

## СЕЙСМИЧНОСТЬ ЯКУТИИ в 2015 г.

С.В. Шибяев<sup>1</sup>, Б.М. Козьмин<sup>1,2</sup>, А.А. Макаров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Якутский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск, shibaev@emsd.ysn.ru

<sup>2</sup>Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, b.m.kozmin@diamond.ysn.ru

**Аннотация.** Приводятся итоги мониторинга сейсмичности территории Якутии, основанные на наблюдениях 23 цифровых сейсмических станций. Всего было зарегистрировано 607 подземных толчков. Построена карта эпицентров и дана их локация по сейсмоактивным районам. К самым активным районам относятся: Олёкминский на юге, Верхоянский, хребта Черского – на северо-востоке и в арктической части региона. Продолжилось значительное снижение (в 19 раз) количества выделившейся сейсмической энергии в сравнении с ее уровнем в 2014 году. Анализируются инструментальные и макросейсмические данные, фокальные механизмы и сеймотектонические связи. Рассмотрены характеристики ощутимого Южноверхоянского землетрясения, возникшего на стыке хребтов Верхоянского и Сетте-Дабан.

**Ключевые слова:** Сеть станций, каталог землетрясений, фокальных механизмы, Южное Верхоянье, сейсмические пояса Якутии.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.16

**Для цитирования:** Шибяев С.В., Козьмин Б.М., Макаров А.А. Сейсмичность Якутии в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 173–181. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.16

**Сеть станций и обработка инструментальных сведений.** Целью настоящей статьи является анализ результатов мониторинга сейсмичности на территории Республики Саха (Якутия) в 2015 г., где действовали 23 цифровые сейсмические станции Якутского филиала ФИЦ ЕГС РАН. В октябре 2014 г. была закрыта станция в пос. Нижний Бестях. В результате в арктической зоне и на северо-востоке региона функционировали девять пунктов наблюдений, на юге – шесть и на западе – три. В Центральной Якутии количество станций сократилось до четырех (рис. 1). Сведения по всем станциям и установленным на них приборам приведены в Приложении [1] к настоящему выпуску журнала.

Для определения параметров очагов землетрясений обрабатывались сейсмограммы, полученные на цифровых станциях ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, а для приграничных участков территории, как и ранее [2], привлекались материалы региональных станций из соседних филиалов: Байкальского («Чара», «Средний Калар», «Тупик», «Бодайбо»); Магаданского («Сусуман», «Сеймчан», «Омсукчан», «Омчак») и Сахалинского («Кировский» и «Бомнак»).

Параметры гипоцентров были получены при использовании типового программного модуля «WSG» [3], используемого филиалами ФИЦ ЕГС РАН. При этом для функционирования программы «WSG» в процессе расчетов применялись алгоритмы, составленные на основе осредненного регионального годографа С.И. Голенецкого [4] и методики оценки энергетического класса землетрясений  $K_p$  по номограмме Т.Г. Раутиан [5] с пересчетом в магнитуды  $M^p$  по формуле  $K_p=4+1.8 M$  [6].

**Представительность инструментальных данных.** Регистрация сейсмических сигналов без пропусков от участка к участку зависела от плотности инструментальных наблюдений. Так, на юге Якутии (западный фланг: Олёкмо-Чарское нагорье и Становой хребет) представительность землетрясений  $K_{min}$  соответствовала событиям с  $K_p \geq 7$  ( $M^p \geq 1.7$ ), а на восточном фланге (Токинский Становик) –  $K_p \geq 8-9$  ( $M^p \geq 2.2-2.8$ ). На левобережье р. Лены, на западе республики, без пропусков регистрировались землетрясения с  $K_p \geq 9$  ( $M^p \geq 2.8$ ). В центральных районах без пропусков фиксировались события с  $K_p \geq 8$  ( $M^p \geq 2.2$ ). В системе хр. Черского, на северо-востоке региона, представительными были подземные толчки с  $K_p \geq 8-9$  ( $M^p \geq 2.2-2.8$ ). На крайнем севере и в акватории Восточно-Арктических морей лоцировались без пропусков все события с  $K_p \geq 10-11$  ( $M^p \geq 3.3-3.9$ ). В целом для всего региона в полном объеме записывались землетрясения Якутии с  $K_p \geq 12-13$  ( $M^p \geq 4.4-5.0$ ).

**Каталог землетрясений и карта эпицентров.** По материалам сводной обработки результатов наблюдений были рассчитаны параметры эпицентров 607 землетрясений с  $K_p \geq 7.2-12.7$ ,

( $M^p=1.8-4.8$ ) и выявлено 419 взрывов с  $K_p=7.2-9.6$  ( $M^p=1.8-3.1$ ), которые приведены в каталоге [7] в электронном приложении к настоящему выпуску журнала. Там же добавлены немногочисленные магнитуды по поверхностным, объемным волнам и сейсмическому моменту из международных бюллетеней – *MS*, *MPSP* из [8], *Ms*, *m<sub>b</sub>*, *M<sub>w</sub>* – из [9] и магнитуды *MPVA* – из каталога Сахалина [10]. Параметры механизмов очагов приведены для трех землетрясений [11], макросейсмический эффект – для четырех [12], а суммарное число населенных пунктов, сотрясенных в 2015 г., равно восьми [13]. Распределение зарегистрированных сейсмических событий по энергетическим классам, районам и соседним регионам приведено в табл. 1.

