УДК 550.34, 551.24

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 12 АПРЕЛЯ 2014 ГОДА, M = 4.5 (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК РОССИИ)

Н.В. Шестаков[1,2], Д.А. Сафонов[3,4], Н.С. Коваленко[4], С.А. Касаткин[5], С.М. Краснопеев[1,6], М.Д. Герасименко[1,2], Meng Guojie[7]

[1] *Дальневосточный федеральный университет, ул. Суханова 8, г. Владивосток, 690091;* e-mail: shestakov.nv@dvfu.ru

[2]*ФГБУН Институт прикладной математики ДВО РАН, ул. Радио7, г. Владивосток, 690041* e-mail: *mdg@iam.dvo.ru*

[3]*ФГБУН Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022*; e-mail: d.safonov@imgg.ru

[4]*ФГБУН Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, ул. Тихоокеанская 2А, г. Южно-Сахалинск, 693010;* e-mail: kovalenko@seismo.sakhalin.ru

[5]*ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100-лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022;* e-mail*:* kasatkin04@hotmail.com

[6]*ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио 7, г. Владивосток, 690091;* e-mail: sergeikr@tig.dvo.ru

[7]*Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, 63 Fuxing Avenue, Beijing 100036, China;* e-mail: mgj@cea-ies.ac.cn

Поступила в редакцию 25 января 2017 г.

Приморский край относится к регионам с весьма умеренной современной мелкофокусной сейсмической активностью и остается недостаточно изученным в этом отношении. Полученные инструментальные данные региональных сейсмических сетей и собранная макросейсмическая информация о произошедшем на территории западного Приморья коровом землетрясении 12.04.2014 г., *M* = 4.5 позволили впервые для территории края определить параметры гипоцентра и механизм главного толчка, зарегистрировать и получить параметры гипоцентра его афтершока.

Ключевые слова: **землетрясение, параметры гипоцентра, механизм очага, макросейсмические проявления, Приморье, Дальний Восток России.**

ВВЕДЕНИЕ

12 апреля 2014 г. в 21 час. 22 мин. по всемирному координированному времени (13 апреля в 08 час. 22 мин. 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* = 4.5, ощущавшееся в близлежащих населенных пунктах с интенсивностью до 5 баллов по шкале MSK-64. Данное сейсмическое событие представляет значительный интерес как для выявления активных геологических структур на территории края и определения степени их современной геодинамической активности, так и для уточнения оценки уровня сейсмоопасности Приморья. Это землетрясение стало первым в Приморском крае коровым сейсмическим событием, для которого удалось инструментально получить параметры гипоцентра, определить механизм очага и отождествить его с конкретной геологической структурой.

Приморский край расположен примерно в 1000 км к западу от зоны сочленения и взаимодействия крупнейших литосферных плит − Евроазиатской, Северо-Американской и Тихоокеанской. Погружение (субдукция) последней под массивную Евроазиатскую плиту является источником глубокофокусных землетрясений с магнитудой до 7.7 [4], регулярно происходящих на глубинах 300–600 км в южной части края (рис. 1), однако уровень коровой сейсмичности

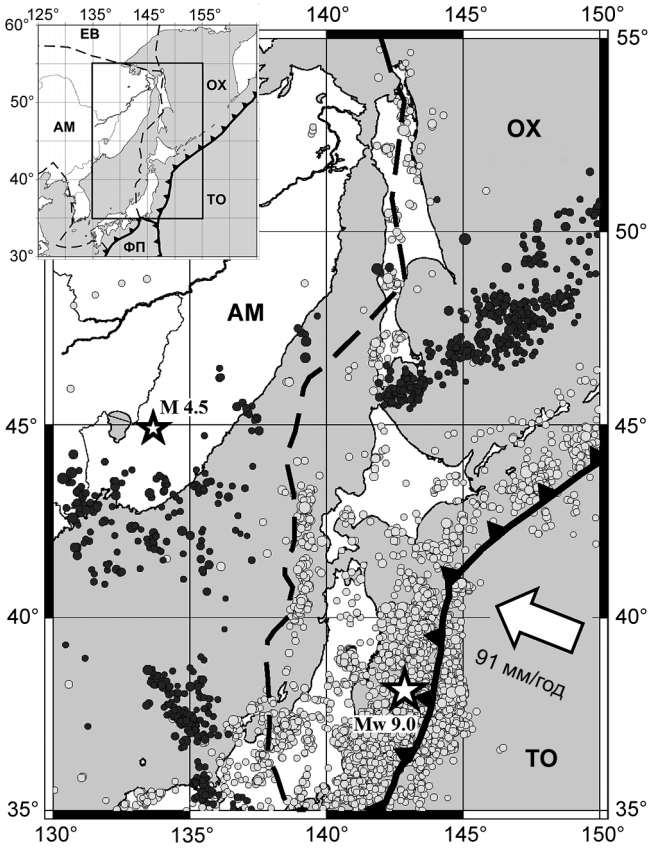

Рис. 1. Обзорная сейсмо-тектоническая схема региона.

