. (2020), Avdeeva, L.I., Chelovechkova, E.V. [Catalog of earthquakes and explosions of the Amur and Primorye Region]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).

11. Incorporated Research Institutions for Seismology. (2020). BREQ_FAST Request. Retrieved from <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/forms/breqfast-request/>
12. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. (2020). Retrieved from <http://www.fnet.bosai.go.jp>
13. Konovalov, A.V., Nagornykh, T.V., & Safonov, D.A. (2014). *Sovremennye issledovaniya mekhanizmov ocha-gov zemletrjasenij o. Sahalin* [Recent study of the earthquake mechanisms in Sakhalin] Vladivostok: Dal'nauka. 252 p.
14. Safonov, D.A., & Nagornykh, T.V. (2020). [Catalog of focal mechanisms of earthquakes of the Amur and Primorye Regions]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
15. Kovalenko, N.S. (2020). [Macroseismic effect of perceptible earthquakes in the settlements of the Amur and Primorye Regions]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
16. [Dal'nerech'e. Social and Political Paper of the Town of Dal'nerechensk and Dal'nerechensk Region]. (2014). *Dal'nerechensk*, № 15(1287), p. 5 (In Russ.).
17. Rybalko, V.I., Amel'chenko, G.L., Naidenko, A.N., & Rybalko, V.I. (2002). [Geological Map. 1:200000 and Explanatory Note: Geological Structure and Minerals of Sheets L-53-XIV, XV, XX, XXVI (Kabarginskii Area)]. In *Otchet Kabarginskoi partii o rezul'tatakh geologicheskogo doizucheniia masshtaba 1:200000 za 1995–2002 gg. v 4-kh knigakh. Kniga 3. List L-53-XXVI* [Report of the Kabargin-Party on the Results of Additional Geological Study on a Scale of 1: 200000 for 1995–2002. Volume 3. Sheet L-53-XXVI]. Vladivostok, Russia. (In Russ.).
18. Ashurkov, S.V., San'kov, V.A., Miroshnichenko, A.I., Likhnev, A.V., Sorokin, A.P., Serov, M.A., & Byzov, L.M. (2011). GPS geodetic constraints on the kinematics of the Amurian Plate. *Russian Geology and Geophysics*, 52(2), 239–249.
19. Timofeev, V.Y., Gornov, P.Y., Ardyukov, D.G., Malyshev, Y.F., & Boiko, E.V. (2008). GPS measurements (2003–2006) in the Sikhote Alin network, the Far East. *Russian Journal of Pacific Geology*, 2(4), 314–324.
20. Hsu, H., Park, P.H., Kato, T., & Xiong, X. (2006). Study on crustal movement of the Eastern Asia by GPS technique. In *Proceedings of the APSG symposium: space geodesy and dynamic planet/Eds. Cheng Hyang, Ruixian Zhou. Korea, APSG* (pp. 182–188).
21. Takahashi, H.E.A., Kasahara, M., Kimata, F., Miura, S., Heki, K., Seno, T., ... & Levin, V. (1999). Velocity field of around the Sea of Okhotsk and Sea of Japan regions determined from a new continuous GPS network data. *Geophysical Research Letters*, 26(16), 2533–2536.
22. Zonenshain, L.P., & Savostin, L.A. (1981). Geodynamics of the Baikal rift zone and plate tectonics of Asia. *Tectonophysics*, 76(1–2), 1–45.
23. Poplavskaya, L.N., Nagornykh, T.V. (1997). [The dynamic parameters of the source, seismogenic movements, and the macroseismic effect of the Primorsky earthquake on November 13, 1990]. In *Geodinamika tektonosfery zony sochleneniya Tihogo okeana s Evraziej. T. VI. Problemy sejsmicheskoi opasnosti Dal'nevostochnogo regiona* [Geodynamics of tectonosphere of the Pacific-Eurasia conjunction zone. V. VI. Problems of seismic hazard of the Far Eastern region] (pp. 39–44). Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS Publ. (In Russ.).
24. Nakanishi, I., Moriya, T., Endo, M., & Motoya, Y. (1992). The November 13, 1990 earthquake off the coast of the Primorskij region, the Eastern Russia. *Geophysical research letters*, 19(6), 549–552.
25. Shestakov, N.V., Gerasimenko, M.D., Takahashi, H., Kasahara, M., Bormotov, V.A., Bykov, V.G., ... & Timofeev, V.Y. (2011). Present tectonics of the southeast of Russia as seen from GPS observations. *Geophysical Journal International*, 184(2), 529–540.
26. Prytkov, A.S. (2008). *Sovremennye dvizheniya zemnoi kory Sakhalino-Kuril'skogo regiona i modelirovanie geodinamicheskikh protsessov po dannym GPS-nabludenii / Dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata fiziko-matematicheskikh nauk* [Modern crustal movements of Sakhalin and Kuril region and modeling geodynamic processes according to the GPS-observations. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMG&G FEB RAS Publ, 113 p.
27. Simons, M., Minson, S.E., Sladen, A., Ortega, F., Jiang, J., Owen, S.E., ... & Helmberger, D.V. (2011). The 2011 magnitude 9.0 Tohoku-Oki earthquake: Mosaicking the megathrust from seconds to centuries. *Science*, 332(6036), 1421–1425.
28. Shestakov, N.V., Takahashi, H., Ohzono, M., Prytkov, A.S., Bykov, V.G., Gerasimenko, M.D., ... & Vasilenko, N.F. (2012). Analysis of the far-field crustal displacements caused by the 2011 Great Tohoku earthquake inferred from continuous GPS observations. *Tectonophysics*, 524, 76–86.