

ПРИАМУРЬЕ И ПРИМОРЬЕ

Н.С. Коваленко¹, Т.А. Фокина¹, Д.А. Сафонов^{1,2}¹Сахалинский филиал ГС РАН, г. Южно-Сахалинск kovalenko@seismo.sakhalin.ru²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, d.safonov@imgg.ru

Сеть станций. Условия для непрерывной регистрации землетрясений на территории Приамурья и Приморья в 2010 г., по сравнению с таковыми в 2009 г. [1], несколько изменились. Сейсмостанция «Ясный» в 2009 г. была остановлена, затем перенесена и запущена в работу с названием «Октябрьский» 14 января 2010 г. в пос. Октябрьский ($\varphi=53.0176^\circ$ N, $\lambda=128.6437^\circ$ E).

В результате на территории региона продолжили свою работу восемь аналоговых сейсмических станций («Николаевск-на-Амуре» (NKL), «Бомнак» (BMKR), «Кировский» (KROS), «Зея» (ZEA), «Горный» (GRNR), «Экимчан» (EKMR), «Терней» (TEY) «Октябрьский»), а также шесть цифровых станций («Хабаровск» (KHBR), «Горный» (GRNR), «Терней» (TEY), «Зея» (ZEA), «Горнотаежное» (GRTR), «Охотск» (OKHT)) на базе регистраторов Datamark LS-7000XT с короткопериодными сейсмометрами L4C-3D и длиннопериодными – STS-2, установленными в период 2005–2007 гг. в рамках научного сотрудничества по проекту «Исследование сеймотектоники Охотоморской плиты» между сообществом университетов Японии и ГС РАН. Данные о станциях и параметры аппаратуры приведены в [2], их положение показано на рис. 1.

К сожалению, не обошлось без простоев в работе некоторых сейсмических станций, что негативно повлияло на результаты обработки и представительность землетрясений в указанное время. Данные по длительности простоев приведены в табл. 1. По причине малочисленной сети сейсмостанций на территории региона, отсутствие данных даже с одной станции усугубляет ситуацию с мониторингом.

На сейсмических станциях «Октябрьский», «Кировский», «Бомнак», «Терней» простои значительно превысили норму.

На станции «Бомнак» простои главным образом были обусловлены частыми поломками регистрирующего оборудования, отсутствием запасных калиматорных ламп и многократными отключениями оборудования СКМ-3 во время гроз.

Основная причина простоя на станции «Кировский» – отсутствие длительное время электроэнергии из-за аварии ЛЭП. Изношенные аккумуляторы не могли обеспечить бесперебойное питание оборудования, а автономный электрогенератор не предназначен для длительной непрерывной работы.

Простои на станции «Октябрьский» в пос. Октябрьский обусловлены прежде всего переездом, наладкой и отладкой оборудования и оформлением документов.

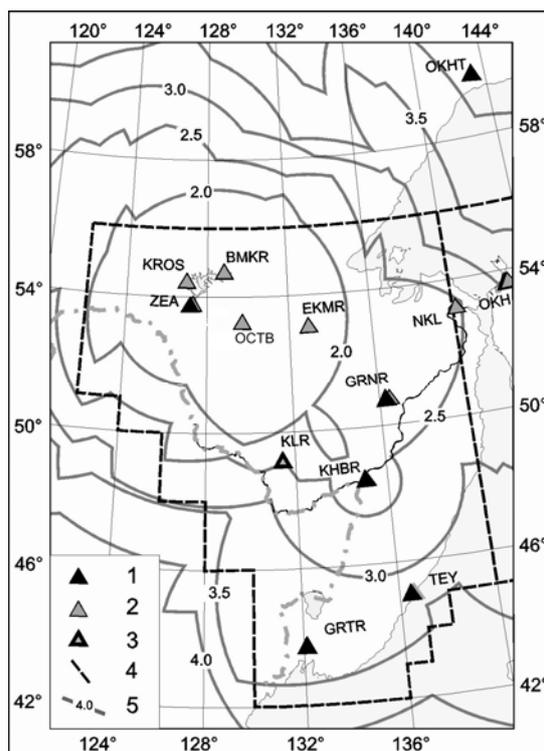


Рис. 1. Карта магнитудной представительности землетрясений M_{\min} , Приамурья и Приморья в 2010 г.

1, 2 – цифровая и аналоговая сейсмические станции соответственно; 3 – аналоговая сейсмическая станция ГС РАН «Кульдур»; 4 – граница региона; 5 – изолиния M_{\min} .

Таблица 1. Длительность простоев регистрирующих каналов на станциях Приамурья и Приморья в 2010 г. из [3]

№	Наименование сейсмических станций	Тип комплекта аппаратуры	Время перерывов в регистрации (в часах)				Сумма за год
			I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал	
1	Бомнак	СКМ-3	86.2	59.4	128.9	106.0	380.5
2	Горный	СКМ-3	3.7	0.7	12.9	15.7	33.0
		LS7000ХТ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Зея	СКМ-3	0.8	5.2	13.2	18.7	37.9
		СКД	1.2	9.2	1.1	3.9	15.4
		LS7000ХТ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	Кировский	СКМ-3	38.3	89.9	509.5	92.4	730.1
5	Николаевск-на-Амуре	СКМ-3	0.0	3.9	38.6	183.5	226.0
		СКД	64.0	9.0	200.5	13.0	286.5
6	Терней	СКМ-3	8.6	0.0	0.0	8.6	17.2
		СКД	0.0	3.2	31.5	16.6	51.3
		LS7000ХТ	599.2	0.0	0.0	17.4	616.6
7	Экимчан	СКМ-3	7.4	63.7	44.3	40.4	155.8
8	Октябрьский	СКМ-3	1064.0	45.7	87.4	79.0	1276.1
9	Горнотаежное	LS7000ХТ	0.0	0.0	0.0	299.1	299.1
10	Охотск	LS7000ХТ	0.0	0.0	17.9	0.0	17.9
11	Хабаровск	LS7000ХТ	0.0	0.0	0.0	126.1	126.1

Потеря данных цифровой станции Datamark на сейсмостанции «Терней» в первом квартале произошла из-за поражения вирусами Compact Flash 2.0 GB, ноутбука и жесткого диска архивирования данных HD.

Карта представительности M_{min} в 2010 г. не претерпела изменений.

Действующая в 2010 г. сеть станций (рис. 1), как и ранее [1], обеспечила в районе станций «Кировский», «Бомнак», «Зея», «Ясный», «Экимчан» представительный уровень магнитуды $M_{min}=2.0$ ($K_{min}\approx 8$). На значительной территории Приамурья и Приморья не должны быть пропущены землетрясения с $M_{min}=3$ ($K_{min}\approx 9$), но в южной части региона уверенно могут регистрироваться лишь события с $M_{min}=3.5$ ($K_{min}\approx 10$). Пересчет классов K_p в магнитуды выполнен по формуле Т.Г. Раутиан из [4]: $M_{расч} = (K_p - 4) / 1.8$.