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 движения и скорость Тихоокеанской плиты относительно Евроазиатской плиты, к которой принадлежит Амурская микроплита, согласно модели MORVEL [25]. Светлыми и темными кружками показаны эпицентры землетрясений с магнитудами $M \geq 4$ и глубиной $h \leq 40$ км и $h \geq 300$ км, соответственно, по данным каталога NEIC за период 1976–2016 гг. (https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/). Звездочками отмечены эпицентры землетрясения Тохоку 11.03.2011г. и Приморского землетрясения 12.04.2014 г. На врезке показаны границы литосферных плит (ЕВ − Евроазиатская, ФП − Филлипинская). Прямоугольником выделен регион, показанный на рис. 1.

достаточно низок как по числу событий, так и по их магнитуде (рис. 1, 2).

Согласно комплекту карт ОСР-97, Приморье относится к зонам с весьма умеренной мелкофокусной сейсмической активностью. На большей части края ожидаемые интенсивности сотрясений не превосходят 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 % [5].

По Л.С. Оскорбину [16], магнитуда MLH наиболее вероятного в ближайшие 100 лет максимального корового землетрясения в Приморье не превосходит 5.5, что, впрочем, не исключает возникновения в этот промежуток времени землетрясения большей магнитуды, период повторяемости которых превышает вековой.

Необходимо отметить, что вышеприведенные и другие имеющиеся оценки сейсмического потенциала Приморского края (см., например, работы [14, 22]), возможно преуменьшены, так как в основном базируются на данных удаленных сейсмических сетей и/или единичных местных сейсмостанций, а также на неполной и не всегда достоверной опросной информации о макросейсмических проявлениях землетрясений, произошедших за время проживания в регионе русского населения, т.е. за временной промежуток немногим более века. Кроме того, согласно работам [9, 10], практически на всей территории края обнаружены палеосейсмодислокации, возраст которых составляет, по оценкам авторов, от нескольких тысяч до 10–12 тыс. лет, а максимальная соответствующая им интенсивность сотрясений могла достигать 9–10 баллов.

Таким образом, вопрос о наличии активных сейсмогенерирующих структур и сейсмическом потенциале Приморского края все еще остается недостаточно изученным инструментальными методами. Поэтому любая достоверная и точная информация об ощутимых, а тем более наносящих ущерб коровых сейсмических событиях представляет значительную ценность. Результаты изучения Приморского землетрясения 12.04.2014 г. дают возможность приступить к постепенному заполнению этого пробела.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОРИЧЕСКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

Как уже отмечалось, ощутимые коровые землетрясения в Приморье и его ближайших окрестностях достаточно редки. В этом разделе приведены краткие сведения обо всех достоверно установленных и наиболее сильных мелкофокусных землетрясениях, зарегистрированных в Приморском крае и его ближайших окрестностях в период с 1900 по 2016 год.

Самое сильное землетрясение в регионе (M = 6.6, h = 20 км, I_0 = 8 баллов) произошло 3.07.1902 г. Его эпицентр располагался на территории Китая (восточные отроги хребта Лаоелин) примерно в 190 км к западу от Владивостока. Наибольшая известная интенсивность составила 6 баллов на расстоянии 60 км от эпицентра. Следующее по силе сейсмическое событие произошло 23.12.1948 г. в 200 км севернее от него (M = 5.2 h = 15 км, данные по макросейсмиче-

ским проявлениям отсутствуют). Все остальные зарегистрированные подземные толчки имели магнитуду 5 и менее (рис. 2). Положения гипоцентров и краткие описания сейсмических событий, ощущавшихся с наибольшей интенсивностью на территории южного Приморья, приведены в таблице 1.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИМОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 12.04.2014 Г.

Наиболее сильно землетрясение ощущалось в близлежащих к эпицентру поселках − Межгорье, Крыловка, Марьяновка Кировского района, где интенсивность составила 5 баллов (рис. 3). Спящие проснулись от толчка, услышали сильный гул, из потолочных плит осыпалась штукатурка и появились трещины шириной до 3–5 мм между ними, в углах и на стенах, во многих домах образовались трещины в печах. Деформировались обои на стене, падали посуда и другие мелкие предметы. Многие жители вышли на улицу. Детальное полевое макросейсмическое обследование плестосейстовой области не производилось, фотографии зафиксированных повреждений зданий отсутствуют. Основная часть макросейсмической информации была получена по телефону, а также по результатам опроса населения. Карта «пункт–балл» и таблица ощущаемости приводятся на рисунке 3 и в таблице 2.

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 г. Дальнереченск). Имеются отдельные свидетельства об ощутимых эффектах в 2–3 балла на расстояниях 150–180 км к юго-востоку от эпицентра (г. Дальнегорск, п. Смычка), что достаточно далеко для землетрясения подоб-