**Таблица 1.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$  и суммарной сейсмической энергии по районам и регионам за 2015 г.

№	Район	$K_p$							$N_\Sigma$	$\Sigma E$ , Дж
		7	8	9	10	11	12	13		
1	Олёкминский	47	57	20	8	–	2	–	134	$2.612 \cdot 10^{12}$
2	Становой хребет	30	39	11	4	1	–	–	85	$9.817 \cdot 10^{10}$
3	Алданское нагорье	25	56	9	2	1	–	–	93	$9.571 \cdot 10^{10}$
4	Учурский	11	31	6	1	–	–	–	49	$1.374 \cdot 10^{10}$
5	Охотский	–	1	–	–	–	–	–	1	$1.995 \cdot 10^8$
6	Хребет Сетте-Дабан	–	1	–	–	1	–	–	2	$1.261 \cdot 10^{11}$
7	Верхоянский хребет	2	6	2	–	1	–	1	12	$5.213 \cdot 10^{12}$
8	Яно-Оймяконское нагорье	4	21	9	–	–	1	–	35	$4.098 \cdot 10^{11}$
9	Хребет Черского	32	41	17	3	4	1	–	98	$1.035 \cdot 10^{12}$
10	Приморская низменность	1	4	–	1	–	–	–	6	$3.024 \cdot 10^9$
11	Лаптевский	4	27	7	–	1	–	–	39	$2.623 \cdot 10^{11}$
12	Восточная часть Сибирской платформы	3	8	2	–	1	–	–	14	$5.239 \cdot 10^{10}$
	<b>Всего</b>	<b>159</b>	<b>292</b>	<b>83</b>	<b>19</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>567</b>	<b><math>1.008 \cdot 10^{13}</math></b>
Регион (вне)										
1	Северо-Восток	–	4	2	–	1	–	–	7	$4.590 \cdot 10^{10}$
2	Приамурье	10	14	5	–	1	–	–	30	$1.372 \cdot 10^{11}$
3	Байкал	1	2	–	–	–	–	–	3	$4.296 \cdot 10^8$
	<b>Сумма</b>	<b>170</b>	<b>212</b>	<b>90</b>	<b>–</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>607</b>	<b><math>1.026 \cdot 10^{13}</math></b>
	Взрывы в Якутии	175	224	19	1	–	–	–	419	$5.027 \cdot 10^{10}$

На основе каталога была составлена карта эпицентров землетрясений за 2015 г. (рис. 1). Из карты и табл. 1 следует, что наибольшая суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  выделилась в трех районах: **Олёкминском (№ 1), Хребтах Верхоянском (№ 7) и Черского (№ 9)**. Как и раньше, эпицентры тяготели к границам Евразийской литосферной и Амурской коровой плит в Южной Якутии, а также Евразийской и Североамериканской литосферных плит – в арктической и северо-восточной частях региона. Олёкмо-Становая сеймотектоническая зона (ОСЗ) на юге представлена на карте субширотной полосой с повышенной плотностью эпицентров, протягивающейся от р. Олёкма к Охотскому морю. Проявления сейсмичности на северо-востоке и в Арктике сосредоточены в Арктико-Азиатском сеймотектоническом поясе (ААСП), который прослеживается от шельфа моря Лаптевых к Охотскому морю. Он объединяет ряд разрозненных групп и сгущений очагов землетрясений, расположенных между слабоактивными и асейсмичными участками территории, и не имеет такой стройной структуры эпицентральных полей, как в ОСЗ.

**Особенности проявлений сейсмичности по районам.** Большая часть землетрясений (свыше 300) произошла в Южной Якутии в пределах ОСЗ и представлена как «облако» эпицентров в субширотном направлении вдоль границы Евразийской литосферной и Амурской коровой плит [14], от р. Олёкма к Охотскому морю.

К самым активным участкам на крайнем западе относится **Олёкминский район (№ 1)** с  $N_\Sigma=134$  (табл. 1). Здесь, на Олёкмо-Чарском нагорье, в переходной зоне от Байкальского рифта к ОСЗ, уже более 10 лет не прерывается сейсмическая активность Чаруодинского роя, действующего после трех главных толчков – 10.11.2005 г. с  $K_p=15.7$ ,  $M_w=5.8$ , 11.12.2005 г. с  $K_p=14.8$ ,  $M_w=5.7$  [15]; 26.01.2009 г. с  $K_p=13.7$ ,  $M_w=5.4$  [16]. В 2015 г. здесь произошло свыше 133 роевых событий с  $K_p=7.2-10.5$ , отмеченных в каталоге [7] метками «рой Чрд».

