

**ЧАРУОДИНСКИЙ РОЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2005 г. и его ОЩУТИМЫЕ  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ: ЧАРУОДИНСКОЕ-I 10 ноября в 19<sup>h</sup>29<sup>m</sup> с  $K_p=15.7$ ,  $M_w=5.8$ ,  $I_0=8$   
и ЧАРУОДИНСКОЕ-II 11 декабря в 15<sup>h</sup>54<sup>m</sup> с  $K_p=14.8$ ,  $M_w=5.7$ ,  $I_0=7$  (Южная Якутия)  
С.В. Шибаетов<sup>1</sup>, А.Ф. Петров<sup>1</sup>, Б.М. Козьмин<sup>1</sup>, Л.П. Имаева<sup>2</sup>, В.И. Мельникова<sup>2</sup>,  
Н.А. Радзиминович<sup>2</sup>, К.В. Тимиршин<sup>1</sup>, В.Е. Петрова<sup>1</sup>,  
Н.А. Гилёва<sup>3</sup>, Д.М. Пересыпкин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Якутский филиал ГС СО РАН, г. Якутск, [shibaev@emsd.ysn.ru](mailto:shibaev@emsd.ysn.ru)

<sup>2</sup>Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, [vimel@crust.irk.ru](mailto:vimel@crust.irk.ru)

<sup>3</sup>Байкальский филиал ГС СО РАН, г. Иркутск, [nagileva@crust.irk.ru](mailto:nagileva@crust.irk.ru)

Чаруодинский рой землетрясений 2005 г. произошел в пределах Олёкмо-Чарского нагорья, расположенного в междуречье Олёкмы и ее притока Чары (бассейн р. Лены) между Байкальской рифтовой зоной и Становой складчатой системой в Южной Якутии. Названный рой 2005 г. фактически продолжает в этом же районе предыдущую роевую последовательность – Олдонгсинскую 1997 г. [1]. Сейсмическая обстановка этой территории до Олдонгсинского роя долгое время (почти 25 лет) представляла собой область спокойного сейсмического фона, где регистрировалось не более 10–20 событий в год, а их энергетический класс не превышал  $K_p=12$ .

В целом на карте сейсмичности (рис. 1) легко заметить, что крупные события за последние 50 лет происходили лишь на краях этой крупной очаговой зоны: на западе, в Чарской впадине и ее горном обрамлении (хребты Кодар, Удокан и др.), отмечены сильные землетрясения, такие, как Муйское 27.06.1957 г. с  $MLH=7.6$ ,  $h=15$  км, Кодарское 15.05.1970 г. с  $MLH=5.5$ ,  $h=20$  км [2–4]; на востоке, в бассейне среднего течения р. Олёкмы – Нюкжинское 05.01.1958 г. с  $MLH=6.5$ ,  $h=14$  км, Олёкминское 14.09.1958 г. с  $MLH=6.4$ ,  $h=9$  км, Тас-Юряхское 18.01.1967 г. с  $MLH=7.0$ ,  $h=13$  км [5]; к северу от них, на западном фланге Станового хребта, – Южно-Якутское 20.04.1989 г. с  $MLH=6.6$ ,  $h=27$  км [6]. Однако сейсмичность этой промежуточной области (ограничена на рис. 1 пунктирной линией), разделяющей западную и восточную части данной территории, явно понижена и, возможно, представляла «зону сейсмического затишья» – область подготовки будущего сильного землетрясения. В этой обстановке в октябре 1997 г. здесь возник первый рой за время инструментальных наблюдений – Олдонгсинский [1].

В течение 1997–1999 гг. Олдонгсинский рой действовал достаточно активно, ежегодно генерируя до 500 землетрясений в год, затем начался постепенный спад вплоть до 2001 г. (рис. 2). В интервале 2002–2004 гг. на этой территории восстановился нормальный сейсмический фон (15–30 событий в год), который, однако, был нарушен в конце 2005 г. появлением нового интенсивного Чаруодинского роя.

Если проанализировать проявления местных землетрясений во времени, начиная с января 2005 г. и до появления Чаруодинского роя, то в январе–августе этого года в рассматриваемом районе было зарегистрировано всего 17 слабых событий (табл. 1), в сентябре–октябре 2005 г. началось оживление сейсмической деятельности, т.к. число зафиксированных землетрясений возросло до 33.

**Таблица 1.** Число землетрясений, зарегистрированных на участке Чаруодинского роя в течение 2005 г.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		XII		Сумма
											1–10	10–30	1–12	13–31	
<i>N</i>	2	2	0	1	5	2	2	3	20	13	61	1118	332	1112	2673

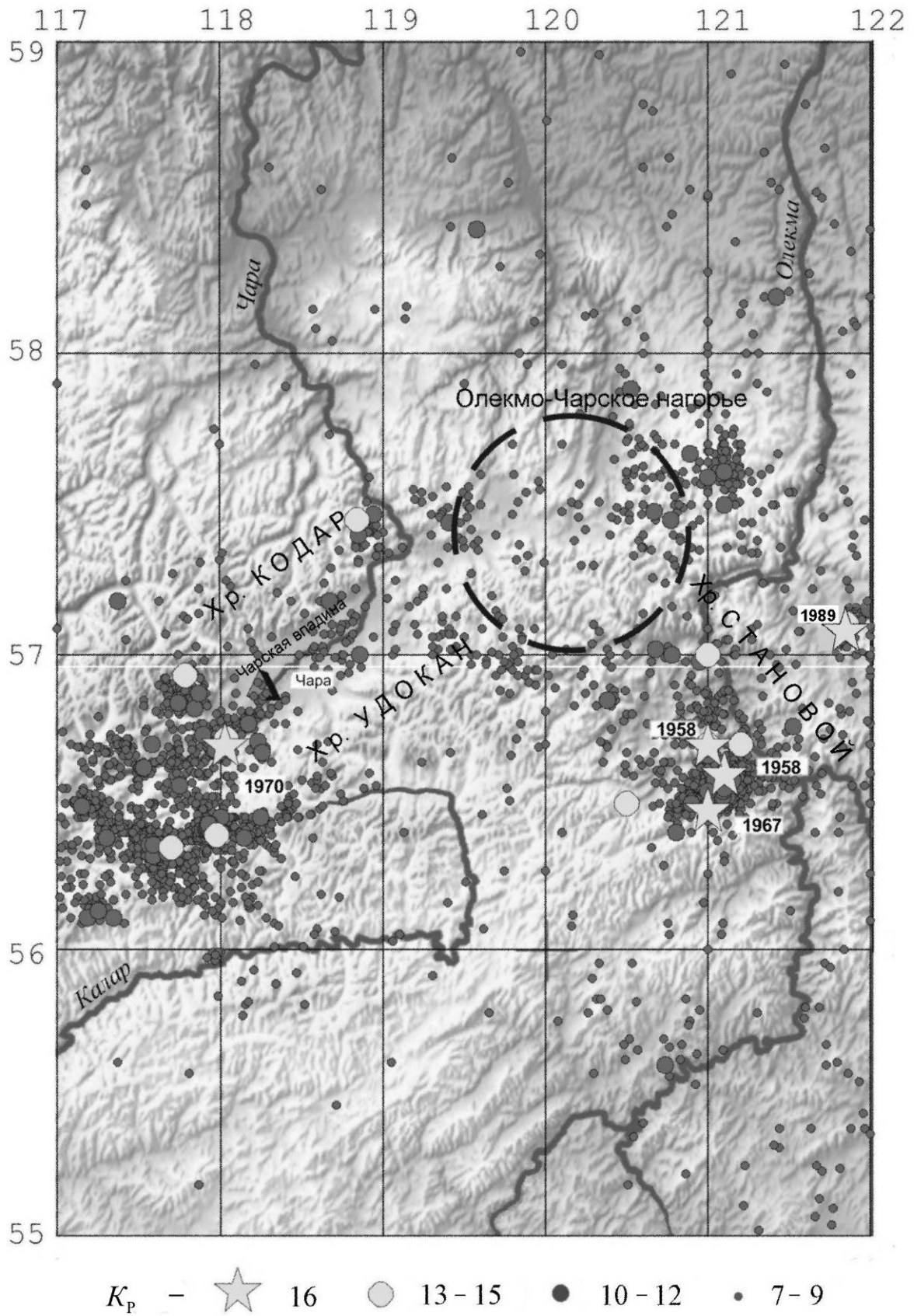


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений на Олёкмо-Чарском нагорье за 1960–1996 гг.