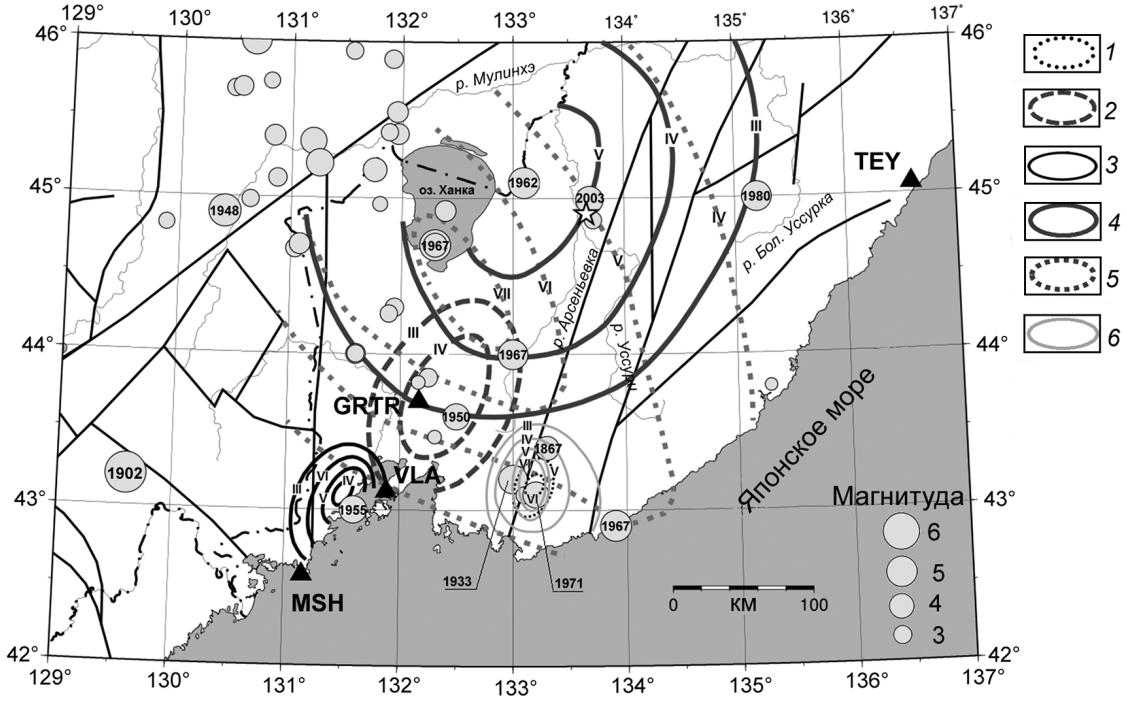

Рис. 2. Коровая сейсмическая активность (серые кружки) с $h \leq 40$ км и схема основных разломных структур (сплошные линии) южного и центрального Приморья и прилегающей территории.

Схема изосейст землетрясений Южного Приморья за период 1933–1971 гг. (с нормальной глубиной очага) по данным из работ [7, 13, 14, 23]. Штрихпунктирной линией показана государственная граница России и КНР.

Цифры в кружках обозначают год соответствующего сейсмического события. Звездочкой обозначен эпицентр Приморского землетрясения 12.04.2014 г. Треугольниками показаны ближайшие к эпицентру действующие сейсмические станции Сахалинского филиала и Центрального отделения ФИЦ ЕГС РАН: TEY – пос. Терней, GRTR – пос. Горнотаежное, VLA – г. Владивосток, MSH – мыс Шульца. Разломы показаны согласно [26]. Эпицентры землетрясений даны по данным каталога СФ ФИЦ ЕГС РАН.

Римскими цифрами обозначены изосейсты (в баллах): *1* – Партизанских 1933 и 1962 гг. землетрясений, *2* – Артем-Шкотовского 1950 г., *3* – Приморского 1955 г., *4* – Лесозаводского 1962 г., *5* – Ханкайского 1967г., *6* – Николаевского 1971 г. землетрясений.

Таблица 1. Положения гипоцентров и краткие описания сейсмических событий, ощущавшихся с наибольшей интенсивностью на территории южного Приморья.