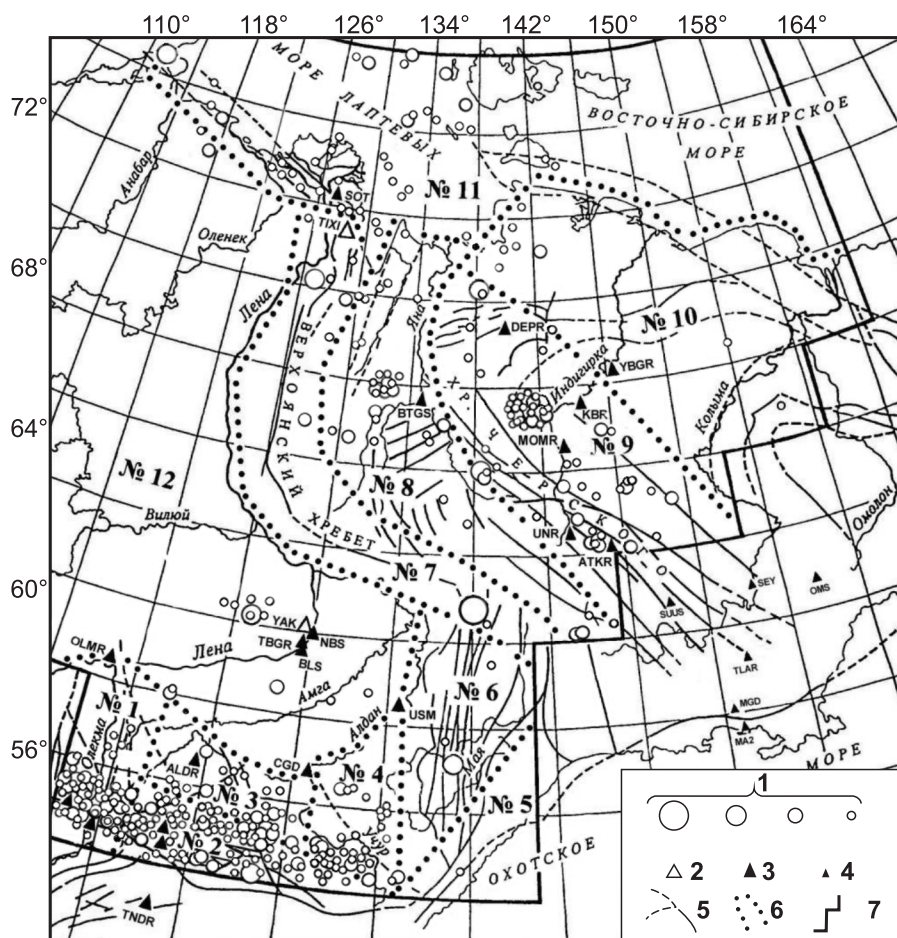


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Якутии с  $K_p \geq 7.2-12.7$  за 2015 г.

1 – энергетический класс землетрясения  $K_p$ ; 2, 3 – сейсмическая станция, опорная и региональная соответственно; 4 – сейсмическая станция соседних регионов; 5 – разлом по [14], установленный (сплошная линия) и предполагаемый (штриховая); 6, 7 – граница района и региона соответственно.

Два из них ощущались на ближайших железнодорожных станциях трассы БАМ. Первое землетрясение возникло 14 сентября в  $09^h06^m$  с  $K_p=11.7$ ,  $h=10$  км. Его небольшие колебания наблюдались на станции «Олёкма» в 50 км к юго-востоку от эпицентра с  $I_i=3-4$  балла и на станции «Хани», в 80 км к югу, с  $I_i=3$  балла [12].

Второе землетрясение возникло 4 декабря в  $13^h27^m$  с энергией ( $K_p=12.3$ ), несколько большей предыдущего, и на большей глубине ( $h=18$  км). Сотрясения от него выявлены на трех станциях БАМ: «Олёкме» (54 км к юго-востоку от эпицентра) с  $I_i=4$  балла, «Хани» (82 км к югу) – 3–4 балла и «Новой Чаре» (150 км к западу) – 3 балла [12]. Для него в каталоге [11] имеются три идентичных решения фокального механизма, полученного агентствами GCMТ, ISC [9] и ВУКЛ [17, 18], подтверждающих сбросовую подвижку в его очаге (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2. Механизмы очагов землетрясений Якутии в 2015 г. по решениям мировых сейсмологических центров и других источников

Агентство	Дата, дд мм	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	$M_S$ [9]	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источник
					T		N		P		NP1			NP2			
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
ВУКЛ	18.03	11 59 03.2	7	4.1	20	95	58	324	21	194	144	90	148	234	58	0	[17]
ВУКЛ	26.05	04 41 29.2	15	4.4	63	250	4	348	27	80	347	72	86	180	19	78	[17]
GCMТ	04.12	13 27 02.1	20	4.2	2	14	9	284	80	117	114	44	-76	275	48	-103	[9]
ВУКЛ	04.12	13 27 03.7	4	4.2	11	193	17	100	70	315	304	37	-61	89	58	-110	[18]
ISC	04.12	13 27 03.4	12	4.2	1	180	1	270	88	41	91	46	-89	269	44	-91	[9]

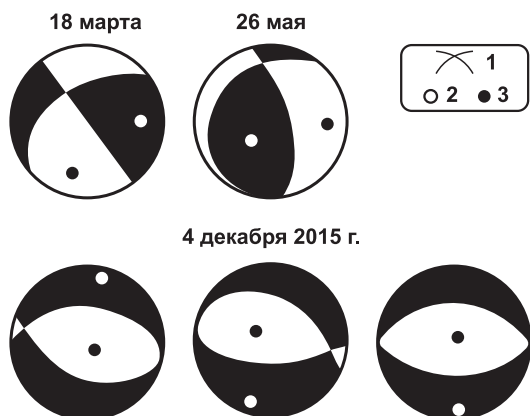


Рис. 2. Диаграммы механизмов очагов Якутских землетрясений в проекции нижней полусферы.

1, 2 – оси главных напряжений растяжения и сжатия; зачернена область волн сжатия.