Методика обработки. Для локации землетрясений региона привлекались данные всех сейсмических станций сети Сахалинского филиала ГС РАН: Приамурья и Приморья [2], Сахалина [5], Курил [6], сейсмической станции «Кульдур» (KLR) ГС РАН, станционные бюллетени Прибайкалья, Якутии, Сейсмологический бюллетень ГС РАН (MOS) [7], сведения агентств NEIC, JMA, ISC из бюллетеня ISC [8].

Методика обработки данных [9–14], границы региона и сейсмоактивных районов [15] не изменились, по сравнению с таковыми в 2009 г. [1].

В региональный каталог [16], схема содержания которого изображена на рис. 2, включены основные параметры 1397 сейсмических событий, из них – 560 коровых ($h=4–27$ км) землетрясений, 8 – глубокофокусных с $h=324–578$ км, а 829 событий отнесены к категории «возможно взрыв».



Рис. 2. Схема содержания каталога землетрясений Приамурья и Приморья в 2010 г.

Механизмы очагов определены для двух глубокофокусных землетрясений [17], главного толчка 18 февраля в 01^h13^m с $MPVA=6.6$, $M_w_{NIED}=6.8$ и его афтершока 21 февраля в 07^h29^m с $MPVA=4.9$, $M_w_{NIED}=4.5$ [16]. Ощутимыми были четыре землетрясения: 18 февраля в 01^h13^m с $MPVA=6.6$, 30 марта в 12^h04^m с $K_p=11.0$, 23 сентября в 22^h09^m с $K_p=12.7$ и 23 декабря в 01^h01^m с $K_p=11.7$ [16, 18]. Число испытавших сотрясения населенных пунктов составило в 2010 г. $n=30$ [19].

17 коровых землетрясений из 560 и 58 событий категории «возможно взрыв» из 829, помеченные в графе «район» каталога [16] буквами «Я» или «Б», находятся вне зоны ответственности сети региона и в обзоре не анализируются. На рис. 3 дано помесечное распределение взрывов, землетрясений и всех событий вместе. Как видим, наибольшее число ($N_{max}=75$) землетрясений зарегистрировано в мае, наименьшее ($N_{min}=28$) – в ноябре.

Взрывы. Методика обработки взрывов не изменилась: продолжалась работа по распознаванию записей промышленных взрывов в соответствии с рекомендациями в [20]. Но надо признать, что не всегда уверенно можно было идентифицировать записи событий, и, возможно, небольшая часть взрывов попала в категорию естественных землетрясений.

Изменения в местоположении площадок взрывных работ и карта эпицентров событий «возможно взрыв» представлены на рис. 4. Новая площадка взрывных работ появилась западнее Экимчана – здесь с августа 2010 г. начал работу Маломырский рудник. Немного видоизменились площадки к западу от Зейского водохранилища.

Суммарное число взрывов на территории Приамурья и приграничного Китая увеличилось почти в два раза ($N=829$ в [16]), по сравнению с таковым в 2009 г. ($N=414$ в [18]). Связано это главным образом с продолжением активного промышленного освоения территории Приамурья. В Приморском крае взрывы малых энергий не регистрируются по причине слабой оснащённости территории сейсмическими станциями.

Нельзя не заметить, что впервые число техногенных событий в 2010 г. превосходило число зарегистрированных тектонических землетрясений в 1.4 раза. Максимальная активность взрывных работ отмечается в марте ($N=84$) и августе ($N=89$) (рис. 3). Диапазон классов взрывов составил $K_p=5.5-9.3$, а величина суммарной сейсмической энергии равна $\Sigma E_{взр}=2.46 \cdot 10^{10}$ Дж, что в 2.1 раза выше суммарной энергии взрывов за 2009 г. ($\Sigma E_{взр}=1.17 \cdot 10^{10}$ Дж [1]), но составляет менее 1% годовой суммарной сейсмической энергии коровых землетрясений. Самый сильный ($K_p=9.3$) взрыв был

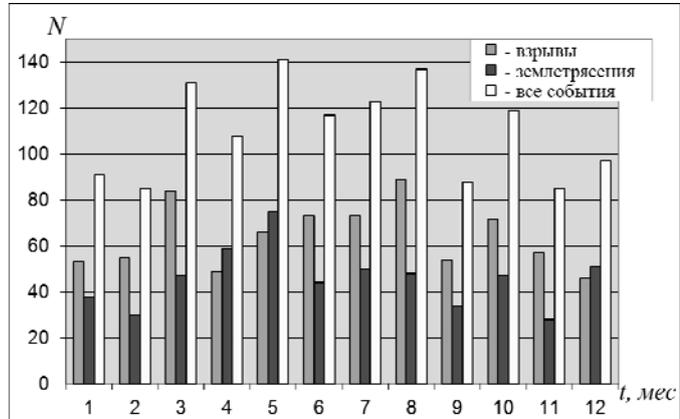


Рис. 3. Распределение ежемесячных чисел взрывов, землетрясений и всех сейсмических событий Приамурья и Приморья в 2010 г.

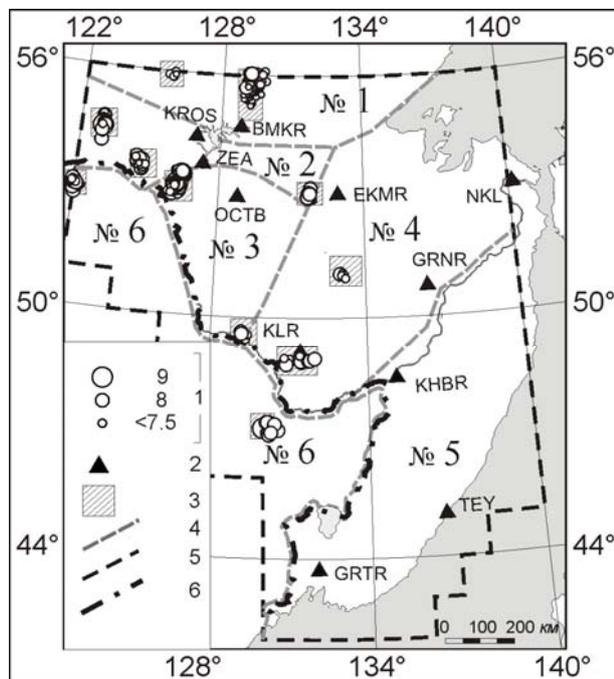


Рис. 4. Карта эпицентров взрывов на территории Приамурья и Приморья в 2010 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – сейсмическая станция; 3 – площадка взрывных работ; 4 – граница условного района; 5 – граница региона Приамурья и Приморья; 6 – государственная граница.

