

**СЕЙСМИЧНОСТЬ ЯКУТИИ в 2016–2017 гг.****С.В. Шибаетов<sup>1</sup>, W. Geissler<sup>2</sup>, Б.М. Козьмин<sup>1,3</sup>, Р.М. Туктаров<sup>1</sup>, А.А. Макаров<sup>1,3</sup>**<sup>1</sup>Якутский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Якутск, shibaev@emsd.ysn.ru<sup>2</sup>Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, Бремерхафен, Германия, wolfram.geissler@awi.de<sup>3</sup>Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, kozmin@diamond.ysn.ru

**Аннотация.** По данным 23 сейсмических станций Якутским филиалом ФИЦ ЕГС РАН был проведен сейсмический мониторинг территории Республики Саха (Якутия) за 2016–2017 гг. В этот период было зарегистрировано более 800 землетрясений с энергетическим классом  $K_p \geq 7.1$  (магнитуда  $M \geq 1.7$ ). Это несколько больше, чем в 2015 г. ( $N_{\Sigma} = 567$ ), и связано с увеличением временного интервала до двух лет. Эпицентры землетрясений располагались в зонах взаимодействия крупных литосферных плит: Евразийской и Северо-Американской в северо-восточных и арктических районах, а также Евразийской и Амурской – в южных районах Якутии. Скопления этих событий составили два протяженных сейсмических пояса – Арктико-Азиатский и Байкало-Становой. На карте эпицентров эти зоны отображены сплошной полосой землетрясений от р. Олёкма до Охотского моря на юге и в виде отдельных групп и кластеров землетрясений между морями Лаптевых и Охотским – на северо-востоке и в Арктике. Наибольшая сейсмическая активность отмечена в Олёкминском районе, Становом хребте и Алданском нагорье (Южная Якутия), а также хребте Черского и моря Лаптевых – на северо-востоке. Приведены сведения о проявлениях локальной сейсмичности в дельте р. Лены, где с августа 2016 г. по декабрь 2017 г. в рамках совместного российско-германского проекта «Сейсмичность и неотектоника Лаптевоморского региона» (СИОЛА) действовало 25 временных полевых автоматических станций. Рассмотрены первые результаты анализа распределения этих арктических землетрясений в пространстве, времени, по глубине и их связи с активной тектоникой в низовьях Лены.

**Ключевые слова:** сеть станций, каталог землетрясений, фокальные механизмы, активные разломы, дельта р. Лены, сейсмические пояса Якутии, литосферные плиты.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.16 EDN: XTGLLR

**Для цитирования:** Шибаетов С.В., Geissler W., Козьмин Б.М., Туктаров Р.М., Макаров А.А. Сейсмичность Якутии в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.) – С. 187–195. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.16. EDN: XTGLLR

**Система сейсмических наблюдений и их обработка.** Задачей настоящего исследования являлось проведение мониторинга землетрясений Якутии с целью выявления особенностей сейсмичности в течение двух лет (2016–2017 гг.). В 2016 г. на территории региона была задействована сеть из 23 цифровых сейсмических станций ЯФ ФИЦ ЕГС РАН, которая не изменилась, как и тип аппаратуры на станциях, в сравнении с 2015 годом. Однако в течение 2017 г. в связи с ремонтом приборов не работала станция «Депутатский» (DEPR), а две другие станции («Иенгра» (IENR) и «Куберганя» (KBR)) были закрыты в июне и августе соответственно из-за сокращения финансирования. Расположение пунктов наблюдений представлено на рис. 1.