$K_p$  – энергетический класс землетрясений; пунктиром показана возможная область сейсмического затишья, где позднее отмечены Олдонгсинский 1997 г. и Чаруодинский 2005 г. рои землетрясений; треугольником помечена ближайшая к этой области сейсмическая станция «Чара» в одноименном пос. Чара.

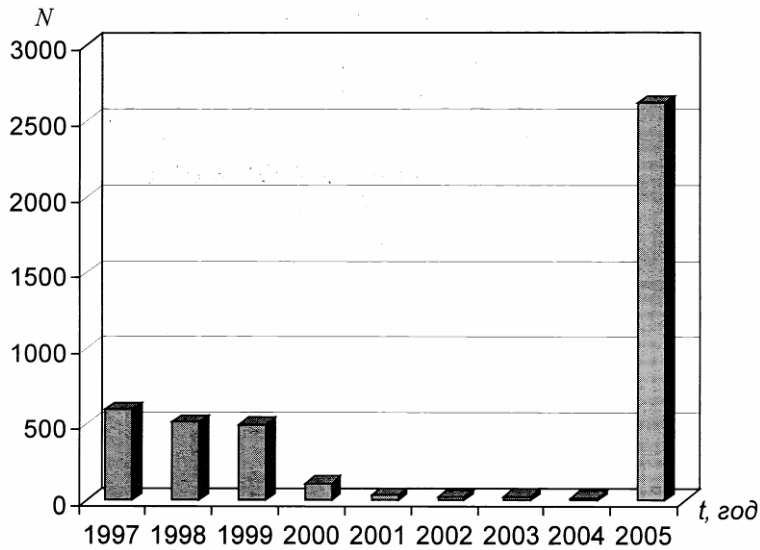


Рис. 2. Распределение годового числа  $N$  роевых землетрясений Олёкмо-Чарского нагорья за 1997–2005 гг.

Этот пик активности продолжал нарастать. При этом, если в начале 2005 г. реализовались главным образом слабые землетрясения с  $K_p=6-9$ , то в октябре и в начале ноября увеличилось число событий с  $K_p=10-12$ . В частности, днем 10 ноября было отмечено 6 толчков с  $K_p=11-12$ , а последний из них с  $K_p=12.8$  произошел за 2<sup>м</sup> до самого крупного ощутимого Чароудинского-I землетрясения в исследуемой роевой последовательности. Это отчетливо просматривается на его цифровой записи в пункте наблюдения «Чульман» (рис. 3).

Распределение числа роевых событий в ноябре–

декабре 2005 г., приведенное на диаграмме (рис. 4), указывает на импульсный характер выделения сейсмической энергии. Сильные события внутри роя сопровождались сериями афтершоков, что подтверждает сочетание здесь роевого и афтершокового процессов, их наложение друг на друга.

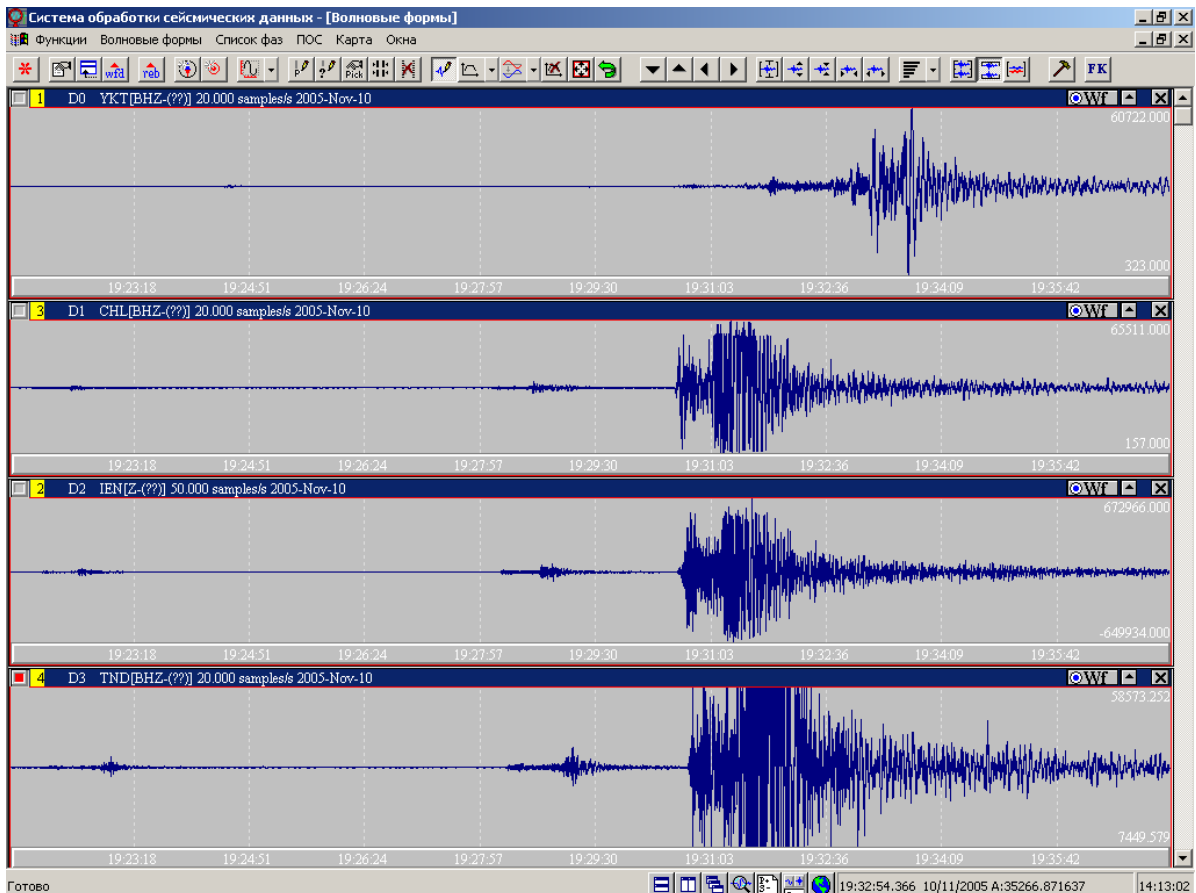


Рис. 3. Цифровые записи Чароудинского-I землетрясения 10 ноября 2005 г. в 19<sup>h</sup>29<sup>m</sup> сейсмическими станциями «Якутск», «Чульман», «Иенгра» и «Тында» с  $\Delta=728, 270, 290$  и  $328$  км соответственно

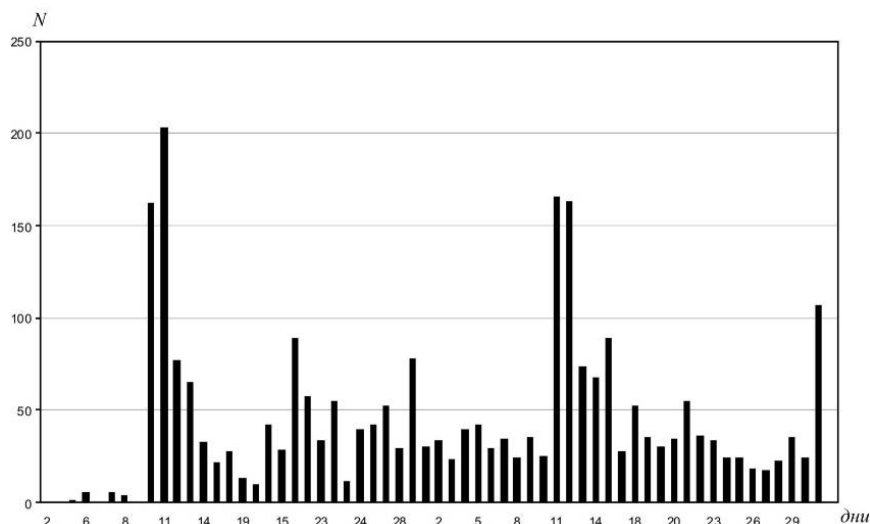


Рис. 4. Изменения суточных чисел  $N$  землетрясений Чаруодинского роя в ноябре–декабре 2005 г.

График повторяемости (рис. 5), построенный по событиям Чаруодинского роя, аппроксимируется прямой, описываемой уравнением  $\lg N = 5.44 \pm 0.30 - (0.36 \pm 0.03)K_p$ . Наклон графика для толчков с  $K_p = 7-16$  соответствует  $\gamma = -0.36$ , что ниже среднего значения по региону [7]. Очевиден дефицит данных по слабым землетрясениям с  $K_p = 6$  в связи с поздней (спустя месяц после начала роя) установкой близкой полевой станции «Хани», а также недостаток данных с  $K_p = 13-14$ , что связано с малым сроком наблюдений.