зарегистрирован 13 марта в 21^h11^m на территории Китая, в окрестностях г. Хэган, в районе угольных карьеров. На российской территории наиболее сильный ($K_p=9.0$) взрыв зарегистрирован 26 мая в 03^h34^m на площади Покровского рудника в Амурской области.

Распределение взрывов по районам региона представлено в табл. 2. В 3.6 раза их число увеличилось в Становом районе (№ 1) (с $N=82$ в 2009 г. до $N=293$ – в 2010 г.), энергетический диапазон которых составил $K_p=5.7-8.3$. Продолжается увеличение объема взрывных работ в Янкан-Тукурингра-Джагдинском (№ 2) (с $N=209$ в 2009 г. до $N=316$ в 2010 г.). На 25.7 % больше зарегистрировано взрывов в Зейско-Селемджинском районе (№ 3). Число взрывов в Турано-Буреинском районе составило $N=18$, что соразмерно с таковым в 2009 г. ($N=13$). В Приграничном районе (№ 6) (на территории КНР) число зарегистрированных взрывов возросло (с $N=18$ в 2009 г. до $N=35$ – в 2010 г.), которые производились в районе карьера «Гулянь» на крайнем западе района и в угольных карьерах вблизи г. Хэган. В районе № 5 существующей сетью станций взрывы не зарегистрированы.

Таблица 2. Распределение числа взрывов в регионе Приморья и Приамурья в 2010 г.

№	Район	N_{Σ}	$K_{\min}-K_{\max}$
1	Становой	293	5.7–8.3
2	Янкан-Тукурингра-Джагдинский	316	5.5–8.8
3	Зейско-Селемджинский	109	6.1–9.0
4	Турано-Буреинский	13	6.5–8.1
5	Сихотэ-Алиньский	0	
6	Приграничный	35	6.5–9.3

Карта эпицентров землетрясений представлена на рис. 5, где плотность эпицентров северо-западной части региона осталась на том же уровне, что и в 2009 г. Умеренный уровень сейсмической активности отмечен в зоне влияния Северо-Тукурингрского разлома, пересекающего в южной части Зейское водохранилище. Заметно возросла сейсмическая активность северо-восточной части региона, где произошло самое сильное ($K_p=12.7$) коровое землетрясение (6) [16]. Несколько активизировался район в верховье р. Зея. В 2010 г. возросла энергетическая составляющая глубокофокусных землетрясений юга Приморья. Сейсмическое затишье зарегистрировано на территории Амурско-Зейской равнины, а также в центральной и восточной областях хребта Сихотэ-Алинь.

Среди коровых землетрясений наиболее значительным событием 2010 г. стало ощутимое землетрясение (6), которое произошло севернее оз. Удыль 23 сентября в 22^h09^m с глубиной очага $h=14\pm 4$ км и $K_p=12.7$, $MLH=4.4$ в районе № 4 [16]. В его очаге выделилась энергия, равная $\Sigma E=5.01\cdot 10^{12}$ Дж. В табл. 3 размещены макросейсмические сведения о данном землетрясении, включенные в каталог [16] и в макросейсмический эффект [18].

Таблица 3. Макросейсмические данные о землетрясении 23 сентября 2010 г. в 22^h09^m с $MLH=4.4$

№	Пункт	$\Delta, км$	№	Пункт	$\Delta, км$
1	<u>4–5 баллов</u>	38	6	Чныррах	109
	Солонцы		7	Красное	111
2	<u>4 балла</u>	48	<u>2–3 балла</u>		
	Богородское		8	Маго	101
	3		Сусанино	9	Лазарев
4	<u>3–4 балла</u>	60	10	Де-Кастри	125
	Тыр		<u>2 балла</u>		
5	<u>3 балла</u>	106	11	Многовершинный	174
	Николаевск-на-Амуре		12	Комсомольск-на-Амуре	275

В каталоге за 2010 г. имеются макросейсмические сведения еще по двум коровым землетрясениям – (4) и (8). Наиболее сильное ($K_p=11.7$) из них – (8) – произошло 23 декабря в 01^h04^m с $h=10$ км и интенсивностью сотрясений $I_{\max}=2-3$ балла [16, 18].

Самое сильное ($MPVA=6.6$) глубокофокусное землетрясение 2010 г. – (1) – произошло 18 февраля в 01^h13^m с $h=578\pm 6$ км. Эпицентр землетрясения находился юго-западнее г. Владивосток, в районе залива Посыета. В его очаге выделилась энергия, равная $\Sigma E=5.821 \cdot 10^{15}$ Дж. По данным Японского метеорологического агентства (JMA), землетрясение проявилось на о. Хоккайдо с интенсивностью сотрясений до $I_{max}=3-4$ балла по шкале MSK-64 [22] в 14 пунктах [19]. С территории РФ данных по ощутимости не поступало.

Как отмечено выше, для двух глубокофокусных землетрясений – (1) и (2) – определены механизмы очагов [17]. Их стереограммы изображены на рис. 5.