№ п/п	Название, дата главного толчка	M	h, км	I_0, балл	Краткое описание
1	2	3	4	5	6
1	Сучанское, 19.09.1933г.	4.5	8	7–8	Первое достоверно зафиксированное землетрясение в Приморье с эпицентром вблизи г. Сучан. Подробного описания не сохранилось. Инструментальных данных нет. Сведения собраны Л.П. Крыжневой и Г.П. Чермных (сейсмическая станция Владивосток) путем опроса местных жителей. Для землетрясения характерна малая глубина очага, т.к. в г. Сучан оно ощущалось как 7-балльное землетрясение, а на расстоянии 6–7 км от центра города как 4–5-балльное [8, 11]. Изосейсты даны по М.Г. Органову (рис. 2). По макросейсмическим проявлениям сходно с землетрясением 1962 г. (см. п. 5 таблицы).
2	Артем-Шкотовское, 10.12.1950 г.	4.1	14	5	Ощущалось на большой площади от пос. Шкотово до с. Ивановка и от с. Тереховки до Ново-Хатуничей [14]. Инструментальных данных нет. В районе пос. Анучино, г. Владивостока, г. Уссурийска и окрестностях пос. Кангауз интенсивность составила 3 балла. Изосейсты даны по М.Г. Органову (рис. 2). Площадь 4- и 3-балльных сотрясений равна 900 и 3500 км^2, соответственно.
3	Приморское, 14.09.1955 г.	4.4	6	7	Произошло в районе ст. Приморская с эпицентром в пос. Кедровая Падь. Макросейсмические проявления землетрясения в ближайших к эпицентру населенных пунктах соответствуют воздействиям в 7 баллов [7]. Площадь 7-балльных сотрясений составила 50 км^2, 6-балльных – 610 км^2, 5-балльных – 800 км^2 (рассчитаны по схеме Н.М. Органовой [13]).
4	Лесозаводское, 15.08.1962 г.	5.0	30	5–6	По Л. Д. Мирошникову, землетрясение ощущалось силою до 6 баллов в г. Лесозаводске и силой до 3 баллов во Владивостоке. Во время толчка наблюдалось смещение предметов в северо-западном направлении, качание деревьев, падение висящих на стенах предметов, остановка часов, хлопанье дверей и осыпание штукатурки. По данным М.Г. Органова, магнитуда составила 5.5, глубина очага 37 км, интенсивность 6 баллов. Эпицентр землетрясения он относит к долине р. Сунгач в 42 км юго-западнее г. Лесозаводска.
5	Сучанское, 01.09.1962 г.	2.7	1–2.5	7	Сопровождалось сильным гулом, форшоками и афтершоками меньшей силы (5 событий). На территории г. Сучан и п. Углекаменск интенсивность достигала 7 баллов. 6-балльная зона охватила площадь до 6 км^2. Площади зон 5- и 4-балльных сотрясений составили приблизительно 30 и 100 км^2, соответственно. Ориентация плестосейстовой области в северо-северо-восточном направлении коррелирует с простиранием складчатых структур района, несколько отклоняясь от него в меридиональном направлении [7, 8, 11, 12].
6	Ханкайское, 15.08.1967 г.	5.0	2–10	7–8	Зарегистрировано сейсмической станцией Владивосток. Положение эпицентра локализовано в районе оз. Ханка, в 155 км к северу от Владивостока [7]. Землетрясение ощущалось примерно на ¾ площади Приморского края, а в ближайших к эпицентру пунктах значительно повредило сельские постройки. После основного события был отмечен ряд афтершоков, которые ощущались в радиусе 25 км и более. 7–8-балльные сотрясения наблюдались на эпицентральных расстояниях до 50 км, а в направлении пос. Анучино до 87 км. Землетрясение ощущалось на расстояниях до 225 км. Общая площадь сотрясений составила примерно 200 000 км^2 [23].

Таблица 1. (Продолжение).

1	2	3	4	5	6
7	Преобра-женское, 15.08.1967 г.	5.0	20	5	Инструментальных данных нет, но ощущалось многими людьми, находившимися в помещениях и на открытом воздухе. Спавшие просыпались и в испуге выбегали из домов. В деревянных домах скрипели полы и стены, дребезжали оконные стекла, в многоэтажных домах падали легкие предметы, посуда. Домашние животные и птицы проявляли беспокойство [17].
8	Николаевское, 18.12.1971 г.	4.1–4.2	5–7	7–8	Произошло между с. Николаевка и г. Сучан. Изосейсты даны по Г.П. Чермных [14]. Обнаруженные сейсмодислокации наблюдались в г. Сучан и с. Николаевка в сравнительно узкой субширотной зоне. Землетрясение сопровождалось взрывоподобным гулом низкого тона. Интенсивность сотрясений резко убывала – на расстоянии 25 км к северу и 45–50 км к юго-востоку она не превышала 3 баллов. Локальный эффект свидетельствует об очень небольшой глубине очага (менее 5 км). Особо резкое затухание эффекта землетрясения наблюдается вдоль Южно-Сихотэ-Алинской шовной зоны, так как к югу сейсмические колебания свободно распространялись на расстояние до 70–80 км [7].
9	Покровское, 10.07.1976 г.	3.1	2–10	7	Произошло вблизи с. Покровка Октябрьского района. Началось с подземного гула и резкого толчка типа удара [15]. В стенах домов появились трещины, отмечалось падение кусков штукатурки, были повреждены печи в домах, упали дымовые трубы. О макросейсмических проявлениях в рельефе сведений не имеется.
10	Крыловское, 07.10.2003 г.	4.4	30	3–4	Произошло в 6 км к северу от с. Крыловка Кировского района. На расстояниях до 89 км ощущались сотрясения до 3–4 баллов, на расстояниях до 136 км – 2–3 балла. Макросейсмический эффект был незначительный.

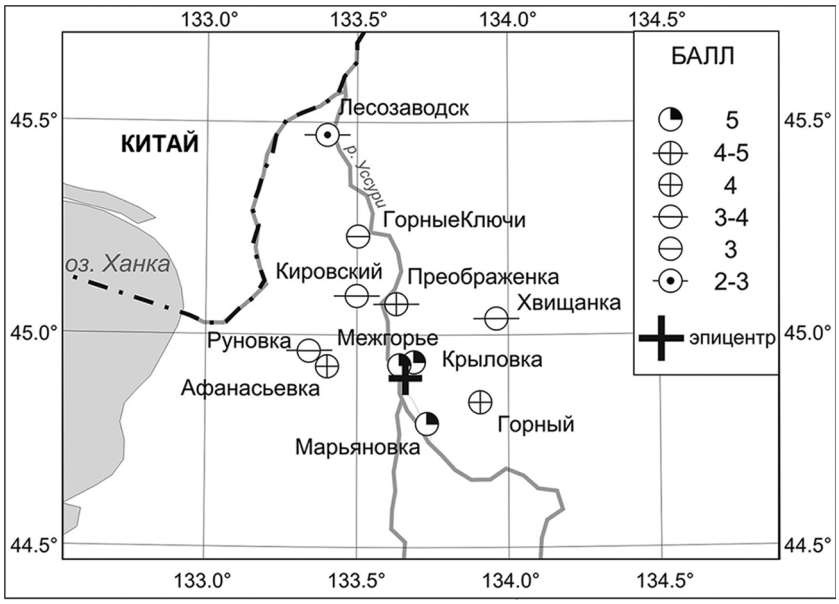

Рис. 3. Карта интенсивности проявлений землетрясения 12 апреля 2014 г.