Параметры гипоцентров землетрясений определялись по данным якутских станций, а в приграничных районах использовались также сведения из соседних филиалов ФИЦ ЕГС РАН – Байкальского, Сахалинского и Магаданского. Обработка этих материалов производилась на основе типового для ФИЦ ЕГС РАН программного модуля «WSG» [1], где привлекались алгоритмы на базе осредненного регионального годографа С.И. Голенецкого [2]. Оценка энергетического класса землетрясений  $K_p$  выполнялась по номограмме Т.Г. Раутиан [3], с пересчетом в расчетную магнитуду  $M_p$  по формуле  $M_p = (K_p - 4) / 1.8$  [4]. Представительность землетрясений сохранялась на уровне таковой в 2015 г. [5]. Исключение составляло лишь северо-западное окончание района Хребет Черского, где из-за закрытия станций события с  $K_p \leq 8$  начали фиксироваться с пропусками.

**Каталог и карта эпицентров землетрясений.** По материалам сводной обработки инструментальных наблюдений в каталог были включены параметры эпицентров 801 землетрясения с  $K_p = 7.1 - 11.3$  [6]. В дальнейшем эти сведения уточнялись и дополнялись информацией из каталога ФИЦ ЕГС РАН [7], а также международных бюллетеней «ISC» [8]. Все очаги землетрясений

отмечены в пределах земной коры и локализованы на глубинах до 36 км. Распределение числа подземных толчков в каталоге по районам и энергетическим классам показано в табл. 1.

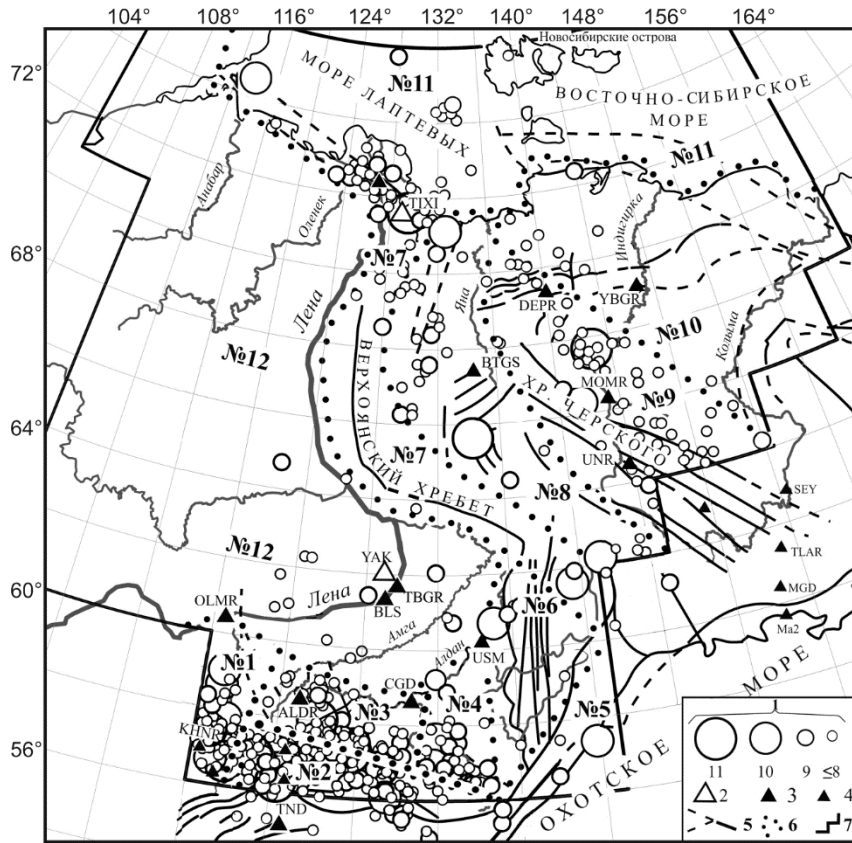


Рис. 1. Карта расположения сейсмических станций и эпицентров землетрясений Якутии с  $K_p=7.1-11.3$  за 2016–2017 гг.

1 – энергетический класс землетрясения  $K_p$ ; 2, 3 – сейсмическая станция, опорная и региональная соответственно; 4 – сейсмическая станция соседних регионов; 5 – разлом по [9], установленный (сплошная линия) и предполагаемый (штриховая); 6, 7 – граница района и региона соответственно.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$  и суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  по районам за 2016–2017 гг.