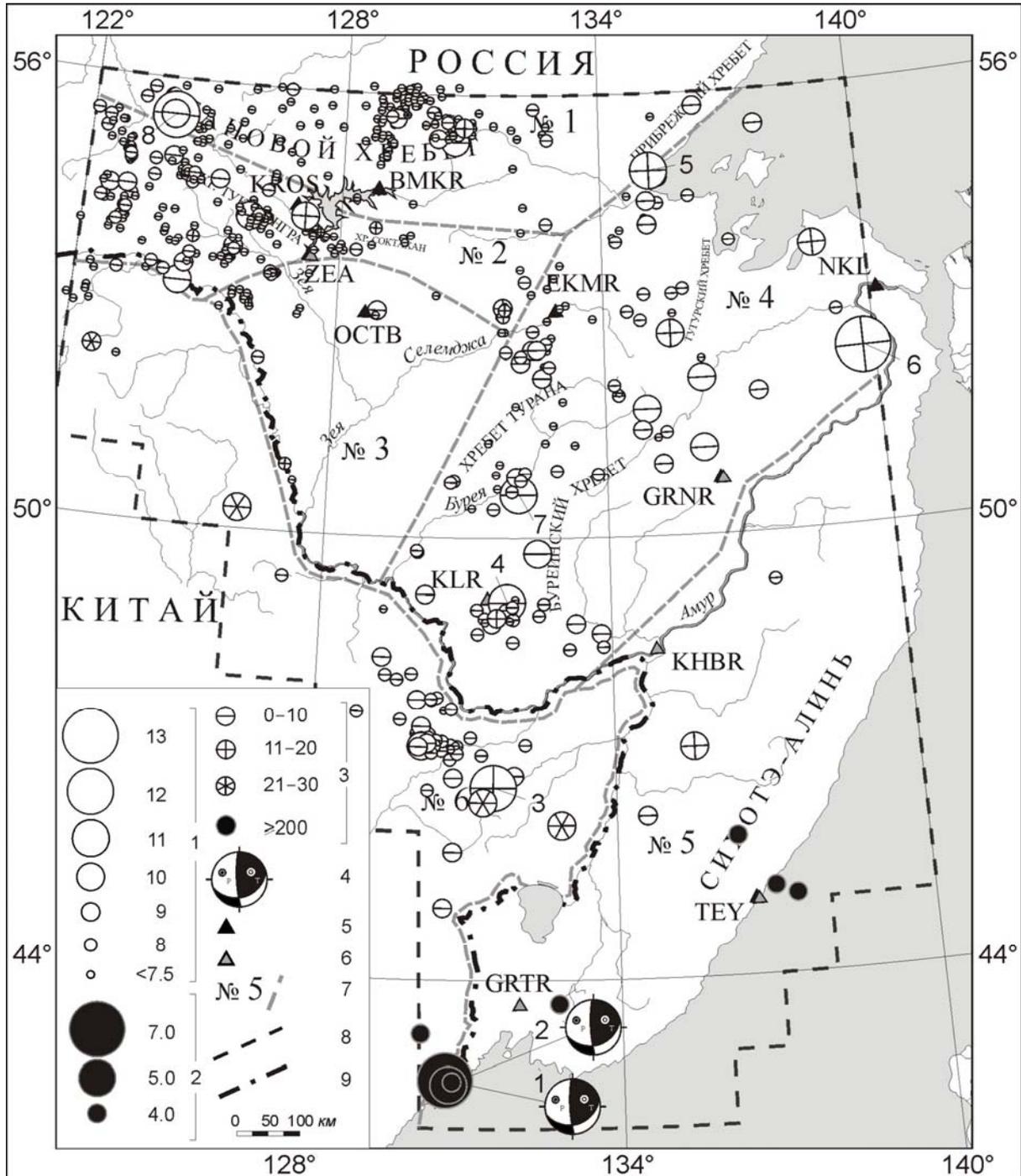


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Приамурья и Приморья в 2010 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – магнитуда $MPVA$; 3 – глубина h гипоцентра, км; 4 – стереограмма механизма очага, нижняя полусфера, зачернена область волн сжатия; 5, 6 – аналоговая и цифровая сейсмические станции соответственно; 7 – номер и граница условного района; 8, 9 – граница региона и государственная соответственно.

В табл. 4 приведено распределение коровых землетрясений по энергетическим классам K_p и суммарная сейсмическая энергия ΣE по данным каталогов Приморья и Приамурья за 2000–2010 гг. [16, 23–30], а на рис. 6 показаны годовые числа коровых землетрясений и суммарная сейсмическая энергия за этот период. Сравнение значений N_Σ и ΣE за 2000–2010 гг. проводится для землетрясений с $K_p \geq 7.6$. Здесь следует заметить, что, несмотря на проведенные работы по выявлению взрывов, в число естественных землетрясений могут входить и техногенные события, которые не удалось выявить при обработке. Энергетический класс промышленных взрывов на территории Приамурья и Приморья в редких случаях превышает $K_p \geq 8.5$.

Как следует из табл. 4, число коровых землетрясений с $K_p \geq 7.6$ с $N=210$, зарегистрированных в регионе в 2010 г., совсем немного превышает среднегодовое их значение ($N=199.3$) в период наблюдений 2000–2009 гг. Несмотря на это обстоятельство, суммарная сейсмическая энергия за 2010 г., равная $\Sigma E=7.147 \cdot 10^{12}$ Дж, повысилась в 2.1 раза, по сравнению с таковой в 2009 г. ($\Sigma E=3.463 \cdot 10^{12}$ Дж), но в 2.2 раза ниже, по сравнению со средним показателем за последние десять лет наблюдений.

Таблица 4. Распределение коровых землетрясений с $K_p \geq 7.6$ по энергетическим классам и суммарная сейсмическая энергия ΣE за 2000–2010 гг.

Год	K_p							N_Σ	$\Sigma E,$ 10^{12} Дж
	8	9	10	11	12	13	14		
2000	108	43	13	5	1			170	1.7
2001	131	35	10	3	2			181	2.8
2002	133	34	7	4	1			179	3.6
2003	193	44	17	1	6			261	9.1
2004	185	46	16	8	2	1		258	35.7
2005	138	52	15	5	5			215	8.9
2006	111	36	10	1	1			159	1.0
2007	100	50	7	3	4	2		166	46.2
2008	142	41	17	5	1		1	207	41.4
2009	121	46	19	9	2			197	3.5
Сумма	1362	427	131	44	25	3	1	1993	153.9
Среднее	136.2	42.7	13.1	4.4	2.5	0.3	0.1	199.3	15.4
2010	144	44	16	3	2	1		210	7.1

Графическое представление годовых оценок числа коровых землетрясений и суммарной энергии из табл. 4 дано на рис. 6.

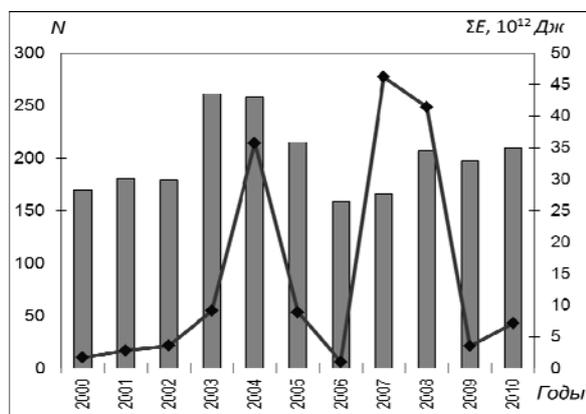


Рис. 6. Изменение ежегодного числа коровых землетрясений Приамурья и Приморья и суммарной сейсмической энергии ΣE за 2000–2010 гг.

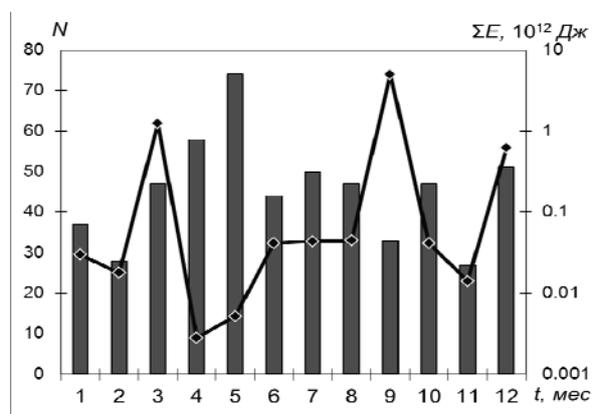


Рис. 7. Изменение числа коровых землетрясений и суммарной сейсмической энергии по месяцам за 2010 г.