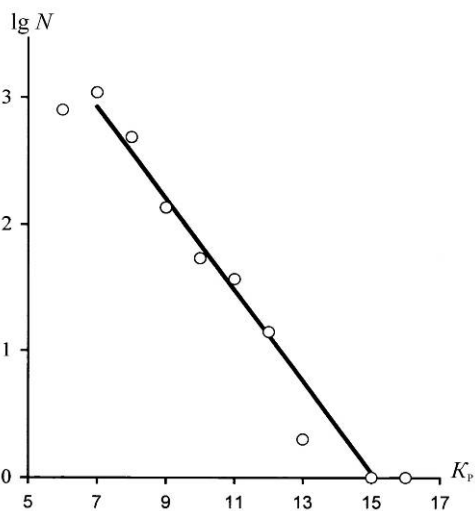


Рис. 5. График повторяемости землетрясений Чаруодинского роя 2005 г.

Сводная картина сейсмической обстановки от начала возникновения Олдонгсинского роя 1997 г. до Чаруодинского роя 2005 г. приведена на рис. 6. Все проявления роевой сейсмичности локализованы на левобережье р. Олёкмы, между ее притоками Олдонгсо и Хани. Эпицентры землетрясений образовали здесь компактную группу, которая занимает площадь около  $900 \text{ км}^2$  (длина  $\sim 48 \text{ км}$ , ширина  $\sim 24 \text{ км}$ ) и по своему очертанию напоминает эллипс, где большая ось ориентирована в северо-восточном направлении по азимуту  $\sim 48^\circ$ . Мощность земной коры данного района соответствует  $38-42 \text{ км}$  [3]. Так как большинство гипоцентров рассматриваемых событий отмечено в интервале глубин  $5-29 \text{ км}$  [8–10], можно считать, что объем очага всего роя, возникшего в верхней части земной коры, составил более  $22 \cdot 10^3 \text{ км}^3$ .

На основе рис. 6 проследим развитие роевой деятельности в пространстве и времени. Так, первые эпицентры землетрясений Олдонгсинского роя в октябре 1997 г. были локализованы в бассейне р. Ат-Бастаах (приток р. Хани). В последующие два года наблюдалось их постепенное перемещение в северо-восточном направлении. При этом очаговая область роя всякий раз удлинялась на несколько километров. В 2001–2004 гг. был отмечен период покоя, когда число подземных толчков в 2004 г. сократилось до 15 (рис. 2). По-видимому, первый рой 1997 г. не снял полностью накопленные за почти 25-летний период затишья тектонические напряжения и спровоцировал в результате их последующего перераспределения появление землетрясений второго роя 2005 г. Его подземные толчки продолжили проявления первого роя в том же направлении, вплоть до долины р. Олдонгсо. Северо-восточная ориентация зоны роевых событий и их смещение относительно друг друга уверенно подтверждается положением эпицентров наиболее интенсивных ( $I_0 \geq 6$ ) землетрясений (рис. 6), параметры которых приведены в табл. 2.

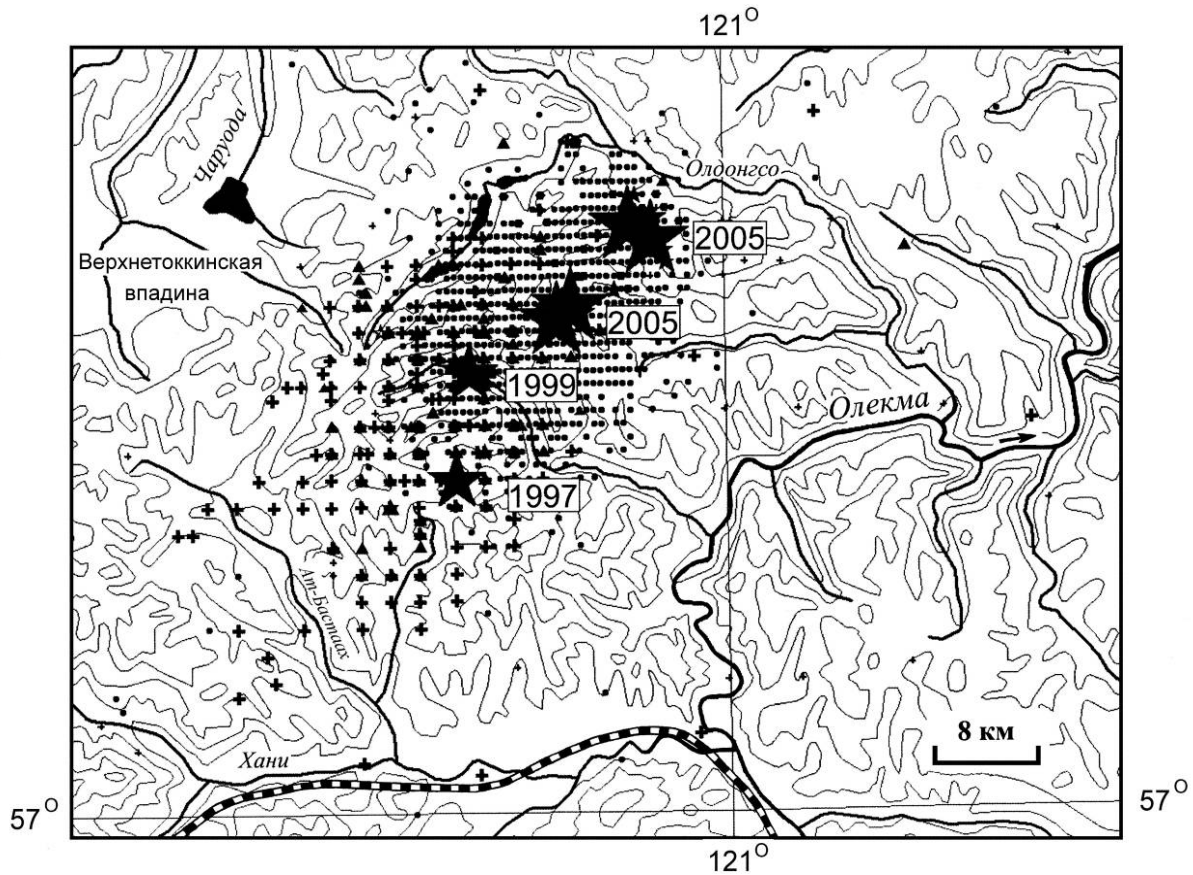


Рис. 6. Пространственное распределение эпицентров землетрясений Олдонгсинского 1997 г. (помечены крестиком) и Чаруодинского 2005 г. (помечены точками) роев в бассейне р. Олекмы и ее левого притока Олдонгсо.

Звездами обозначены крупные ( $K_p \geq 12.5$ ) сейсмические события из табл. 1; в нижней части рамки показана ближайшая к эпицентрам часть железнодорожной трассы БАМ.

Таблица 2. Параметры эпицентров сильных ( $K_p \geq 12.5$ ) землетрясений Олдонгсинского и Чаруодинского роев в 1997–2005 гг.

Дата д м год	$t_0$ ч мин с	$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, N$	$h$ , км	$h_{pP}$ , км [ISC]	$K_p$	$MS$ $MPSP^*$ [СБ]	$I_0$
24.10.1997	11 50 15.0	57.25	120.63	10		12.5	4.6	6
08.09.1999	02 38 49.4	57.33	120.65	11	11±3.1	13.0	5.0	6–7
10.11.2005	19 27 25.4	57.38	120.79	15		12.8	4.8*	6–7
10.11.2005	19 29 54.3	57.37	120.77	12	12±1.2	15.7	5.7	8
11.12.2005	15 54 13.4	57.43	120.90	18	18±2.8	14.8	5.5	7
14.12.2005	23 12 13.3	57.46	120.88	12		12.7	4.4*	6–7

Если учесть, что максимальное расстояние между сильными землетрясениями первого и второго роев (рис. 6) около 24 км, то можно оценить среднюю скорость  $\bar{v}$  миграции сейсмического процесса в пределах Олёкмо-Чарского нагорья за восемь лет, которая составила примерно  $v=3$  км/год.