10.7, их суммарное число равно 85 (табл. 1). На восточном окончании этого хребта в течение года наблюдалась небольшая активизация сейсмической деятельности, представленная группой из 29 продолжающихся афтершоков 7-балльного Гонамского события с  $K_p=14.2$  [19], возникшего год назад – 4 января 2014 года. Самый сильный ( $K_p=10.7$ ) толчок в этой группе отмечен 12 января  $09^h32^m$  с  $h=18$  км.

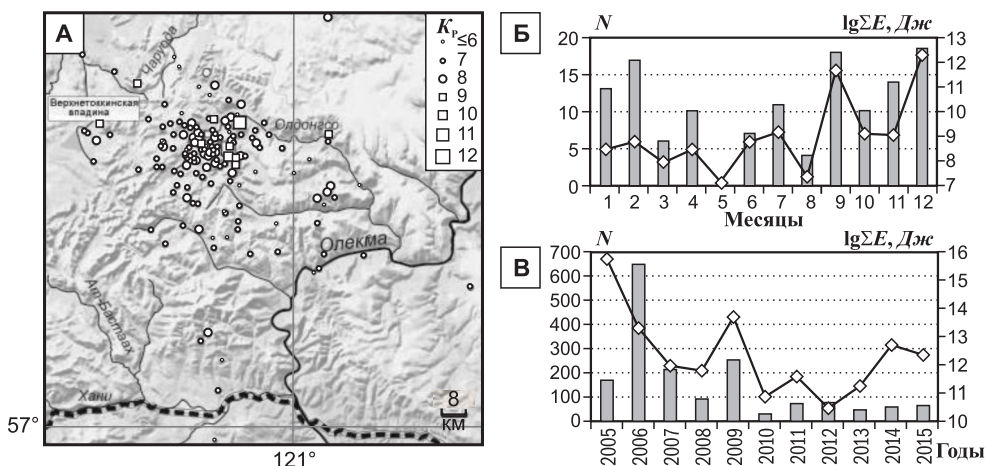


Рис. 3. Локализация в 2015 г. событий Чаруодинского роя (А); график изменения во времени суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  и ежемесячных чисел  $N$  роевых землетрясений в 2015 г. (Б); годовые числа  $N$  толчков и суммарной энергии  $\Sigma E$  в течение всего периода действия роя 2005–2015 гг. (В); внизу фрагмента (А) помечена трасса железнодорожной магистрали БАМ

Еще в ОСЗ отметим два активных участка – район Алданского нагорья (№ 3), расположенный к северу от Станового хребта, и Учурский район (№ 4), в бассейне р. Учур (правый приток р. Алдан). В Алданском нагорье зарегистрировано 93 события с максимальным толчком с  $K_p=10.7$ , возникшим 12 января в  $09^h32^m$  на глубине  $h=18$  км; в Учурском районе отмечено 49 слабых подземных толчков с  $K_p=7.2-9.6$  [7].

Самое сильное землетрясение региона в 2015 г. случилось в Восточной Якутии, в Верхоянском районе (№ 7). Здесь, на стыке хребтов Верхоянского и Сетте-Дабан, 18 марта в  $11^h59^m$  произошло ощутимое Южно-Верхоянское землетрясение с  $K_p=12.7$  [7],  $MS=4.1$  [8]. В момент толчка высвободилась энергия, равная  $5.2 \cdot 10^{12}$  Дж. Его очаг располагался на глубине 7 км и был приурочен к крупному разломному узлу пересечения близширотного Западно-Верхоянского надвига и субдолготного Бурхалинского сдвига [14]. Для названного толчка по методу тензора сейсмического момента [17] и знакам первых смещений сейсмических волн в ближней зоне был определен фокальный механизм. Тип подвижки в его очаге соответствовал взбросо-сдвигу

Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в этой роевой серии за 2015 г., составила  $2.6 \cdot 10^{12}$  Дж. Легко заметить, что в 2015 г. система Чаруодинского роя локализована восточнее Верхнетоккинской впадины (рис. 3, А), т.е. в том же месте, что и «материнский» рой 2005 г., – в верховьях р. Олдонгсо (левый приток р. Олёкма) [15]. График на рис. 3 Б подтверждает импульсивный характер выделения сейсмической энергии ( $\Sigma E$ ) и появления афтершоков, при этом максимумы этих параметров приходятся на повторные толчки, произошедшие 14 сентября и 4 декабря. Второй график, на рис. 3 В, уверенно свидетельствует о постепенном снижении активности роевого процесса в течение десяти лет.

При перемещении на восток от р. Олёкма темп современных тектонических движений снижается (рис. 1), что отражено в проявлениях сейсмичности. Так, в районе Станового хребта (№ 2) регистрировались, в основном, слабые землетрясения с  $K_p=7.2-$



(табл. 2 и рис. 2). Это совпадает с тектоническими движениями вдоль разломов, к которым тяготеет эпицентр этого события [14].