Число всех зарегистрированных коровых землетрясений в 2010 г. в регионе «Приамурье и Приморье» в пределах зоны ответственности равно $N=543$, что сопоставимо с результатами наблюдений ($N=537$) в 2009 г. [1]. Но суммарная сейсмическая энергия коровых землетрясений (табл. 4, 5, рис. 6) повысилась до величины $\Sigma E=7.147 \cdot 10^{12}$ Дж, что в 2.1 раза выше такового значения ($\Sigma E=3.463 \cdot 10^{12}$ Дж) в 2009 г. [1]. Наибольший всплеск в высвобождении энергии пришелся на сентябрь месяц, когда выделилось $\Sigma E=5.028 \cdot 10^{12}$ Дж (рис. 7) энергии, что составляет почти 70 % от суммарной годовой сейсмической энергии коровых землетрясений.

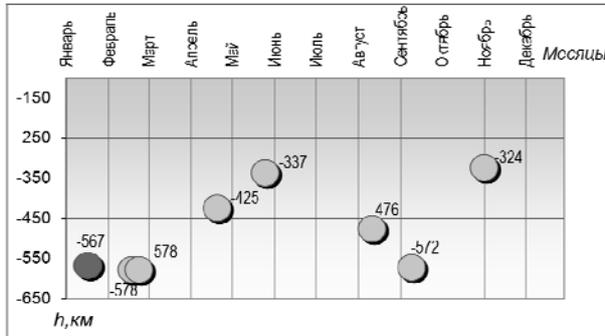


Рис. 8. Развертка во времени глубин глубоких землетрясений районов № 5 (светлые кружки) и № 6 (темный кружок) в 2010 г.

В 2010 г. в регионе «Приамурье и Приморье» (в районах № 5 и № 6) зарегистрировано 8 глубокофокусных землетрясений, что на 43 % меньше, чем в 2009 г. Суммарная сейсмическая энергия всех глубокофокусных землетрясений в 2010 г. составила $\Sigma E=5.82 \cdot 10^{15}$ Дж, т.е. на три порядка выше коровых толчков (табл. 5). Глубокофокусные землетрясения распределены во времени более-менее равномерно, что хорошо видно на рис. 8. Подавляющее число событий (7 из 8) приходится на Сихотэ-Алиньский район (№ 5) и лишь одно землетрясение произошло в Приграничном районе (№ 6).

В табл. 5 дано распределение числа коровых землетрясений по энергетическому классу K_p , а глубокофокусных – по магнитуде $MPVA$, а также рассчитана суммарная сейсмическая энергия по районам региона за 2010 г. Наибольшее число ($N=198$) землетрясений с очагами в земной коре, как и в 2009 г., произошло в Янкан-Тукурингра-Джагдинском районе (№ 2). И лишь три коровых землетрясения в 2010 г. было зарегистрировано в Сихотэ-Алиньском районе (№ 5).

Таблица 5. Распределение коровых землетрясений по энергетическому классу K_p , глубокофокусных – по магнитуде $MPVA$ и суммарная сейсмическая энергия ΣE по районам Приамурья и Приморья в 2010 г.

$h \leq 30$ км													
№	Районы	K_p										N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^{12} Дж
		5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	Становой	2	41	89	18	7	2	1	1			161	0.565
2	Янкан-Тукурингра-Джагдинский	5	42	96	45	7	3					198	0.089
3	Зейско-Селемджинский	1	2	10	5	1						19	0.001
4	Турано-Буреинский	3	4	27	40	16	6	2		1		99	5.299
5	Сихотэ-Алиньский				1	1	1					3	0.011
6	Приграничный			11	35	12	4			1		63	1.182
	Всего	11	89	233	144	44	16	3	2			543	7.147
	Вне зоны ответственности сети		7	10								17	0.0002

$h > 300$ км							
№	Районы	$MPVA$				N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^{12} Дж
		4	5	6	7		
5	Сихотэ-Алиньский	5	1			7	5821.1
6	Приграничный	1				1	0.0001
	Всего	6	1			8	5821.1

Примечание. При составлении таблицы величина глубокофокусных землетрясений приводилась к магнитуде MS путем пересчета из магнитуды $MPVA$ по следующим соотношениям: $MS=1.77 \cdot MPVA-5.2$ ($70 \text{ км} < h \leq 390 \text{ км}$); $MS=1.85 \cdot MPVA-4.9$ ($h > 390 \text{ км}$) [31], затем рассчитывалась по формуле Гуттенберга-Рихтера: $\lg E$, $\text{эрг}=11.8+1.5 MLH$ [32], с переходом в Дж по формуле $\lg E$, $\text{эрг}=4.8+1.5 MLH$ (такая процедура предложена в [33]).

На рис. 9 приведены распределения числа коровых землетрясений и суммарной сейсмической энергии по районам региона, а на рис. 10 показано сравнительное распределение величины сейсмической энергии по районам за 2009–2010 гг. Максимальное количество (49 %) высвобожденной сейсмической энергии коровых землетрясений отмечено в Турано-Буреинском районе (№ 4) (табл. 5, рис. 9 и 10).

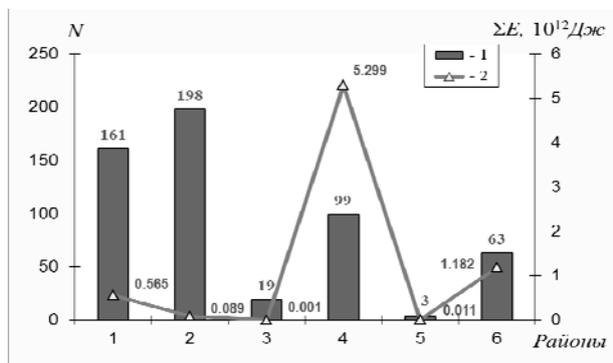


Рис. 9. Распределение числа коровых землетрясений (1) и суммарной сейсмической энергии (2) ΣE по шести районам Приамурья и Приморья в 2010 г.

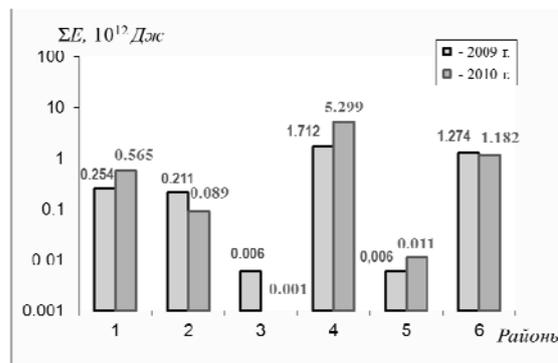


Рис. 10. Изменение суммарной сейсмической энергии ΣE коровых землетрясений по районам Приамурья и Приморья в 2009–2010 гг.