В сеймотектоническом плане территория, где произошли Олдонгсинский и Чаруодинский рои землетрясений, расположена в области сочленения трех крупных геоструктурных элементов: северо-восточного окончания Байкальского рифта, юго-западной окраины Алданского щита и западного фланга Становой складчатой системы (рис. 1 и 7). Рельеф Байкальского рифта связан здесь с системой кайнозойских впадин (Чарской, Верхнетоккинской) и окружаю-

ших их складчатых сооружений хребтов Кодар и Удокан. Последние достигают высоты 2500 – 3000 м и имеют альпинотипный рельеф. Мощность кайнозойских осадков сопоставима с высотами современного рельефа. В районе отмечен ряд палео- и современных сейсмодислокаций и сейсмопроявлений (обвалы, оползни и др.), имеют место и другие проявления тектонической активности (термальные источники, высокий тепловой поток, наледные процессы и т.д.). Впадины ограничены сбросами и сбросо-сдвигами, амплитуда перемещений по которым оценивается от сотен метров до первых километров [11, 12].

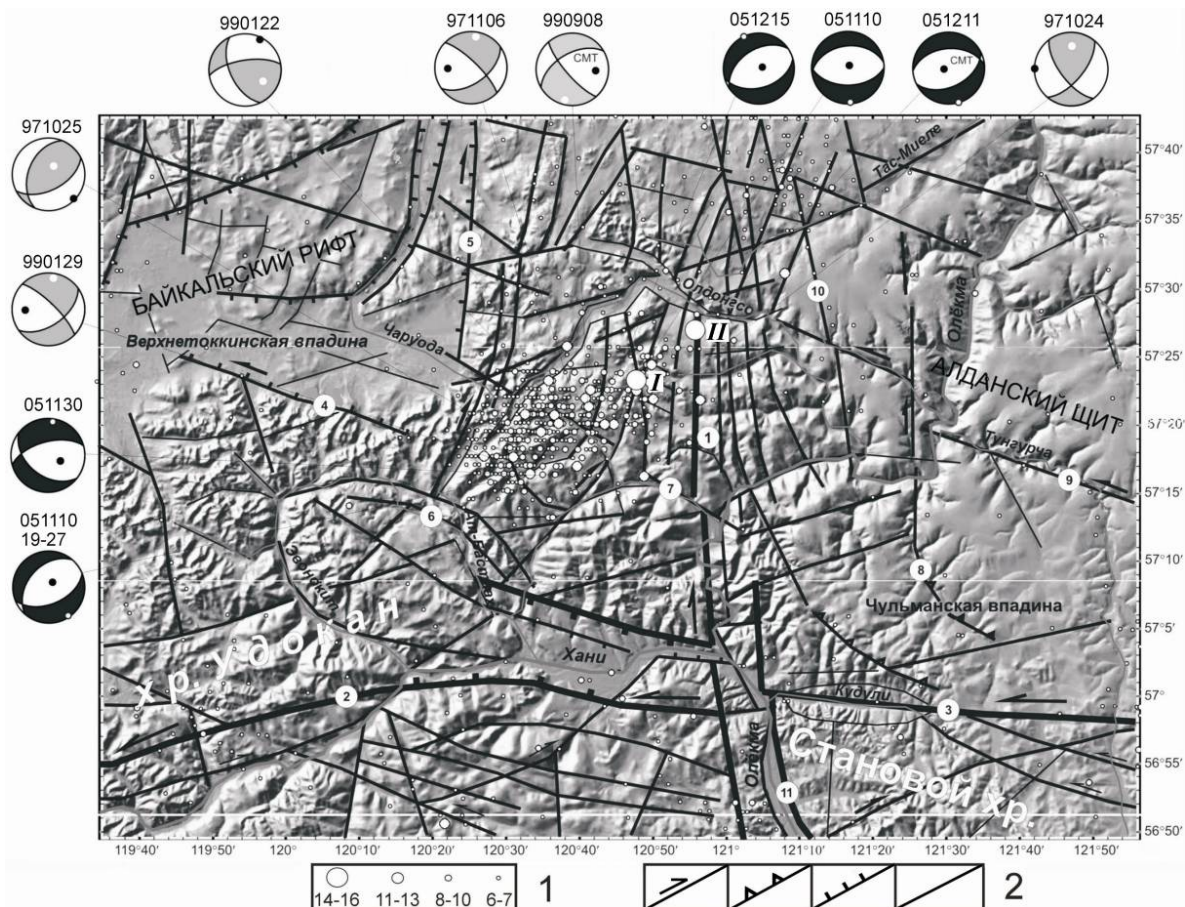


Рис. 7. Сейсмотектонические особенности территории и пространственное расположение роевых событий 1997–2005 гг.

1 – энергетический класс землетрясений  $K_p$ , 2 – разрывные нарушения: сдвиги, надвиги, сбросы и неустановленной кинематики соответственно; в кружках разломы: Темулякитский (1), Ханьинский (2), Кудулинский (3), Токкинский (4), Чаруодинский (5), Ат-Бастаахский (6), Тумуллурский (7), Тунгурчаканский (8), Тунгурчинский (9), Токурский (10), Олёкмо-Нюкжинский (11); I и II – инструментальные эпицентры Чаруодинских I и II землетрясений соответственно; стереограммы механизмов очагов землетрясений даны в проекции нижней полусферы с указанием их даты (числа, месяца, года и времени, если даты повторяются) двух цветов (серый – для Олдонгсинского, черный – для Чаруодинского роев); СМТ – решения по методу момента тензора центра (напряжения сжатия и растяжения показаны темной и светлой точкой соответственно).

Юго-западная окраина Алданского щита относится к активизированной части Сибирской платформы. Щит преимущественно сложен нижнеархейскими кристаллическими образованиями. Вдоль его южной окраины к востоку от р. Олёкмы параллельно Становой складчатой области протягивается субширотная Южно-Алданская система мезозойских впадин (Предстановой прогиб), включающая Чульманскую депрессию, заполненную мезозойскими отложениями главным образом юрского возраста. Легко заметить плоский платообразный рельеф (рис. 7), типичный для территории щита, где абсолютные высоты достигают 900–1200 м [3].

Становая складчатая система представлена западным флангом поднятия Станового хребта, сложенного архейскими и протерозойскими образованиями, и характеризуется среднегорным рельефом (1000–1500 м) [3].

Существенное влияние на рельеф исследуемой области оказывает разрывная тектоника. Выделяются три группы разрывных нарушений (рис. 7): региональные глубинные разломы I порядка (Темулякитский, Хани-Кудулинский, Чаруодинский, Олёкмо-Нюкжинский), которые соответствуют крупным межблоковым разрывам; крупные локальные разломы II порядка (Токкинский, Ат-Бастаахский, Тумуллурский и др.), соответствующие внутривблоковым разрывам; разломы III порядка, формирующие густую сеть небольших локальных нарушений и зон повышенной трещиноватости горных пород [13, 14].

Наиболее значимой является система морфоконтролирующего Темулякитского разлома (№ 1), заложившегося в архее-протерозое. Она состоит из серии параллельных и сочленяющихся под острым углом субмеридиональных дизъюнктивов, которые сформировали мозаику пластин, линз, клиньев и блоков разнообразной величины [15]. Поскольку долготное простираание осевой зоны Темулякитского разлома является в данном районе доминантным, то оно подчиняет себе соседние с ней на западе северо-восточные разломы Удоканской системы (Чаруодинский и др.), а на востоке – северо-западные разрывные нарушения (Тумуллурский, Тунгурчаканский) на Алданском щите. Осевая часть Темулякитской зоны, трассируемая от долготного участка р. Олёкмы в ее среднем течении к северу, осложнена примыкающими к ней разрывами различного ранга и мелкими локальными нарушениями, сопрягающимися между собой под острыми углами до 70°. Кинематика большей части разломов, развитых в этой тектонической зоне, соответствует крутым взбросам, взбросо-сдвигам и сдвигам. При этом движения по северо-восточным дизъюнктивам, контактируемым с Темулякитской зоной, определяются по геолого-структурным данным как правосдвиговые, а северо-западным – как левосдвиговые [13]. В магнитном поле Темулякитский разлом выражен положительной линейной аномалией, прослеживаемой на север под осадочный чехол Сибирской платформы, а в поле силы тяжести – отчетливой гравитационной ступенью [15]. Кроме того, в его зоне влияния фиксируется скачкообразное увеличение мощности земной коры от 38–42 км в пределах Байкальского рифта и до 55–60 км – на Алданском щите [3].

Хани-Кудулинская дизъюнктивная система субширотного простираания (разломы № 2 и № 3), которую пересекает Темулякитский разлом южнее устья р. Хани, относится к зоне влияния Станового структурного шва и трассируется от Чарской впадины на правобережье р. Олёкмы. Она объединяет систему новейших разрывных нарушений сбросо-левосдвигового типа с падением сместителей на север или юг, амплитуда вертикальных смещений по которым составляет от первых десятков до сотен метров. К ее основной трассе примыкает также диагональная сеть мелких локальных разломов [2, 3, 13].