Интенсивность сотрясения в эпицентре Южно-Верхоянского землетрясения  $I_0^P$  могла достигать 6–7 баллов. Его воздействие наблюдали жители пяти населенных пунктов: Хандыга, Тёплый ключ, Сайды, Джебарики-Хая и Охотский Перевоз (табл. 3). В ближайшем пос. Тёплый Ключ (75 км к западу от эпицентра) выявились 3-балльные эффекты: был слышен непродолжительный гул, закачался телевизор, задвигался холодильник, дрожала мебель. Сотрясения с  $I_i=2-3$  балла отмечены в пос. Хандыга (140 км к юго-западу): в домах был слышен легкий шелест, дрожало и тряслось кресло, рябил экран компьютера. Подобные возмущения почувствовали также отдельные жители пос. Джебарики-Хая (143 км к югу), вблизи которого лед по зимнику на р. Алдан треснул и образовалась наледь. Колебания в 2 балла отмечены в пос. Сайды (148 км к югу) и пос. Охотский Перевоз (170 км к югу). Общая площадь сотрясений, значительная часть которых пришлось на участок автодороги Хандыга–Магадан, составила  $16 \cdot 10^3 \text{ км}^2$ .

Таблица 3. Макросейсмические сведения о Южно-Верхоянском землетрясении 18 марта 2015 г. в  $11^{\text{h}}59^{\text{m}}$  с  $K_p=12.7$ ,  $MS=4.1$ ,  $I_0^P=6-7$

№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E
<b>3 балла</b>				
1	Тёплый Ключ	75	62.783	136.801
<b>2–3 балла</b>				
2	Хандыга	140	62.656	135.560

№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E
3	Джебарики-Хая	143	62.208	135.829
<b>2 балла</b>				
4	Сайды	148	62.202	135.469
5	Охотский перевоз	170	61.877	135.528

В этом же **Верхоянском районе № 7**, на склонах хр. Хараулах (Северное Верхоянье), 10 сентября в  $12^{\text{h}}41^{\text{m}}$  произошел подземный толчок с  $K_p=11.3$  и  $h=10$  км. Данное событие интересно тем, что прежде здесь регистрировались лишь редкие слабые землетрясения, хотя 88 лет назад на этом участке был отмечен дуплет равносильных (с  $M=6.8$ ), равноинтенсивных (с  $I_0=8-9$  баллов) и близких по времени (14 ноября 1927 г. в  $00^{\text{h}}12^{\text{m}}07^{\text{s}}$  с  $\varphi=69.9^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=129.9^\circ\text{E}$  и в  $04^{\text{h}}56^{\text{m}}28^{\text{s}}$  с  $\varphi=70.1^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=129.2^\circ\text{E}$ ) Булунских землетрясений [20].

Землетрясение меньшей величины, с  $K_p=11.1$ , было отмечено в **районе Хребта Сетге-Дабан (№ 6)**. Оно возникло на его южном окончании 14 сентября в  $15^{\text{h}}55^{\text{m}}$  с  $h=8$  км. Всего в этом районе в 2015 г. зарегистрированы лишь два землетрясения (табл. 1). Второе, с  $K_p=8.2$ , возникло 19 марта в  $22^{\text{h}}47^{\text{m}}$  с  $h=20$  км.

В зоне коллизии Евразийской и Североамериканской литосферных плит [14], которую маркирует Арктико-Азиатский сеймотектонический пояс на северо-востоке Якутии, наибольшая плотность землетрясений (около 100 событий с  $K_p=7.2-10.7$ ) зафиксирована в **районе Хребта Черского (№ 9)**. Свыше половины из них являются афтершоками 9-балльного Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения 14.02.2013 г. с  $K_p=15.2$ ,  $M_{\text{ГСМТ}}=6.7$  в Момском хребте [21]. Повторный толчок с  $K_p=11.8$  зарегистрирован 21 марта в  $00^{\text{h}}22^{\text{m}}$  с  $h=9$  км и ощущался в ближайшем с. Куберганя (90 км к восток–северо-востоку от эпицентра) с интенсивностью  $I_i=3$  балла [12].

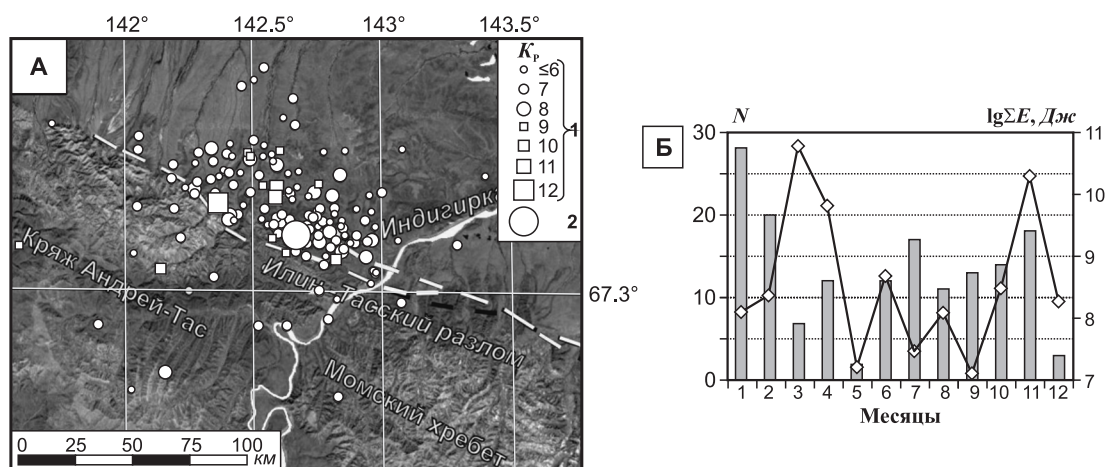


Рис. 4. Карта эпицентров продолжающейся серии афтершоков 9-балльного Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения 14.02.2013 г. с  $K_p=15.2$ ,  $M_w=6.7_{\text{ГСМТ}}$  (А) и графики изменения во времени их суммарной сейсмической энергии ( $\Sigma E$ ) и ежемесячных чисел  $N$  повторных толчков в 2015 г. (Б)