Далее приводится обзор сейсмичности в каждом из условно выделенных районов региона.

В Становом районе (№ 1) в 2010 г. зарегистрировано 161 коровое землетрясение, что на 21.7 % больше зарегистрированных землетрясений ($N=126$) в 2009 г. [1], их суммарная сейсмическая энергия, равная $\Sigma E=0.565 \cdot 10^{12}$ Дж, выше соответствующей величины ($\Sigma E=0.254 \cdot 10^{12}$ Дж) в 2009 г. в 2.2 раза (табл. 5, рис. 9 и 10).

В 2010 г. в районе, несмотря на небольшое увеличение активности, сохраняется характер умеренной сейсмичности. Два наиболее сильных землетрясения (5) и (8) произошли на востоке и западе района соответственно. Первое из них с $K_p=10.6$ зарегистрировано 31 марта в 07^h15^m с $h=15 \pm 2$ км в районе Удской губы, на границе с районом № 4. Второе землетрясение с $K_p=11.7$ произошло северо-западнее Тынды 23 декабря в 01^h04^m с $h=10 \pm 2$ км. Интенсивность сотрясений I от землетрясения в поселках Ларба ($\Delta=45$ км), Могот ($\Delta=61$ км), Тында ($\Delta=63$ км) составила 2–3 балла [16, 18]. Исходя из содержания табл. 6 видно, что основному толчку предшествовали два форшока в сентябре и ноябре с $K_p=7.2, 9.6$ и четыре последующих афтершока с $K_p=7.1–8.8$.

Таблица 6. Форшоки и афтершоки землетрясения 23 декабря в 01^h04^m с $K_p=11.7$

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_p
			φ°, N	λ°, E		
Форшоки						
1	27.09	06 48 01.1	55.36	123.94	10	7.2
2	03.11	05 02 21.6	55.51	123.89	10	9.6
Основной толчок						
	23.12	01 04 38.4	55.50	123.91	10	11.7

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_p
			φ°, N	λ°, E		
Афтершоки						
1	23.12	13 17 35.6	55.46	123.93	10	8.5
2	24.12	07 27 52.6	55.49	123.93	5	8.8
3	27.12	01 04 46.3	55.48	123.92	7	8.7
4	27.12	05 05 31.1	55.90	124.08	10	7.1

В течение всего 2010 г. регистрировались слабые ($K_p \leq 8.6$) события севернее Бомнака, на границе с Якутией (рис. 5). Весьма вероятно, что небольшая часть событий этих мест имеет техногенное происхождение.

В Янкан-Тукурингра-Джагдинском районе (№ 2) в 2010 г. было зарегистрировано $N=198$ коровых землетрясений (табл. 5, рис. 9 и 10), что на 18.5 % меньше, чем в 2009 г. ($N=243$). Количество выделившейся суммарной сейсмической энергии в данном районе уменьшилось в 2.4 раза, по сравнению с таковым в 2009 г. ($\Sigma E=0.089 \cdot 10^{12}$ Дж вместо $\Sigma E=0.225 \cdot 10^{12}$ Дж [1]). В данном районе в течение года не произошло ни одного события с $K_p \geq 10.6$.

Та же как и в 2009 г., наиболее активным на территории района остается Тукурингро-Джагдинский пояс, к которому приурочено наибольшее число землетрясений. Эпицентр наи-

более сильного ($K_p=10.5$) землетрясения, которое произошло 21 июня в $17^{\text{h}}22^{\text{m}}$ с $h=8\pm 1$ км, находился в отрогах хребта Тукурингра. Еще одно заметное ($K_p=10.1$) землетрясение в этом поясе зарегистрировано 13 декабря в $00^{\text{h}}52^{\text{m}}$ с $h=12\pm 1$ км вблизи Зейского водохранилища.

Наибольшее число эпицентров слабых землетрясений с $K_p < 9$, равномерно распределившись по площади, концентрируется к западу от р. Зeya. Наиболее сильное ($K_p=10.5$) землетрясение здесь, на границе с Китаем, произошло 7 октября в $00^{\text{h}}06^{\text{m}}$ с $h=10\pm 2$ км.

Площадь района к востоку от р. Зeya находится в спокойном сейсмическом состоянии.

В Зейско-Селемджинском районе (№ 3) в 2010 г. число зарегистрированных землетрясений значительно сократилось, по сравнению с таковым в 2009 г. ($N=19$ в 2010 г. против $N=32$ в 2009 г. [1]), количество суммарной сейсмической энергии района также снизилось с $\Sigma E=0.006 \cdot 10^{12}$ Дж в 2009 г. до $\Sigma E=0.001 \cdot 10^{12}$ Дж в 2010 г. [1] (табл. 5, рис. 9 и 10), т.е. в 6 раз.

Наиболее сильное ($K_p=8.6$) землетрясение произошло 22 марта в $08^{\text{h}}51^{\text{m}}$ с $h=5$ км в центральной части Амурско-Зейской равнины. Вся южная и восточная части района являются в 2010 г. асейсмичной зоной.

Большая часть слабых ($K_p=5.4-7.7$) землетрясений группируется в северо-западной части района (рис. 5). Здесь не исключается засорение каталога взрывами, поскольку, так же как и в 2009 г., в этом месте проводились взрывные работы (рис. 4).

Некоторое слабое проявление сейсмичности отмечено вдоль границы с КНР.

Турано-Буреинский район (№ 4) явился самым сейсмоактивным в 2010 г. 23 сентября в $22^{\text{h}}09^{\text{m}}$ здесь произошло самое сильное ощутимое землетрясение (6) с $K_p=12.7$, $MLH=4.4$. Подробные сведения по этому землетрясению размещены выше.

В результате уровень сейсмической активности в 2010 г. продолжал повышаться. Несмотря на то, что число землетрясений возросло незначительно (99 вместо 93 в [1]), количество выделившейся суммарной сейсмической энергии стало самым большим в регионе и составило $\Sigma E=5.299 \cdot 10^{12}$ Дж, что в 3.1 раза выше соответствующей величины ($1.710 \cdot 10^{12}$ Дж [1]) в 2009 г. (табл. 5, рис. 9 и 10).

Небольшой рой землетрясений зарегистрирован на юге района, в окрестностях пос. Кульдур. Наиболее сильное ($K_p=11.0$) событие роя (4) произошло 30 марта в $12^{\text{h}}04^{\text{m}}$. Землетрясение ощущалось жителями пос. Кульдур с интенсивностью $I=3-4$ балла. Здесь также надо заметить, что в этой местности достаточно часто проводятся взрывные работы (рис. 4) и имеется некоторая вероятность попадания в каталог землетрясений событий техногенного происхождения.