Не меньшее влияние имеют здесь разломы субширотного простираания, ограничивающие кайнозойские впадины, развитые на северо-восточном фланге Байкальского рифта. Наиболее типичным из них является Токкинский разлом (№ 4), ограничивающий с юга Верхнетоккинскую впадину. Он состоит из ряда эшелонированных кулис, которые следятся к востоку от Токко-Чарской межвпадинной перемычки вдоль южного обрамления Верхнетоккинской впадины. По морфологии кулисы выражены типичными линейными сбросовыми уступами с перемещением блоков по ним в процессе рифтогенеза до 400 м и амплитудой вертикального смещения от 500–600 до 1300 м. Следы сейсмогенного обновления Токкинского сброса выражены полосами дробления и рассланцевания в архейских гранито-гнейсах мощностью до 100–200 м. В коренных обнажениях здесь развита интенсивная трещиноватость, отмечается также обилие мелких сколовых трещин, что может быть связано со сдвиговым смещением. К тому же разлом сопровождается также разномасштабными обвально-оползневыми явлениями. В частности, к нему приурочена сейсмогравитационная структура «Эбгахлир» (крупный скальный обвал), случившийся при 9–10-балльном землетрясении не более первых сотен лет тому назад [12].

Таким образом, на исследуемой территории выделяется множество разных по возрасту и простираанию сопряженных и параллельных тектонических нарушений протяженностью в десятки километров. Многие разломы, пересекаясь друг с другом, разделяют блоки, отличающиеся размерами и формой. Именно к одному из таких блоков приурочена очаговая область Олдонгсинского и Чаруодинского роев. По периметру названный блок ограничен на западе северо-западными (субдолготными) разломами Чаруодинской и востоке – Темулякитской систем, на севере – близширотными разрывными структурами, следящимися восточнее Верхнетоккинской впадины, на юге – Ат-Бастаахским дугообразным разломом, по которому на лево-

бережье р. Олёкмы сопрягаются Хани-Кудулинская и Чаруода-Темулякитская системы дизъюнктивов.

Ат-Бастаахский разлом, в зоне влияния которого началась активизация роевого процесса в 1997 г., оконтуривает в плане одноименный архейский-раннепротерозойский блоковый массив, разбитый локальной сеткой разрывных структур в виде серии глубоких рвообразных тектонических ложбин (сейсмодислокаций), что может свидетельствовать о возможных крупных сейсмических событиях, неоднократно происходивших здесь в течение голоцена [11–13].

Для оценки напряженного состояния земной коры рассматривались решения механизмов очагов землетрясений роевых серий 1997 и 2005 гг. [1, 8, 16, 17], выполненные с использованием знаков первых вступлений *P*-волн, а также параметры фокальных механизмов по методу момента тензора центраида, заимствованные из бюллетеней ISC и NEIC [8, 9, 17]. Они помещены в табл. 3.

**Таблица 3.** Параметры механизмов очагов землетрясений Якутии в 1997–2005 гг. (составители: В.И. Мельникова, Н.А. Радзиминович, Б.М. Козьмин)

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Координаты		$K_p$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$		<i>T</i>		<i>N</i>		<i>P</i>		<i>NP1</i>			<i>NP2</i>		
						<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>
1	24.10.1997	11 50.35	57.35	120.81	13	37	2	53	180	1	271	40	64	153	143	66	29
2	06.11.1997	19 50	57.36	120.66	12.1	14	9	50	117	36	268	55	54	-162	314	76	-37
3	25.10.1997	01 38	57.31	120.55	11.4	68	31	21	226	5	134	63	54	117	202	44	58
4	22.01.1999	02 36	57.36	120.62	11.1	41	122	48	228	7	26	261	68	37	155	56	153
5	29.01.1999	16 45	57.28	120.54	11.1	14	9	50	117	36	268	55	54	-162	314	76	-37
6	08.09.1999	02 38	57.48	120.68	13.2	14	194	50	302	36	93	240	54	-162	139	76	-37
7	10.11.2005	19 27	57.26	120.53	12.8	6	152	19	244	70	44	78	54	-67	222	42	-118
8,a	10.11.2005	19 29	57.48	120.63	15.7	8	181	12	273	76	60	258	39	-110	102	54	-75
8,б	10.11.2005	19 29	27.37	120.77	15.7	7	176	3	266	82	19	89	52	-86	263	38	-95
9	30.11.2005	05 50	57.26	120.63	12.1	8	10	28	276	61	115	128	44	-48	257	59	-123
10	11.12.2005	15 54	57.63	120.82	14.8	1	164	11	74	79	262	265	45	-75	64	47	-105
11	15.12.2005	10 58	57.37	120.80	12.4	2	157	12	247	78	57	78	48	-74	235	44	-107

Были использованы стереограммы 11 фокальных механизмов (рис. 7), из которых 6 решений соответствовали событиям Олдонгсинского роя (серый цвет), а оставшиеся – событиям Чаруодинского роя (черный цвет). Во время Олдонгсинского роя 1997 г. в очагах землетрясений преобладали взбросо- и сбросо-сдвиговые подвижки, причем правые сдвиги были характерны для нодальных плоскостей, ориентированных в северо-восточных румбах, а левые – для плоскостей в северо-западных румбах, что совпадает с морфокинематической характеристикой разломов, выявленных здесь по геолого-структурным данным [13, 16]. Разрядка напряжений происходила под воздействием близгоризонтального сжатия, вектор которого был ориентирован в субширотном направлении, и горизонтального растяжения, действовавшего субмеридионально, т.е. роевый процесс развивался в сдвиговом деформационном поле.

Фокальные механизмы сильных землетрясений Чаруодинского роя 2005 г. и их афтершоков, напротив, указывают на сбросовые подвижки в их очагах по широтно ориентированным плоскостям разрывов в условиях горизонтального растяжения и вертикального сжатия, т.е. сейсмический процесс протекал в условиях растяжения земной коры. Таким образом, на первом этапе появления роевой последовательности действовало смешанное поле тектонических напряжений, возникшее под воздействием как растягивающих, так и сжимающих близгоризонтальных усилий, которое затем сменилось чисто «байкальским» рифтовым режимом, где в очагах землетрясений преобладали горизонтальные растягивающиеся усилия.

Остановимся на макросейсмических проявлениях самых крупных событий, отмеченных во время Чаруодинского роя 2005 г. Прежде всего к ним относится Чаруодинское-I землетрясение 10 ноября 2005 г. в  $19^{\text{h}}29^{\text{m}}$  с координатами  $\varphi=57.37^\circ N$ ,  $\lambda=120.77^\circ E$ . Оно является самым крупным сейсмическим событием в Южной Якутии за последние 16 лет инструментальных наблюдений. Его магнитуда, по данным NEIC, соответствует  $m_b=5.9$  [17], по сведениям ISC –  $m_b=5.8$  [8, 9], по данным ГС РАН –  $MS=5.7$ ,  $MPLP=6.4$ ,  $MPSP=5.9$ ,  $Mw=6.2$  [18], энергетический класс  $K_p=15.7$  [10, 19].



Возможная интенсивность сотрясений  $I_0$  в эпицентре, рассчитанная на основе уравнения макросейсмического поля для Южной Якутии

$$I_0 = 1.5 M - 4.5 \lg h + 5.1 [20],$$

составила  $I_0^p=8$  баллов (шкала MSK-64) [21].

Его эпицентр расположен на Олёкмо-Чарском нагорье (водораздел между левыми притоками р. Олёкмы: Хани, Олдонгсо и Чаруода (приток р. Чары) к востоку от Верхнетоккинской впадины (рис. 6 и 7). Рассматриваемое событие произошло в том же районе, где в течение 1997–2001 гг. действовал Олдонгсинский рой, включающий около 1.5 тыс. подземных толчков. В связи с тем, что Чаруодинское-I землетрясение произошло ночью, в 05<sup>h</sup>30<sup>m</sup> по местному времени, жители ряда удаленных населенных пунктов «проспали» это событие.

Сейсмические воздействия при названном землетрясении были замечены на значительной части территории Республики Саха (Якутия), а также соседних регионов: Республики Бурятия, Иркутской, Читинской и Амурской областей. Так как данное событие произошло вблизи границы Прибайкалья и Якутии, то макросейсмические данные по нему для районов Якутии и Амурской областей были собраны сотрудниками Якутского филиала ГС СО РАН, а для Читинской, Иркутской областей и Республики Бурятии – сотрудниками Байкальского филиала ГС СО РАН и Института земной коры СО РАН.