Из рис. 4 А следует, что область афтершоков Илин-Тасского землетрясения [22], хотя и сохранила свои контуры и местоположение относительно первого удара, но существенно снизила свою активность. За прошедшие два года число зарегистрированных повторных толчков сократилось здесь с более чем 4 000 в 2013 г. до 150 – в 2015 году. Это может свидетельствовать о быстрой разрядке тектонических напряжений в обстановке сжатия, подтверждаемой морфокинематической характеристикой Илин-Тасского взброса [22], к которому приурочены афтершоки, а также параметрами их фокальных механизмов.

Выделение сейсмической энергии в пределах годового цикла на данном участке носит переменный характер и имеет два максимума – в марте и ноябре (рис. 4, Б), совпадающих по времени с возникновением сильных толчков 21 марта в 00<sup>h</sup>22<sup>m</sup> с  $K_p=11.8$ ,  $h=9$  км и 28 ноября в 21<sup>h</sup>42<sup>m</sup> с  $K_p=11.3$ ,  $h=3$  км [7].

В районе Яно-Оймяконского нагорья (№ 8), где зарегистрировано несколько групп слабых землетрясений с  $K_p=7-9$ , также выявлен сильный толчок с  $K_p=11.6$ , возникший 7 мая в 22<sup>h</sup>37<sup>m</sup> на глубине  $h=21$  км [7].

В районе Охотский (№ 5) зарегистрировано лишь одно землетрясение (2 марта в 02<sup>h</sup>15<sup>m</sup> с  $K_p=8.3$ ), в Приморской низменности (№ 10) – шесть слабых толчков с  $K_p=7.3-9.4$ , максимальный из которых с  $K_p=9.4$  возник 12 декабря в 07<sup>h</sup>11<sup>m</sup> на значительной глубине ( $h=26$  км).

Побережье и акватория морей Лаптевых и Восточно-Сибирского в арктической части Якутии (Лаптевский район № 11) характеризуются умеренной сейсмичностью в двух полосах (рис. 1). Первая пересекает в субдолготном направлении восточную часть шельфа моря Лаптевых и прослеживается до губы Буор-Хая и Янского залива. Большинство отмеченных моретрясений с  $K_p=9-10$  локализованы здесь в верхней части земной коры ( $h=1-10$  км) и приурочены к впадинам окраинно-континентальной рифтовой системы, развитой на морском дне [14]. Вторая полоса в составе Лено-Таймырской сейсмической зоны протягивается через дельту р. Лена вдоль Оленёкского залива к п-ву Таймыр. Эти толчки большей частью мелкофокусные, а их энергетический класс не превышает  $K_p=8-10$ . Несколько обособленно расположился эпицентр максимального землетрясения с  $K_p=11.4$ , зарегистрированного 26 мая в 04<sup>h</sup>41<sup>m</sup> на востоке п-ова Таймыр с  $\varphi=74.60^\circ\text{N}$ ,  $\lambda=111.97^\circ\text{E}$ ,  $h=15$  км недалеко от о. Большой Бегичев. Его следует отнести к Таймырской группе землетрясений.

Необходимо отметить, что при отсутствии в прошлом региональных и локальных наблюдений здесь могли определяться эпицентры подземных толчков лишь с  $M \geq 5$ , в основном по данным удаленных станций Мира, а сведения о них в мировых каталогах были единичны. Фактически для Таймыра в прошлом веке не было надежных решений фокальных механизмов. Лишь в начале нашего столетия появились первые расчеты их очаговых параметров, найденные методом тензора сейсмического момента (ТСМ) по записям поверхностных волн на широкополосных цифровых каналах с учетом знаков первых вступлений объемных волн на региональных и телесеизмических станциях. К таким относятся события 9 июня 1990 г. [23] и 26 мая 2015 г. (табл. 2 и рис. 3) [17]. При сравнении диаграмм их механизмов очагов оказалось, что их характеристики идентичны. При этом в обоих случаях векторы сжатия  $P$  в очагах близгоризонтальны (под углом  $20^\circ$  к горизонту) и ориентированы в юг–юго-западном ( $AZM=194^\circ$ ) и запад–юго-западном ( $AZM=250^\circ$ ) направлениях. Подвижки в очагах соответствовали взбросам.

Следует также указать на редкое для Сибирской платформы (район № 12) сейсмическое событие с  $K_p=10.7$ , которое произошло в 125 км к западу от г. Якутска 25 октября в 13<sup>h</sup>08<sup>m</sup> на глубине  $h=29$  км [7].