Штрихпунктирной линией обозначена государственная граница между Россией и КНР.

ной магнитуды и глубины и, возможно, является характерной особенностью Приморья. В юго-западном направлении нами не зафиксировано ни одного свидетельства о макросейсмических проявлениях данного сейсмического события. Интересно отметить, что это зафиксированное множеством свидетелей землетрясение было практически обойдено вниманием СМИ. Только одна газета [3] поместила краткую и совершенно неверную информацию о самом событии и несколько описаний ощущаемости землетрясения в г. Дальнереченске, удаленном от эпицентра на расстояние свыше 100 км.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИПОЦЕНТРА И МЕХАНИЗМА ОЧАГА

Приморское землетрясение 12 апреля 2014 года 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, M_w = 7.6, 12.04.2014, 20:14:39 UTC, http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usc000phx5#executive).

Расчеты всех основных параметров очага выполнены с использованием программы MGP [18].

Координаты эпицентра определены методом засечек 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), станции Дальневосточного отделения РАН (CHMN, VNNI) [27], станции Центрального отделения (ЦО) ФИЦ ЕГС РАН (KLR, MSH). Также были использованы материалы наблюдений ИСЦ «Обнинск» по телесейсмическим станциям.

Таблица 2. Макросейсмические данные о землетрясении 12 апреля 2014 г.

№	Населенный пункт	Расстояние от эпицентра **Δ,** км	Географическое положение населенного пункта	
			φ°, N	λ°, E
	5 баллов			
1	Межгорье	4	44.93	133.64
2	Крыловка	5	44.94	133.69
3	Марьяновка	13	44.79	133.73
	4–5 баллов			
4	Преображенка	20	45.08	133.63
	4 балла			
5	Афанасьевка	21	44.93	133.40
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
	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

На трех станциях (TEY, MSH, OCTB) удалось идентифицировать волны sP, отраженные вблизи эпицентра, по которым была уточнена глубина очага (*h*) землетрясения. Результаты определения параметров гипоцентра и магнитуды приведены в табл. 3.

В 22 часа 58 мин по Гринвичу, т.е. спустя 36 минут 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. 3. Анализ имеющихся волновых форм ближайших сейсмических станций указывает на то, что афтершоковая активность не ограничилась единственным событием, однако существующая разреженная сеть сейсмических станций, обеспечивающая низкую представительность (M ≥ 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 GSN (http://ds.iris.edu/forms/webrequest/) и агентства NIED (http://www.fnet.bosai.go.jp). 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 работе [6], позволивший выбрать одно решение из двух возможных. Результаты расчетов приведены в табл. 4 и показаны на рис. 4.

Согласно полученным данным, механизм землетрясения относится к сдвиговому типу, с нодальными плоскостями субширотного (NP_1) и субмеридионального простирания (NP_2).

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНЕ ЭПИЦЕНТРА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В тектоническом отношении эпицентры землетрясения и его афтершока (рис. 5) находятся в пре-

Таблица 3. Основные параметры землетрясения 12 апреля 2014 г. и его афтершока по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН. В скобках указано количество сейсмостанций, использованных для определения энергетического класса и магнитуды.

№	Дата, год месяц день	t_0, час мин сек	δt_0, сек	Гипоцентр						Магнитуда
				$\varphi°, N$	$\delta\varphi°$	$\lambda°, E$	$\delta\lambda°$	h, км	Δh, км	
1	2014 04 12	21 22 44.3	0.5	44.90	0.03	133.66	0.09	14	1	*Kp* = 11.9 (8); *MPV(A)* = 4.5 (10)
2	2014 04 12	22 58 43.8	0.1	44.86	0.02	133.72	0.03	10	1	*Kp* = 9.2 (3); *MPV(A)* = 3.6 (2)