Лучше всего подземный толчок с интенсивностью сотрясений  $I=6$  баллов ощущался на участке Олоннокон, расположенном в 25 км к югу от эпицентра. Здесь располагался разрез горной компании «Радунит», зарегистрированной в г. Нерюнгри, которая занимается добычей поделочного и облицовочного камня. На участке имелись только деревянные дома, срубленные в лапу, неоштукатуренные, где проживали 25 сезонных рабочих. Деревянная мебель (нары, топчаны) была приколочена к стенам и полу. Все спавшие проснулись. Люди ничего не могли понять, что происходит. Трясся весь дом. Ходила ходуном железная печь. Громко дребезжали и трещали стекла окон. Падала посуда со стола, выплескивалась вода из ведер. Подскакивала и сместилась табуретка. Все, что было на стенных полках (рюкзаки, одежда, книги и др.), оказалось на полу. Слышался громкий глухой неприятный гул, повторявшийся многократно. Утром обнаружилось, что осыпался весь снег с крыш и деревьев.

На ближайших к эпицентру железнодорожных станциях на БАМ Олёкма и Хани, где построено несколько трех-пятиэтажных домов, **отмечены 5–6-балльные эффекты**. Проснулись практически все жители. Испуг населения и паника. В трехэтажных кирпичных домах на верхних этажах очевидцы испытали сильное ощущение страха. Люстры раскачивались с большим размахом, отмечена сильная вибрация, смещение мебели, грохот чашек на кухне и стеклянной посуды в серванте. В другом пятиэтажном доме «вся семья проснулась от сильного сотрясения и громкого глухого гула. Сильно качались люстры, дребезжала посуда, перемещались книги на столе и стаканы, открылись стеклянные дверцы (на магнитах) в мебельной стенке, приоткрылись двери комнаты». Многие напуганные жители с сонными детьми выскакивали из домов и бежали на вокзал, где провели остаток ночи. Внутри домов, особенно на верхних этажах, в течение 20–50 с интенсивно раскачивались кровати, сдвигались стулья, шатались кресла, столы. Отмечено смещение от стены мебельной стенки на 20 см. С полок, столов посыпались книги, с телевизоров падали на пол видеокассеты. Открывались двери и сильно раскачивались люстры, бра, лампочки, колыхались шторы и занавески, громко дребезжала посуда, звенели стекла в мебельных стенках и окнах. Местами лопались обои. Гул то сильнее, то слабее слышался неоднократно в течение ноября–декабря 2005 г. Многие жители после землетрясения на время переселились в старые одноэтажные бараки, которые снова стали отапливать, и боялись возвращаться в свои благоустроенные квартиры.

**Сотрясения с  $I=5$  баллов** зафиксированы на железнодорожной станции БАМ Юктали и в пос. Усть-Нюкжа (Амурская обл.). На станции Юктали большинство жителей проснулись от сотрясений в пятиэтажных жилых домах. Наблюдалась сильная вибрация зданий. Тряслись кровати, дребезжали стекла окон, посуда и стеклянные дверцы мебели. При этом, чем выше этажом находились жители, тем сотрясения ощущались сильнее. На последнем этаже в одной из квартир люстра слетела с крюка на потолок и повисла на проводах. Некоторые жители испугались и выбегали на улицу. В деревянных одноэтажных домах наблюдали раскачивание электролампочек, скрип полов, потолков, стен, дрожание стекол в окнах, легкую дрожь мебели,

осыпание извести со стен. Был слышен громкий глухой гул, который повторился утром, но слабее несколько раз. Все сведения о балльности внесены в табл. 4.

**Таблица 4.** Макросейсмические данные о Чаруодинском-I землетрясении 10 ноября 2005 г. в 19<sup>h</sup>29<sup>m</sup> с  $K_p=15.7$ ,  $MS=5.7$

№	Пункт	Δ, км	№	Пункт	Δ, км
	<u>6 баллов</u>		29	Беркамит	272
1	уч. Олоннокон	25	30	Куанда	285
	<u>5–6 баллов</u>		31	Большой Нимныр	312
2	Олёкма	26	32	Ленинский	330
3	Хани	45	33	Якокут	340
	<u>5 баллов</u>		34	Нижний Куранах	346
4	Юктали	99	35	Маракан	357
5	Усть-Нюкжа	101	36	Бодайбо	360
	<u>4 балла</u>		37	Мама	430
6	Торго	152	38	Чита	622
7	Чильчи	178		<u>2–3 балла</u>	
8	Средняя Олёкма	198	39	Хорогочи	290
9	Тяня	206	40	Балаганах	290
10	Лопча	216	41	Иенгра	292
11	Артёмовский	362	42	Нагорный	305
12	Апрельский	367	43	Токко	307
13	Мамакан	390	44	Дельгей	318
14	Витимский	440	45	Кувькта	329
15	Северомуйск	445	46	Тында	350
	<u>3–4 балла</u>		47	Олёкминск	352
16	Икабья	106	48	Горно-Чуйский	496
17	Новая Чара	138	49	Янчукан	515
18	Ларба	244	50	Жирекен	527
19	Алдан	328	51	Ангаракан	622
20	Лебединый	330		<u>Не ощущалось</u>	
21	Хатыстыр	337	52	Старая Чара	139
22	Томмот	392	53	Давенда	418
23	Тунгокочен	510	54	Ксеньевка	425
	<u>3 балла</u>		55	Маловский	510
24	Нерюнгри	259	56	Усть-Карск	513
25	Бяс-Кюэль	261	57	Букачача	520
26	Хатыми	267	58	Мильгидун	554
27	Чульман	270	59	Багульный	573
28	Серебряный Бор	272	60	Сретенск	575
			61	Кокуй	581
			62	Байгул	598

**Сотрясения с I=4 балла** отмечены на станциях БАМа Чильчи и Лопча, а также в поселках Средняя Олёкма, Торго, Тяня и др. Проснулись многие жители. В деревянных домах наблюдались колебания, которые продолжались около минуты. Слышался скрип деревянных конструкций домов: полов, потолков, стен, перекрытий. Дребезжала посуда, стекла окон и висящие зеркала, раскачивались лампочки. Был слышен сильный глухой звук, как будто близко проезжал трактор. На верхних этажах жилых зданий (вторые–пятые этажи) тряслись кровати, качались висячие предметы (люстры, лампочки, подвески). Слышалось позвякивание посуды в серванте. В здании железнодорожных вокзалов наблюдалось дрожание мебели и полов. Слышался подземный гул.

**Возмущениями с I=3 балла** была охвачена громадная территория между реками Леной и Амуром, куда относится зона трассы БАМ на участке Тында–Кичера. В пределах зоны, ограниченной изолинией I=3 балла, выявились участки 4-балльных сотрясений: район г. Бодайбо, Иркутская область и район городов Томмот и Алдан Республики Саха (Якутия). Особо следует отметить территорию вблизи г. Читы, где на расстоянии 720 км от эпицентра отчетливо наблю-

далось увеличение макроэффектов на один балл. Подобная ситуация имела наблюдаться здесь и раньше, например, при 9-балльном Тас-Юряхском землетрясении 18.01.1967 г. с эпицентром в бассейне среднего течения р. Олёкмы [12].

Карта изосейст, построенная по данным почтовых опросных листов, телефонных сообщений и опроса местного населения на месте, полученных из 62 населенных пунктов (табл. 4), выявила участки с сотрясениями от 3 до 6 баллов (рис. 8).

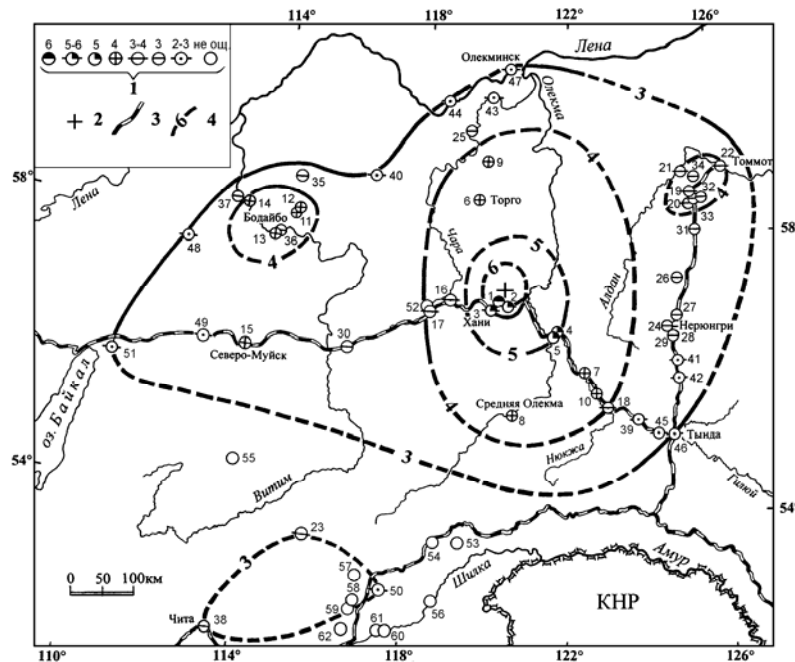
В итоге под воздействием 6-балльных возмущений оказалась территория почти в  $\sim 5 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ , 5-балльных  $\sim 25 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ , 4-балльных  $\sim 133 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ , 3-балльных  $\sim 515 \cdot 10^3 \text{ км}^2$  (табл. 5). Общая площадь сейсмических воздействий при Чаруодинском-I землетрясении составила  $\sim 540 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ . Основные параметры макросейсмического поля Чаруодинского-I землетрясения приведены в табл. 5.