**Заключение.** В целом, структура эпицентральных полей в регионе мало изменилась, т.к. характер распределения сейсмичности на его территории традиционно определяется взаимодействием главных литосферных (Евразийская, Северо-Американская) и коровой (Амурская) плит на северо-востоке Азии. Наибольшая суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  выделилась в 2015 г. в трех районах: Олёкминском, Хребтах Верхоянском и Черского.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках госзадания № 075-00576-21, с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Л и т е р а т у р а

1. Пересыпкин Д.М., Шибает С.В., Козьмин Б.М. (отв. сост.). Сейсмические станции Якутии в 2015 г. (код сети YARS) // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
2. Козьмин Б.М., Шибает С.В. Якутия // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.) – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 224–231. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.19
3. Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Первой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83.
4. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 124–135.
5. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика. (Труды ИФЗ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
6. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР, № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
7. Шибает С.В., Козьмин Б.М., Старкова Н.Н. (отв. сост.); Хастаева Е.В., Москаленко Т.П., Денга Е.Г. Каталог землетрясений и взрывов Якутии с  $K_p \geq 7.2$  за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
8. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2015. (2021) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2015](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2015)
9. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
10. Коваленко Н.С. (отв. сост.); Авдеева Л.И. Каталог землетрясений и взрывов Приамурья и Приморья за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
11. Середкина А.И., Козьмин Б.М., Лукаш Н.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Якутии за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
12. Козьмин Б.М. (отв. сост). Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Якутии в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
13. Козьмин Б.М., Пойгина С.Г. Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Якутии за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
14. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмотектоника Якутии. – М.: ГЕОС, 2000. – 226 с.
15. 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. Чаруодинский рой землетрясений 2005 года и его ощутимые землетрясения Чаруодинское-I 10 ноября в  $19^{\text{h}}29^{\text{m}}$  с  $K_p=15.7$ ,  $M_w=5.8$ ,  $I_0=8$  и Чаруодинское-II 11 декабря в  $15^{\text{h}}54^{\text{m}}$  с  $K_p=14.8$ ,  $M_w=5.7$ ,  $I_0=7$  (Южная Якутия) // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 404–418.
16. Козьмин Б.М., Шибает С.В., Петров А.Ф., Тимиршин К.В. Чаруодинское-III землетрясение 26 января 2009 г. с  $K_p=13.7$ ,  $M_w=5.4$ ,  $I_0^p=8$  (Южная Якутия) // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015 – С. 277–282.
17. Середкина А.И. Тензор сейсмического момента землетрясений Северного Верхоянья и шельфа моря Лаптевых // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 338–341.
18. Филиппова А.И., Гилёва Н.А. Очаговые параметры сильных землетрясений Прибайкалья и Забайкалья в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 217–225. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.21
19. Козьмин Б.М., Михайлова Р.С. Гонамское землетрясение 4 января 2014 г. с  $K_p=14.2$ ,  $M_w=5.4$ ,  $I_0^p=8$  (Якутия, Алданское нагорье) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 271–277. doi:10.35540/1818-6254.2020.23.27
20. Козьмин Б.М. (отв. сост.); Андреев Т.А. VI. Якутия и Северо-Восток России [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. 339–356.

21. Шибаев С.В., Мяки К.Д., Козьмин Б.М., Петров А.Ф., Петрунин С.В., Пересыпкин Д.М., Старкова Н.Н., Тимиршин К.В. Афтершоки Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения 14 февраля 2013 г. с  $M_w=6.7$  (северо-восток Якутии) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 66–75. doi: 10.35540/2686-7907.2020.2.06
22. Шибаев С.В., Козьмин Б.М., Имаева Л.П., Имаев В.С., Петров А.Ф., Старкова Н.Н. Илин-Тасское (Абыйское) землетрясение 14 февраля 2013 г. с  $M_w=6.7$  (северо-восток Якутии) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 92–102. doi: 10.35540/2686-7907.2020.1.09
23. Середкина А.И., Козьмин Б.М. Очаговые параметры Таймырского землетрясения 9 июня 1990 г. // ДАН, 2017. – Т. 473, № 2. – С. 214–217. doi: 10.7868/S0869565217060202

### SEISMICITY of YAKUTIA in 2015

S.V. Shibaev<sup>1</sup>, B.M. Koz'min<sup>1,2</sup>, A.A. Makarov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Yakutia Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences,  
Yakutsk, Russia, shibaev@emsd.ysn.ru*

<sup>2</sup>*Institute of Diamond and Precious Metal Geology, Siberian Division of the Russian Academy of Sciences,  
Yakutsk, Russia, b.m.kozmin@diamond.ysn.ru*

**Abstract.** The results of monitoring the seismicity of the territory of Yakutia, based on observations of 23 digital seismic stations, are presented. A total of 607 earthquakes were recorded. A map of epicentres was compiled and their location was given in seismically active regions. The most active areas are Olekminsk in the south, Verkhoyansk and Chersky Ridge in the northeast and the Arctic part of the region. A significant decrease (19 times) in the amount of released seismic energy continued in comparison to its level in 2014. Instrumental and macroseismic data, focal mechanisms and seismotectonic connections are analyzed. The characteristics of the shaking South-Verkhoyansk earthquake occurring at the junction of the Verkhoyansk and Sette-Daban Ridges are considered.