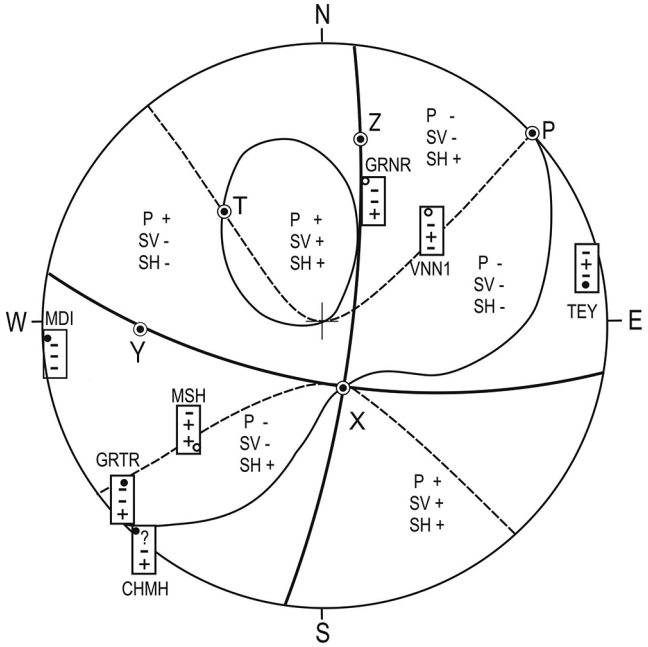

Рис. 4. Стереограмма механизма очага в проекции на нижнюю полусферу.

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

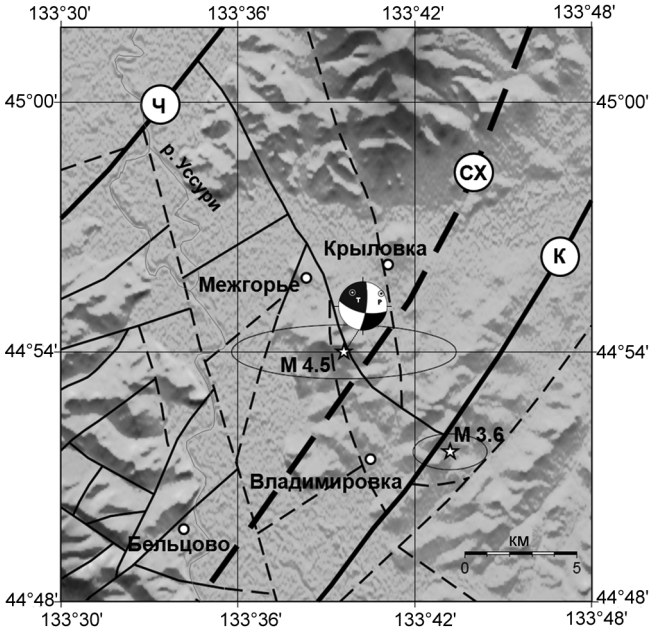

Рис. 5. Тектоническое строение исследуемого района.

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.

Таблица 4. Основные параметры механизма очага землетрясения 12 апреля 2014 г.

Знаки				Основные оси напряжений						Нодальные плоскости					
P-волна		S-волна		*P*		*N*		*T*		*NP₁*			*NP₂*		
+	-	*SV*	*SH*	*PL*	*AZ*	*PL*	*AZ*	*PL*	*AZ*	*STK*	*DIP*	*SLIP*	*STK*	*DIP*	*SLIP*
8	10	12	6	8	56	62	162	27	322	103	66	14	7	77	155

делах 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 километров. 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 простирания данный район разбит на множество отдельных блоков, испытавших значительные вертикальные смещения [2]. Сколько-нибудь надежные инструментальные данные о современной кинематике разрывных структур в данном районе отсутствуют.

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

Сопоставление азимута простирания разлома (СЗ 326º), с которым наиболее вероятно отождествляется местоположение эпицентра землетрясения, и механизма очага (NP_1 − 103º, NP_2 − 7º) не позволяет уверенно выделить одну из нодальных плоскостей в качестве плоскости сейсмодислокации. Весьма зна-

чительные различия (> 40º) 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.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученная из решения механизма очага ориентация осей сжатия-растяжения (рис. 4, 5), имеющиеся данные о кинематике главных разломных структур [2] и результаты ряда геодинамических наблюдений в Приморском крае и на сопредельных с ним территориях (см., например, работу [1]) указывают на то, что территория Приморья находится в обстановке регионального северо-восточного сжатия, действующего под углом к системе субмеридиональных (Крыловский и Чернореченский) разломов, определяющих тектоническое строение района. В этом случае вполне вероятным типом смещения в очаге представляется левостороннее смещение по выделенному нами или достаточно близкому к нему незакартированному разлому субширотного простирания, который соответствует нодальной плоскости NP_1 с крутым (66º) падением плоскости сейсморазрыва к юго-западу. На наличие левосторонних движений в геологическом прошлом указывает и взаимное положение элементов различных геологических структур, заключенных между Крыловским и Чернореченским разломами и рассекаемых многочисленными разрывными структурами более низких порядков [2], однако определение возраста и степени достоверности таких смещений нуждается в отдельном исследовании. Имеющиеся данные не позволяют исключить и возможность правостороннего смещения по второй нодальной плоскости (NP_2).

Источник регионального сжатия рядом авторов ассоциируется с вековыми движениями и взаимодействием крупнейших литосферных плит региона − Евроазиатской, Северо-Американской и Тихоокеанской, а также предположительно выделяемых в пределах первых двух плит Амурской и Охотоморской микроплит [24, 33]. 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 п. Терней в акватории Японского моря [19, 28].

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 [30]. 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 жесткоупругим 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 (см. раздел 2) 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 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 [20].