**Таблица 5.** Основные параметры макросейсмического поля Чаруодинского-I землетрясения 10 ноября 2005 г. в  $19^{\text{h}}29^{\text{m}}$  с  $K_p=15.7$ ,  $MS=5.7$

$I$ , баллы	$l_a$ , км	$l_b$ , км	$l_a/l_b$	$\bar{l}$ , км	$S_2$ , км <sup>2</sup>
6	82	72	1.14	77	4600
5	187	159	1.18	173	23000
4	505	336	1.50	410	133200
3	1050	687	1.53	850	515000

Примечание.  $\bar{l} = \sqrt{l_a \cdot l_b}$ .

Изосейсты имели изометричную форму (рис. 8), где выявились две характерные особенности распространения сейсмических колебаний. В субдолготном направлении оказались вытянутыми изолинии высоких (4–6) баллов, на что повлияла, скорее всего, преобладающая близмеридиональная ориентировка тектонических структур в междуречье Чары и Олёкмы. В то же время 3-балльная изосейста имела субширотную направленность, совпадающую с генеральным простираем структур и разломов Байкальской рифтовой зоны. При составлении карты изосейст явно ощущался недостаток данных в связи с небольшой плотностью населения, в особенности на востоке территории, и возникновением самого землетрясения в ночное время.



**Рис. 8.** Карта изосейст Чаруодинского-I землетрясения 10 ноября 2005 г. в  $19^{\text{h}}29^{\text{m}}$  с  $K_p=15.7$ ,  $MS=5.7$

1 – интенсивность сотрясений в баллах шкалы MSK-64 [21]; 2 – инструментальный эпицентр; 3 – железнодорожная трасса БАМ; 4 – изосейста. Номера пунктов на карте соответствуют таковым в табл. 4.

Последующие толчки с  $K_p=10-12$  после Чаруодинского-I землетрясения также часто ощущались на ближайших к эпицентрам железнодорожных станциях БАМ Хани и Олёкма с интенсивностью до трех баллов так, что местные жители перестали обращать на них внимание.

Спустя месяц, точнее 11 декабря 2005 г. в 15<sup>h</sup>54<sup>m</sup>, произошел второй подземный толчок – Чаруодинское-II землетрясение. Его цифровые записи приведены на рис. 9.

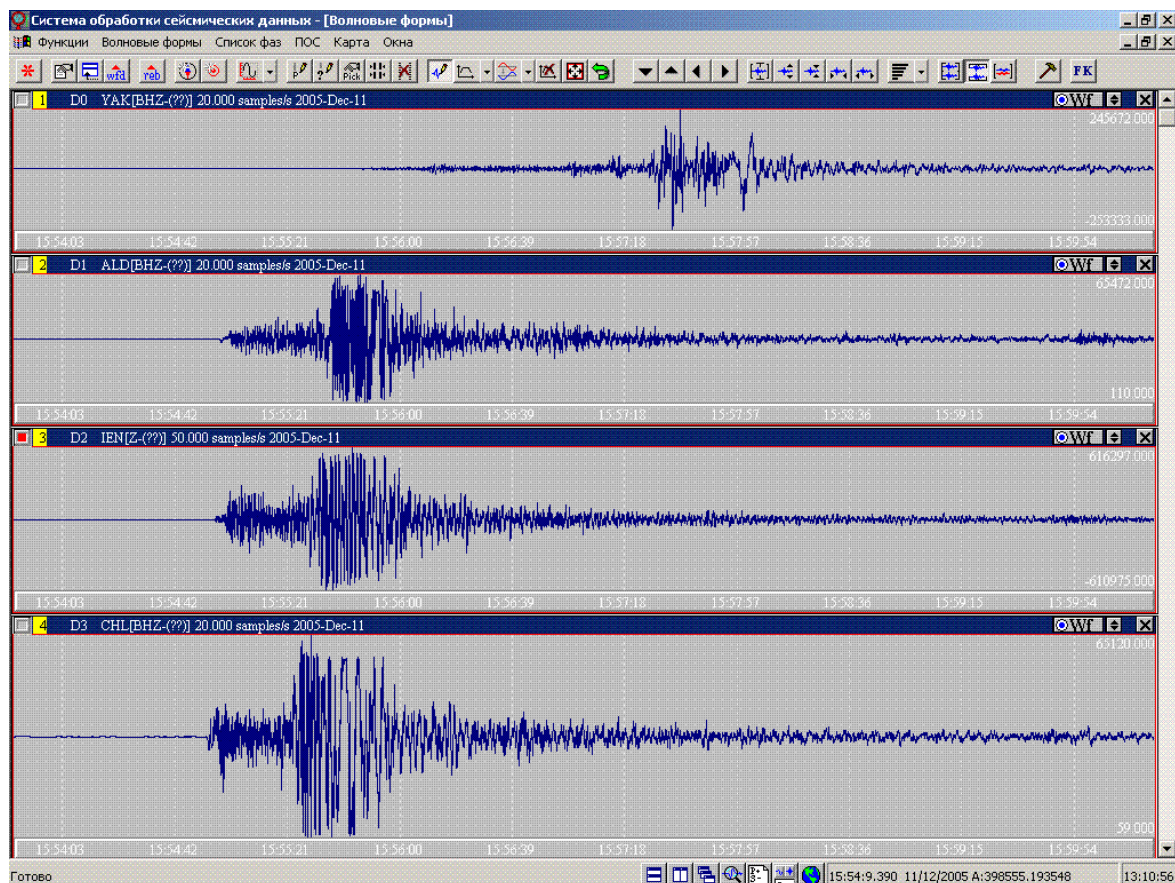


Рис. 9. Цифровые записи Чаруодинского-II землетрясения 11 декабря 2005 г. сейсмическими станциями «Якутск», «Алдан», «Иенгра» и «Чульман» с  $\Delta=720, 325, 290$  и 270 км соответственно

Его эпицентр с координатами  $\varphi=57.43^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=120.90^\circ\text{E}$  расположен в 9 км к северо-востоку от Чаруодинского-I землетрясения (рис. 6 и 7). Оно слабее первого, т.к. его магнитуда, по данным NEIC, составляла  $m_b=5.7$  [17], ISC –  $m_b=5.6$  [8, 9], ГС РАН –  $MS=5.5$ ,  $MPSP=5.8$  [18]; энергетический класс  $K_p=14.8$  [7/10], возможная интенсивность сотрясений в эпицентре  $I_0=7$  баллов. Возникновение данного события связано с продолжением активности рассматриваемого роя в декабре 2005 г. Землетрясение вновь произошло ночью, около 1<sup>h</sup> ночи по местному времени, поэтому его воздействие могло наблюдать в большинстве случаев лишь бодрствующее население. Как и в предыдущем случае, сведения о макроэффектах данного подземного толчка были собраны работниками ЯФ ГС СО РАН, БФ ГС СО РАН и ИЗК СО РАН.

**Сотрясения с  $I=4$  балла** отмечены на участке Олоннокон, на железнодорожных станциях БАМ Хани и Тында ( $\Delta=27-50$  км). Землетрясение почувствовали все. Спавшие проснулись. Дребезжали стекла окон, скрипели полы и потолки, дрожали нары. На всех верхних этажах жилых каменных зданий отмечено раскачивание диванов, кроватей. Была тряска стен, позвякивала посуда, дребезжали стекла окон, раскачивались всякие предметы. Наблюдали дрожание воды в стакане. Некоторые люди выходили из домов. На вокзале чувствовались колебания пола и дрожание стен. Слышался глухой гул, похожий на звук грома при грозе.