**Keywords.** Network of stations, catalog of earthquakes, focal mechanisms, South Verkhoyansk, seismic belts of Yakutia.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2021.24.16

**For citation:** Shibaev, S.V., Koz'min, B.M., & Makarov, A.A. (2021). [Seismicity of Yakutia in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 173–181. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.16

### References

1. Peresyppkin, D.M., Shibaev, S.V., & Koz'min, B.M. (2021). [Seismic station of Yakutia in 2015 (YARS network code)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
2. Koz'min, B.M., & Shibaev, S.V. (2020). [Yakutia]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 224–231. doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.19 (In Russ.).
3. Krasilov, S.A., Kolomiets, M.V., & Akimov, A.P. (2006). [Organization of Digital Seismic Data Processing Using a Software Package WSG]. In *Materialy I Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly "Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh"* [Proceedings of the I International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 77–83). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
4. Goleneckij, S.I. (1988). [Earthquakes in Baikal and Transbaikalia]. In *Zemletriaseniia v SSSR v 1985 godu* [Earthquakes in USSR in 1985] (pp. 124–135). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
5. Rautian, T.G. (1964). [On the determination of energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Eksperimental'naya seismika. Tudy IFZ AN SSSR № 32(199)* [Experimental seismic. Proceedings of the IFZ SA USSR, № 32(199)] (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
6. Rautian, T.G. (1960). [Energy of the Earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti. Tudy IFZ AN SSSR № 32(199)* [Methods of Detailed Study of the Seismicity. Proceedings of the IFZ SA USSR, № 9(176)] (pp. 75–114). Moscow, Russia: IFZ AN SSSR Publ. (In Russ.).
7. Shibaev, S.V., Koz'min, B.M., Starkova, N.N., Hastaeva, E.V., Moskalenko, T.P., & Denega, E.G. (2021). [Catalogue of earthquakes and explosions of Yakutia from  $K_p \geq 7.2$  for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).



8. GS RAS. (2021). Bulletin of Teleseismic Stations, 2015. Retrieved from [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2015](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2015)
9. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
10. Kovalenko, N.S., & Avdeeva, L.I. (2021). [Catalogue of earthquakes and explosions of Priamurya and Primorya for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
11. Seredkina, A.I., Koz'min, B.M., & Lukash, N.A. (2021). [Catalogue of Yakutia earthquakes focal mechanism for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
12. Koz'min, B.M. (2021). [Macroseismic effect of notable earthquakes in settlements of Yakutia in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
13. Koz'min, B.M., & Poigina, S.G. (2021). [Information about points, for which there is information about macroseismic manifestations of tangible earthquakes of the Yakutia in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
14. Imaev, V.S., Imaeva, L.P., & Koz'min, B.M. (2000). *Seismotektonika Yakutii* [Seismotectonics of Yakutia]. Moscow, Russia: GEOS Publ., 226 p. (In Russ.).
15. Shibaev, S.V., Petrov, A.F., Koz'min, B.M., Imaeva, L.P., Mel'nikova, V.I., Radziminovich, N.A., Timirshin, K.V., Petrova, V.E., Gileva, N.A., & Peresypkin, D.M. (2011). [The Charuodinsky swarm of earthquakes and its perceptible earthquakes: Charuodinskoe-I on November 10 with  $K_R=15.7$ ,  $M_W=5.8$ ,  $I_0=8$  and Charuodinskoe-II on December 11 with  $K_R=14.8$ ,  $M_W=5.7$ ,  $I_0=7$  earthquakes (South Yakutia)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2005 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2005] (pp. 404–418). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
16. Koz'min, B.M., Shibaev, S.V., Petrov, A.F., & Timirshin, K.V. (2015). [Charuodinskoe-III earthquake on January 26, 2009 with  $K_R=13.7$ ,  $M_W=5.4$ ,  $I_0=8$  (South Yakutia)] In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2009 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2009] (pp. 277–282). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
17. Seredkina, A.I. (2017). [Tensor of the seismic moment of earthquakes in the Northern Verkhshn'ya and Laptev Sea shelf]. In *Materialy XII Mezhdunarodnoy seismologicheskoy shkoly "Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh"* [Proceedings of the XII International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 338–341). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
18. Filippova, A.I., & Gileva, N.A. (2021). [Source parameters of strong earthquakes occurred in the Baikal region and Transbaikalia in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 217–225. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.21
19. Koz'min, B.M., & Mikhajlova, R.S. (2020). [Gonam earthquake on January 4, 2014 with  $K_R=14.2$ ,  $M_W=5.4$ ,  $I_0=8$  (Yakutia, Aldan Highlands)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 271–277. (In Russ.).
20. Koz'min, B.M., & Andreev, T.A. (1977). [Yakutia and North-East of Russia (1735–1974,  $M \geq 4.5$ ,  $I_0 \geq 5$ )]. In *Novyi katalog sil'nykh zemletryasenii na territorii USSR s drevneishykh vremen do 1975 goda* [A new catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975] (pp. 339–356). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
21. Shibaev, S.V., Mackey, K.G., Koz'min, B.M., Petrov, A.F., Petrunin, S.V., Peresypkin, D.M., Starkova, N.N., & Timirshin, K.V. (2020). [Aftershocks of Ilin-Tassk (Abyjskoe) earthquake on February 14, 2013 with  $M_W=6.7$  (northeast Yakutia)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(2), 66–75. (In Russ.). doi: 10.35540/2686-7907.2020.2.06
22. Shibaev, S.V., Koz'min, B.M., Imaeva, L.P., Imaev, V.S., Petrov, A.F., & Starkova, N.N. (2020). [Ilin-Tasskoe (Abyjskoe) earthquake on February 14, 2013 with  $M_W=6.7$  (northeast Yakutia)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(1), 92–102. (In Russ.). doi: 10.35540/2686-7907.2020.1.09
23. Seredkina, A.I., & Koz'min, B.M. (2017). [Focal parameters of the Taimyr earthquake on June 9, 1990]. *Doklady Akademii Nauk* [Doklady Earth Sciences], 473(2), 214–217. doi: 10.7868/S0869565217060202