Еще одной косвенной причиной Приморского землетрясения 2014 года могло стать мегаземлетрясение Тохоку M_w 9.0, произошедшее 11.03.2011 г. у северо-восточного побережья японского о. Хонсю [32]. Инициированные им косейсмические и наблюдаемые в настоящее время GPS-методами постсейсмические смещения земной коры в Приморье [31] вызвали изменение напряженно-деформированного состояния литосферы края, особенно в южных и центральных районах, что могло спровоцировать активизацию отдельных разломных структур в Приморье. Согласно работе [29], такое изменение уже экспериментально обнаружено для ряда крупных разломных структур северо-восточного Китая. Принимая во внимание различия в скоростях затухания постсейсмических движений и деформаций земной коры в южной части Приморья (где они наиболее интенсивны), центральных и северных районах края (где скорости таких движений быстро уменьшаются), в ближайшие десятилетия можно ожидать перераспределения напряжений в земной коре региона и, как следствие этого, дальнейшую активизацию разломных структур и повышение уровня связанной с ними мелкофокусной сейсмичности.

Помимо рассмотренных выше источников, причинами коровой сейсмической активности южного Приморья могут быть и более сложные процессы и механизмы (см., например, работу [21]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным региональных сейсмических сетей определены параметры гипоцентра Приморского зем-

летрясения 12.04.2014 г., $M = 4.5$, $h = 14$ км. Впервые для землетрясения в Приморском крае получен механизм очага − субмеридиональный или субширотный сдвиг. Гипоцентр сейсмического события отождествлен с конкретной разломной структурой. Собрана информация о макросейсмических проявлениях землетрясения. Максимальная интенсивность сотрясений на поверхности составила 5 баллов по шкале MSK-64. В ближайших к эпицентру населенных пунктах наблюдались незначительные повреждения зданий (образование трещин между потолочными плитами и в стенах, высыпание штукатурки), падение предметов. Землетрясение сопровождалось афтершоком, параметры гипоцентра которого также были определены. Предыдущее сейсмическое событие в данном районе произошло в 10 км к северо-востоку чуть более 10 лет назад (7.10.2003 г.) и имело близкую магнитуду $M = 4.4$, но значительно большую глубину гипоцентра − 30 км, что может указывать на повышенную сейсмическую и геодинамическую активность данного района.

Для надежной фиксации потенциально опасных коровых землетрясений с $M = 4–5$ и глубиной от нескольких до 15–20 км необходимо сгущение сети цифровых сейсмических станций на территории Приморья и обеспечение оперативного обмена информацией с сейсмологическими службами Японии и Китая, располагающими обширными сетями цифровых станций высокой плотности.

Настоящая работа частично поддержана грантами РФФИ 15-37-20269, 17-55-53110 и грантами International Science & Technology Collaborative Program of China (No. 2015DFR21100); National Natural Science Foundation of China (Nos. 41461164004, 41611530702).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашурков С.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Лухнев А.В., Сорокин А.П., Серов М.А., Бызов Л.М. Кинематика Амурской плиты по данным GPS-геодезии // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 2. С. 299–311.
2. Геологическая карта. 1:200 000 и пояснительная записка: Геологическое строение и полезные ископаемые листов L-53-XIV, XV, XX, XXVI (участок Кабаргинский). Отчет Кабаргинской партии о результатах геологического доизучения 1:200 000 за 1995–2002 гг. в 4-х кн. Кн. 3. Лист L-53-XXVI / Г.Л. Амельченко, А.Н. Найденко, В.И. Рыбалко; Отв. испол. В.И. Рыбалко. Владивосток: Мин-во природных ресурсов РФ; Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды по Приморскому краю. ФГУГП «Приморская поисково-съемочная экспедиция». Владивосток, 2002. 134 с.
3. Дальнеречье. Общественно-политическая газета города Дальнереченска и Дальнереченского района. Дальнереченск. 2014. № 15 (1287). С. 5.
4. Ким Чун Ун, Андреева М.Ю. Каталог землетрясений Курило-Камчатского региона (1737–2005 гг.) // Препринт. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2009. 126 с.
5. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации˙ОСР-97. 1:8 000 000. 1999 / Гл. ред. В.Н. Страхов, В.И. Уломов; Отв. сост.: В.И. Уломов, Л.С. Шумилина, А.А. Гусев, В.М. Павлов, Н.С. Медведева. ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации˙ОСР-97. 1:8 000 000: Объясн. зап. и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ, 1999. 57 с.
6. 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.
7. Леонов Н.Н., Берсенев И.И., Гришкян Р.И., Гнибиденко Г.С., Мастблин А.А., Органов М.Г., Парфенов Л.И., Уфимцев Г.Ф., Чермных Г.П. Сейсмическое районирование Приморья и Приамурья // Сейсмическое районирование Курильских островов, Приморья и Приамурья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 143–156.
8. Мирошников Л.Д. О сейсмичности Приморья // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. 1974. № 6. С. 471–476.
9. Олейников А.В., Олейников Н.А. Палеосейсмология и сейсмическая опасность Приморского края // Вестн. ДВО РАН. 2006. № 3. С. 76–84.
10. Олейников А.В., Олейников Н.А. Палеосейсмология. Владивосток: Дальнаука, 2009. 164 с.
11. Органов М.Г. Новые данные о сейсмичности Приморского края // В помощь производству. Владивосток: ДВПИ, 1962. № 2. С. 117–118.
12. Органов М.Г. Сейсмическое микрорайонирование территории города Находки: Тез. докл. на сессии ученого совета Дальневосточного научно-исследовательского института по строительству по итогам научных исследований, 1961. Владивосток, 1962 б. С. 6–8.
13. Органова Н.М., Кручинина Л.М. Геолого-геофизические условия сейсмичности в юго-западной части Приморья // Сов. геология. 1978. № 12. С. 122–124.
14. Органова Н.М. О прогнозе сейсмичности Приморья // Климоморфогенез и региональный географический прогноз. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 151–168.
15. Органова Н.М. Сейсмическое проявление современных движений юга Дальнего Востока и сопредельных территорий // Современные движения земной коры. Геолого-геоморфологические исследования. М.: Радио и связь, 1982. С. 103–108.
16. 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, 1997. С. 111–153.
17. Поплавская Л.Н., Оскорбин Л.С., Волкова Л.Ф., Бойчук А.М. Землетрясения Дальнего Востока // Землетрясения в СССР в 1967 году. М.: Наука, 1970. С. 150–188.
18. Поплавская Л.Н., Бобков А.О., Кузнецова В.Н., Нагорных Т.В., Рудик М.И. Принципы формирования и состав алгоритмического обеспечения регионального центра об-