В районе среднего течения р. Бурей 21 декабря в $06^{\text{h}}49^{\text{m}}$ произошло землетрясение (7) с $K_p=10.9$ и $h=9\pm 2$ км.

Небольшое скопление слабых землетрясений ($K_p \leq 9$) зарегистрировано южнее Экимчана.

Энергетический класс остальных землетрясений, эпицентры которых более-менее равномерно расположились по территории района, не превышал $K_p=10.5$

В Сихотэ-Алиньском районе (№ 5) в 2010 г. зарегистрировано три коровых землетрясения с $K_p=8.3-10.0$, суммарная сейсмическая энергия которых составила $\Sigma E=0.011 \cdot 10^{12}$ Дж. (табл. 5, рис. 9 и 10), превысив в 1.8 раза аналогичный показатель в 2009 г., когда число землетрясений равнялось $N=4$ [1]. Наиболее сильное ($K_p=10.0$) землетрясение с $h=11\pm 1$ км зарегистрировано 3 июля в $12^{\text{h}}46^{\text{m}}$ в отрогах центральной части хребта Сихотэ-Алинь, юго-восточнее Хабаровска. Эпицентры двух более слабых землетрясений ($K_p \leq 9.1$) расположились северо-восточнее и южнее Хабаровска (рис. 5).

Число глубокофокусных землетрясений в районе в 2010 г. несколько снизилось (с $N=11$ в 2009 г. до $N=7$ в 2010 г.). Их эпицентры присутствуют как на шельфовой, так и на континентальной части Приморского края (рис. 5). Суммарная сейсмическая энергия глубокофокусных землетрясений района возросла в 19.4 раза по сравнению с таковой в 2009 г. и составила $\Sigma E=5.82 \cdot 10^{15}$ Дж. Наиболее существенный вклад в это число внесло сильное ($MPVA=6.6$) землетрясение (1), которое произошло 18 февраля в $01^{\text{h}}13^{\text{m}}$ на шельфовой части Японского моря, в районе залива Посьета. Гипоцентр землетрясения находился на глубине $h=578\pm 6$ км.

Для этого землетрясения, помимо регионального решения механизма очага, стереограмма которого изображена на карте эпицентров, в бюллетене ISC [8] имеются еще четыре решения, включая решение отечественного агентства MOS [7] и трех мировых агентств GCMT, NEIC, NIED (табл. 7).

Таблица 7. Параметры механизма очага землетрясения 18 февраля 2010 г. в 01^h13^m с $M_w=6.9_{GCMT}$ по данным различных сейсмологических агентств

Агентство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды			Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источник
				M_w	$MPSP$	mb	T		N		P		$NP1$			$NP2$			
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
SKHL	18.02	01 13 17.8	578				45	57	30	183	30	292	73	32	163	177	81	60	[17]
MOS					6.3		49	63	14	171	37	272	56	16	156	169	84	79	[7]
GCMT				6.9			47	70	14	176	40	278	71	15	166	175	87	76	[8]
NEIC						6.2	47	71	12	174	40	275	68	13	164	174	86	78	[8]
NIED													113	9	-155	358	86	-81	[8]

Стереограммы добавленных четырех решений изображены на рис. 10.

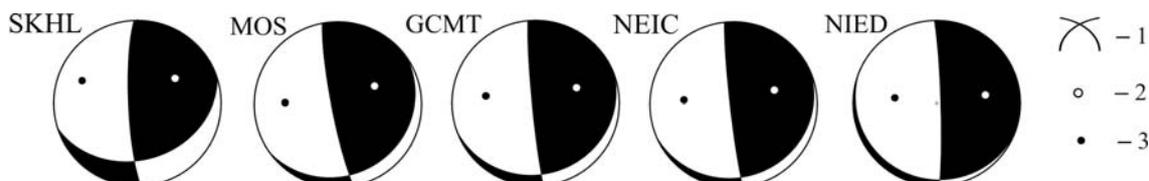


Рис. 11. Стереограмма механизма очага землетрясения 18 февраля 2010 г. с $M_w=6.9$ в проекции нижней полусферы

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Как видим, все стереограммы подобны между собой и с региональной на рис. 5. Одна из нодальных плоскостей $NP2$ близвертикальна с DP от 81° до 87° и движение по ней почти чистый взброс с минимальным левосторонним сдвигом по четырем первым решениям и сброс – по NIED. По пологой плоскости $NP1$ большее различие в наклоне к горизонту, с наибольшим значением в 32° для регионального решения и наименьшим в 9° – для NIED. Соответственно, имеем в первом случае движение типа правосторонний сдвиг с заметной взбросовой компонентой, во втором – поддвиг, слегка осложненный правосторонним сдвигом. Три других решения дают очень близкие значения наклона плоскости $NP1$ к горизонту (16° , 15° и 13°) и с преобладающим движением типа надвиг, осложненным небольшим правосторонним сдвигом.

О макросейсмическом эффекте землетрясения, по данным JMA, упоминалось выше. Данных по интенсивности из населенных пунктов Приморья не поступало. Повторный толчок (2) с $MPVA=4.9$ в том же месте и на той же глубине был зарегистрирован 21 февраля в 07^h29^m. Следовательно, магнитудная ступень между главным толчком и его афтершоком равна

$$\Delta M_a = 6.6 - 4.9 = 1.7$$

и, в общем-то, близка к коровым землетрясениям, что не характерно для глубоких толчков. Примечательно, что эти два землетрясения имеют абсолютно одинаковый механизм очага по региональным данным [17] (рис. 5). Еще одно событие здесь с $MPVA=4.3$ и $h=572$ км произошло 9 сентября в 01^h12^m.

Два глубокофокусных землетрясения с $h=337, 324$ км и $MPVA=3.8, 4.3$ зарегистрированы на шельфе Японского моря, рядом с пос. Терней, в мае и в ноябре соответственно. Еще два землетрясения с $MPVA=3.9, 4.2$ и $h=425, 476$ км приурочены к континентальной части Приморья (рис. 5).

В Приграничном районе (№ 6) число коровых землетрясений продолжает увеличиваться. В 2010 г. зарегистрировано 63 коровых землетрясения, что на 38 % больше, по сравнению с их числом в 2009 г. [1]. Возможно, в это число вошла небольшая часть техногенных землетрясений на территории Китая (рис. 4), которые сложно идентифицировать по причине малочисленной сети станций.

Суммарная сейсмическая энергия коровых землетрясений, равная $\Sigma E = 1.182 \cdot 10^{12}$ Дж (табл. 5, рис. 9 и 10), сопоставима с таковой ($\Sigma E = 1.194 \cdot 10^{12}$ Дж [1]) в 2009 г.