**Воздействия с  $I=3$  балла** наблюдались в радиусе примерно 300 км от эпицентра и охватили территорию Южной Якутии, северную часть Бурятии, Иркутской, Читинской и Амурской

областей. В частности, на станции БАМ Юктали и в пос. Усть-Нюкжа некоторые жители были разбужены сотрясением мебели. Скрипели полы. На верхних этажах зданий дрожали предметы на полу и столах, как будто рядом прошел трактор. Слегка дребезжали посуда и стекла окон. В пос. Торго, в 150 км к северу от эпицентра, это событие наблюдали только неспавшие жители. Через дом прошло легкое колебание, был слышен слабый скрип пола и потолка, чуть дребезжали стекла окон. На станции БАМ Чильчи землетрясение было замечено людьми в состоянии покоя на верхних этажах зданий (четвертые–пятые этажи), в г. Нерюнгри оно наблюдалось отдельными чуткими жителями в состоянии покоя на последних этажах жилых зданий (восьмые–девятые этажи). Слегка колебались полы и качались люстры. В районе городов Алдан и Томмот землетрясение ощущалось некоторыми людьми на верхних этажах. Они проснулись от плавных колебаний. Пронесся шум и слышалось дребезжание посуды, скрип полов и потолков. Вновь было отмечено усиление сейсмических воздействий в районах г. Бодайбо Иркутской области и городах Томмот и Алдан в Якутии. Проявления этого события даже зафиксировали в Якутске и Чите на расстоянии свыше 700 км от эпицентра. В Якутске отмечено два случая, когда на 9-м и 12-м этажах жилого дома люди лежа на диване смотрели ночные телевизионные передачи, увидели, как качнуло люстру и почувствовали волнообразные колебания (около 2 баллов). Общая площадь ощутимых макроэффектов не превышала  $300 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ . В табл. 6 приведены сводные данные сейсмических воздействий, отмеченных в 23 населенных пунктах.

**Таблица 6.** Макросейсмические данные о Чаруодинском-II землетрясении 11 декабря 2005 г. в  $15^{\text{h}}54^{\text{m}}$  с  $K_p=14.8$

№	Пункт	Δ, км	№	Пункт	Δ, км
	<u>4 балла</u>			<u>2 балла</u>	
1	уч. Олоннокон	27	13	Нерюнгри	258
2	Олёкма	27	14	Таксимо	353
3	Хани	46	15	Мама	463
4	Мамакан	390	16	Чита	726
5	Витимский	440		<u>1–2 балла</u>	
	<u>3 балла</u>		17	Якутск	720
6	Юктали	98		<u>Не ощущалось</u>	
7	Усть-Нюкжа	102	18	Старая Чара	137
8	Новая Чара	138	19	Куанда	285
9	Алдан	328	20	Моклакан	289
10	Томмот	392	21	Горно-Чуйский	524
	<u>2–3 балла</u>		22	Визирный	572
11	Торго	152	23	Варваринский	598
12	Чильчи	177			

Очевидна связь роевых явлений 1997 и 2005 гг. между собой, на что указывает прежде всего пространственное единство их эпицентральных зон. Эти сейсмические последовательности вызваны общим процессом деструкции земной коры в данном районе, обусловленным подвижками вдоль крупных глубинных региональных и локальных разломов, развитых на Олёкмо-Чарском нагорье. Можно предположить, что в этой промежуточной области между Байкальским рифтом (режим растяжения земной коры) и Алданским щитом со Становой складчатой системой (обстановка сжатия) длительное время господствовало смешанное поле тектонических напряжений, под воздействием которых в сети разломов северо-восточного заложения возник Олдонгсинский рой 1997 г. и были частично сняты накопленные упругие напряжения. Перераспределение и концентрация их на северо-восточном фланге роя, куда к 2001 г. переместились эпицентры сейсмических событий, вызвало «оживление» разломов субширотного простираения и возник Чаруодинский рой 2005 г., землетрясения которого оказались приуроченными к субширотным локальным зонам растяжения по северной границе Ат-Бастаахской группы интрузивных массивов [13, 14]. При этом смешанное взбросо-сбросо-

сдвиговое поле напряжений, присущее Олдонгсинскому рою, сменилось на сбросовое. Действительно, в очагах землетрясений Чаруодинского роя для всех решений фокальных механизмов подвижки произошли в условиях растяжения. Ранее для Байкальского рифта уже отмечалась приуроченность роевых последовательностей к участкам земной коры, где кристаллический фундамент слагают породы гранитоидного состава. Часто подобные события тяготеют к поднятым блокам земной коры (хребтам, горным межвпадинным перемычкам) [22]. В исследуемом случае также, вероятно, происходит активное деформирование восточного борта Верхнетоккинской впадины, что позволяет сделать вывод о возможном продвижении процессов рифтогенеза на восток.

#### Л и т е р а т у р а

1. **Козьмин Б.М.** Якутия // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 181–189.
2. **Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия).**– М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.
3. **Геодинамика Олекмо-Становой сейсмической зоны.** – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985. – 136 с.
4. **Голенецкий С.И., Хромовских В.С. (отв. сост.), Кисловская В.В., Кондорская Н.В., Солоненко В.П., Шебалин Н.В. V.** Прибайкалье [(2000 до н.э. – 500 н.э.) – 1974 гг.;  $M \geq 5.0$ ;  $I_0 \geq 6$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 315–338.
5. **Козьмин Б.М. (отв. сост.), Андреев Т.А. VI.** Якутия и Северо-Восток [1735–1974 гг.;  $M \geq 4.5$ ,  $I_0 \geq 5$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 339–357.
6. **Козьмин Б.М., Голенецкий С.И. и др.** Южно-Якутское землетрясение 20(21).04.1989 г. и его афтершоки // Землетрясения в СССР в 1989 году. – М.: Наука, 1993. – С. 172–193.
7. **Козьмин Б.М.** Якутия // Землетрясения Северной Евразии в 2002 году. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 232–238.
8. **Internet:// <http://www.isc.ac.uk/Bulletin/html>**
9. **Bulletin of the International Seismological Centre for 1999–2005.** – Berkshire: ISC, 2000–2006.
10. **Якутия** (Каталог землетрясений Якутии за 2005 год) ( $N=560$ ) // Землетрясения России в 2005 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 123–132.
11. **Солоненко В.П., Тресков А.А., Курушин Р.А., Мишарина Л.А., Павлов О.В., Пшенинников К.В., Солоненко М.А., Фомина Е.В., Хилько С.Д.** Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья. – М.: Наука, 1966. – 231 с.
12. **Сейсмогеотектоника, глубинное строение и сейсмичность северо-востока Байкальской рифтовой зоны** / Отв. ред. В.П. Солоненко. – Новосибирск: Наука, 1974. – 104 с.
13. **Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С.** Сейсмогеотектоническая позиция западного фланга Олекмо-Становой зоны (Южная Якутия). – Отечественная геология. – 2007. – № 5. – С. 114–117.
14. **Шибает С.В., Петров А.Ф., Козьмин Б.М., Имаева Л.П., Мельникова В.И., Радзиминович Н.А., Тимиршин К.В., Петрова В.Е., Гилёва Н.А., Пересыпкин Д.М.** Сейсмогеотектоническая характеристика зоны роевых событий в 1997–2006 гг. на границе Байкальского рифта и Становой складчатой области // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Четвертой Международной сейсмологической школы, Листвянка, 10–14 августа 2009 г. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 230–235.
15. **Реутов Л.М.** Темулякитский глубинный разлом как межблоковая структура древнего заложения // Разломная тектоника территории Якутской АССР. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1976. – С. 115–125.
16. **Радзиминович Н.А., Мельникова В.И., Козьмин Б.М., Татомир Н.В.** Олдонгсинский рой землетрясений 1997–2002 гг. на северо-восточном фланге Байкальской рифтовой зоны // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов». – Архангельск: ИЭПС АНЦ УрО РАН, 2004. – С. 193–196.
17. **Internet:// <http://neic.usgs.gov/neis/sopar>**

18. **Шаторная Н.В. (отв. сост.), Бабкина В.Ф., Аторина М.А., Болдырева Н.В., Рыжикова М.И., Щербакова А.И.** Каталог землетрясений Земли за 2005 год ( $N=6492$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
19. **Козьмин Б.М., Шibaев С.В. (отв. сост.), Петрова В.Е., Захарова Ж.Г., Хлебников А.В.** Каталог землетрясений Якутии за 2005 год ( $N=906$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
20. **Козьмин Б.М.** Сейсмические пояса Якутии и механизм очагов их землетрясений.– М.: Наука, 1984. – 127 с.
21. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
22. **Сейсмические и сейсмогеологические исследования на центральном участке БАМа.** – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1978.– 128 с.