работки сейсмологических наблюдений (на примере Дальнего Востока) // Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. М.: Наука, 1989. С. 32–51.
19. 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, 1997. С. 39–44.
20. Прытков А.С. Современные движения земной коры Сахалино-Курильского региона и моделирование геодинамических процессов по данным GPS-наблюдений: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2008. 113 с.
21. Степашко А.А. Глубинные основы сейсмотектоники Дальнего Востока: Приамурская и Приморская зоны // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 1. С. 3–15.
22. Сушков Н.Г. Землетрясения на территории Приморского края в 1867–1988 гг. // Сейсмичность и сейсмостойкое строительство на Дальнем Востоке. Владивосток, 1989. С. 102–106.
23. Чермных Г.П. Землетрясения в Приморском крае 15 августа 1967 г. // Землетрясения в СССР в 1968 году. М.: Наука, 1972. С. 186–188.
24. Apel E.V., Burgmann R., Steblov G. et al. Independent active microplate tectonics of northeast Asia from GPS velocities and block modeling // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33, Is. 11. P. L11303-11308. DOI:10.1029/2006GL026077.
25. DeMets C., Gordon R.G., Argus D.F. Geologically current plate motions // Geophys. J. Intern. 2010. V. 181, Is. 1. P. 1–80. DOI:10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x.
26. Karsakov L.P., Zhao C.J. Tectonic map of the Central Asian-Pacific belts junction area. Beijing: Geol. Publ. House, 2001. P. 98–163.
27. 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. Is. 3. P. 209–218. DOI: 10.3103/S0747923915030068.
28. Nakanishi I., Moriya T., Endo M. et al. The November 13, 1990 earthquake off the coast of the Primorskij Region, the Eastern Russia // Geophys. Res. Lett. 1992. V. 19, Is. 6. P. 549–552.
29. Shao Z., Zhan W., Zhang L. et al. Analysis of the far-field co-seismic and post-seismic responses caused by the 2011 M_W 9.0 Tohoku-Oki earthquake // Pure & Appl. Geophys. 2016. V. 173, Is. 411. P. 411–424. DOI:10.1007/s00024-015-1131-9.
30. Shestakov N.V., Gerasimenko M.D., Takahashi H. et al. Present tectonics of the southeast of Russia as seen from GPS observations // Geophys. J. Intern. 2011. V. 184. P. 529–540. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2010.04871.x.
31. Shestakov N.V., Takahashi H., Ohzono M. et al. 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.
32. Simons M., Minson S.E., Sladen A. et al. The 2011 magnitude 9.0 Tohoku-Oki Earthquake: Mosaicking the megathrust from seconds to centuries // Sci. 2011. V. 332, Is. 6036. P. 1421–1425. DOI:10.1126/science.1206731.
33. Zonenshain L.P., Savostin L.A. Geodynamics of the Baikal rift zone and plate tectonics of Asia // Tectonophysics. 1981. V. 76. P. 1–45.

Рекомендована к печати В.Г. Быковым

N.V. Shestakov, D.A. Safonov, N.S. Kovalenko, S.A. Kasatkin, S.M. Krasnopeev, M.D. Gerasimenko, and Guojie Meng

The investigation results of the April 12, 2014, *M* = 4.5 Primorye earthquake (Far Eastern Russia)

Primorye is a region with quite moderate shallow seismicity which has been insufficiently investigated so far in this respect. Based on the obtained instrumental data of regional seismic networks and macroseismic data collected in southwestern Primorye on the crustal earthquake with *M* = 4.5 occurred on April 12, 2014, we have first succeeded in determining the hypocenter parameters and the focal mechanism of the mainshock of this shallow earthquake and estimating the hypocenter parameters of the following aftershock.

Key words: **Primorye 2014 earthquake, hypocenter parameters, focal mechanism, macroseismic manifestations, Far Eastern Russia.**