Самое сильное ($MLH=4.3$, $K_p=12.0$) коровое землетрясение (3) произошло 10 марта в 10^h54^m юго-восточнее китайского г. Хэган. Очаг землетрясения был локализован на глубине

$h=15\pm 3$ км. Эпицентр землетрясения приурочен к разлому Няолихэ, входящему в разветвленную систему разломов Танлу.

Наибольшее число эпицентров коровых землетрясений концентрируется вблизи разломной зоны ТанЛу. Группа землетрясений с $K_p \leq 9.0$ зарегистрирована в окрестностях г. Хэган (КНР) – известного угледобывающего района. Предположение о техногенной природе многих, происходящих здесь событий вызывает споры. Существующая сеть станций не позволяет изучить проблему наведенной сейсмичности на данной территории.

Западная часть района характеризуется слабой сейсмичностью. Энергетический класс происшедших здесь немногочисленных землетрясений не превышал $K_p=8.6$. В районе западной границы района продолжают регистрироваться промышленные взрывы (рис. 4)

В районе в 2010 г. зарегистрировано лишь одно глубокофокусное землетрясение, тогда как в 2009 г. их было $N=3$. Оно произошло 17 января в $18^{\text{h}}05^{\text{m}}$ с $h=567\pm 5$ км и $MPVA=3.8$. Эпицентр землетрясения находился западнее Владивостока, на территории Китая.

В заключение можно отметить, что в целом сейсмический процесс в 2010 г. протекал достаточно спокойно, с небольшим всплеском коровой сейсмической активности в сентябре и ее снижением в апреле и мае. Продолжалось снижение сейсмической активности в Янкан-Тукурингра-Джагдинском районе (№ 2) и ее увеличение в Турано-Буреинском районе (№ 4). Значительно увеличилось количество высвобожденной суммарной сейсмической энергии в очагах глубокофокусных землетрясений. Заметной особенностью в 2010 г. явилось и большое число зарегистрированных взрывов, превосходящих число тектонических землетрясений.

Л и т е р а т у р а

1. Коваленко Н.С., Фокина Т.А., Сафонов Д.А. Приамурье и Приморье // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 147–158.
2. Михайлов В.И. (сост.). Сейсмические станции Приамурья и Приморья в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
3. Результаты комплексных сейсмологических наблюдений (отчет СФ ГС РАН за 2009 год): Отчет о НИР (окончат.) / Руководитель Ю.Н. Левин, отв. исп. В.И. Михайлов, А.И. Спириин, Т.А. Фокина – Южно-Сахалинск: Фонды СФ ГС РАН, 2010. – 332 с.
4. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
5. Михайлов В.И. (сост.). Стационарные сейсмические станции Сахалина в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
6. Михайлов В.И. (сост.). Сейсмические станции Курило-Охотского региона в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
7. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2010 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2010–2011. – URL: ftp://ftp.gsr.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2010.
8. International Seismological Centre, On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
9. 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.
10. Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Сейсмический режим сейсмогенных зон юга Дальнего Востока // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. VI. (Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона). – Южно-Сахалинск: ИМГиГ, 1997. – С. 179–197.
11. Шолохова А.А., Оскорбин Л.С., Рудик М.И. Землетрясения Приамурья и Приморья // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1987. – С. 135–139.
12. Аптекман Ж.Я., Желанкина Т.С., Кейлис-Борок В.И., Писаренко В.Ф., Поплавская Л.Н., Рудик М.И., Соловьёв С.Л. Массовое определение механизмов очагов землетрясений на ЭВМ // Теория и анализ сейсмологических наблюдений (Вычислительная сейсмология. Вып. 12). – М.: Наука, 1979. – С. 45–58.

13. Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В., Рудик М.И. Методика и первые результаты массовых определений механизмов очагов коровых землетрясений Дальнего Востока // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ГС РАН, 2001. – С. 95–99.
14. Балакина Л.М., Введенская А.В., Голубева Н.В., Мишарина Л.А., Широкова Е.И. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. – М.: Наука, 1972. – 192 с.
15. Габсатарова И.П. Границы сейсмоактивных регионов России с 2004 г. // Землетрясения России в 2004 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 139.
16. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Федоркова Г.В., Донова Т.Я. (сост.). Каталог землетрясений и взрывов Приамурья и Приморья за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
17. Сафонов Д.А. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Приамурья и Приморья за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
18. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Артёмова Е.В. (сост.). Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Приамурья и Приморья в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
19. Коваленко Н.С., Артёмова Е.В., Пойгина С.Г., Бахтиарова Г.М. (сост.). Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Приморья и Приамурья за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
20. Годзиковская А.А. Местные взрывы и землетрясения. – Личный архив, 2000. – 108 с.
21. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Федоркова Г.В., Донова Т.Я., Гладырь Ж.В. (сост.). Каталог землетрясений и взрывов Приамурья и Приморья за 2009 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015 – (На CD).
22. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
23. Коваленко Н.С., Поплавская Л.Н. (отв. сост.), Величко Л.Ф., Сычаева Н.А., Садчикова А.А. Приамурье и Приморье // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – (На CD).
24. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Крючкова О.В., Величко Л.Ф. Приамурье и Приморье // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – (На CD).
25. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Крючкова О.В., Величко Л.Ф. Каталог землетрясений Приамурья и Приморья, 2002 год // Землетрясения Северной Евразии, 2002 год. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – (На CD).
26. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Величко Л.Ф., Крючкова О.В. Каталог землетрясений Приамурья и Приморья за 2003 год // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – (На CD).
27. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Величко Л.Ф. Каталог землетрясений ($N=729$) Приамурья и Приморья за 2004 год // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – (На CD).
28. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Величко Л.Ф., Донова Т.Я. Каталог землетрясений ($N=423$) и взрывов ($N=204$) Приамурья и Приморья за 2005 год // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – (На CD).
29. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Величко Л.Ф., Донова Т.Я. Каталог землетрясений ($N=380$) и взрывов ($N=207$) Приамурья и Приморья за 2006 год // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – (На CD).
30. Коваленко Н.С. (отв. сост.), Величко Л.Ф., Донова Т.Я., Федоркова Г.В. Каталог землетрясений ($N=462$) и взрывов ($N=316$) Приамурья и Приморья за 2007 год // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – (На CD).
31. Кондорская Н.В., Горбунова И.В., Киреев И.А., Вандышева Н.В. О составлении унифицированного каталога сильных землетрясений Северной Евразии по инструментальным данным (1901–1990 гг.) // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – Вып. 1. – М.: АН СССР, 1993. – С. 70–79.
32. Gutenberg B., Richter C. Magnitude and energy of earthquakes // Ann. Di Geofisika, 1956. – 1. – N 9. – 1–15.
33. Каталоги землетрясений по различным регионам России // Землетрясения России в 2005 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 80.