№	Район	$N_{\Sigma}$					$N_{\Sigma}$	$\Sigma E, Дж$
		7	8	9	10	11		
1	Олёкминский	57	72	23	9	1	162	$2.01 \cdot 10^{11}$
2	Становой хребет	58	73	24	4	2	161	$3.67 \cdot 10^{11}$
3	Алданское нагорье	67	69	20	4	2	162	$4.70 \cdot 10^{11}$
4	Учурский	6	28	12	2	–	48	$4.26 \cdot 10^{10}$
5	Охотский	–	1	1	1	–	3	$7.14 \cdot 10^9$
6	Хребет Сетге-Дабан	2	1	2	–	–	5	$8.39 \cdot 10^8$
7	Верхоянский хребет	1	12	4	3	–	20	$4.03 \cdot 10^9$
8	Яно-Оймяконское нагорье	7	13	4	1	1	26	$1.09 \cdot 10^{11}$
9	Хребет Черского	43	51	11	2	2	109	$2.99 \cdot 10^{11}$
10	Приморская низменность	6	4	1	–	–	11	$9.87 \cdot 10^8$
11	Лаптевский	23	39	8	3	1	74	$2.08 \cdot 10^{11}$
12	Восточная часть Сибирской платформы	3	11	5	1	–	20	$1.03 \cdot 10^{10}$
	Всего	273	374	115	30	9	801	$1.50 \cdot 10^{12}$

Из табл. 1 следует, что наиболее сейсмоактивными были пять районов: Олёкминский (№ 1), Становой хребет (№ 2), Алданское нагорье (№ 3), Хребет Черского (№ 9) и Лаптевский (№ 11). Общая сумма выделившейся за два года сейсмической энергии составила

$\Sigma E=1.50 \cdot 10^{12}$  Дж, что в 6.7 раза меньше, чем в 2015 г. ( $\Sigma E=1.01 \cdot 10^{13}$  Дж) [5]. При этом из общего числа ( $N_{\Sigma}=801$ ) отмеченных в регионе событий с  $K_p \geq 7.1$  более половины (533 толчка) произошли в пределах Олёкмо-Становой сейсмотектонической зоны (ОСЗ) в Южной Якутии. По данным сводного каталога была построена карта эпицентров землетрясений (рис. 1), где приведены также 23 цифровые сейсмические станции, трассы активных разломов [9, 10] и расположение сейсмоактивных районов.

**Характеристика сейсмичности по районам.** Сейсмические события 2016–2017 гг. регистрировались, в основном, в южной, северо-восточной и в арктической частях территории Якутии. Они тяготели, главным образом, к областям взаимодействия крупных литосферных тектонических плит: Евразийской и Североамериканской на северо-востоке, Евразийской и Амурской – на юге региона [9]. Наибольшая активность отмечена в ОСЗ на юге территории, где эпицентры образовали полосу шириной до 200 км и длиной более 800 км. Она вытянута в широтном направлении от р. Олёкмы к Охотскому морю, охватывает горные сооружения Олёкмо-Чарского и Алданского нагорий, Станового хребта и тяготеет, в основном, к зоне влияния крупного регионального Станового шва, разделяющего названные литосферные плиты [9].

Самым подвижным на западном фланге ОСЗ оказался **Олёкминский район (№ 1)**. В его границах выделяются три мобильных участка: Чаруодинский, Нюкжинский и Тас-Юряхский. В первом продолжалась генерация роевых толчков, начало появления которых относится к Чаруодинскому рою 2005 г. [11]. За прошедшие 12 лет (2005–2017 гг.) здесь было зарегистрировано свыше 1500 коровых землетрясений с  $K_p=7.1-15.7$ . За отчетный период вновь повторились один интенсивный толчок 6 марта 2016 г. в  $16^h08^m$  с  $K_p=10.4$ ,  $h=16$  км и более 70 слабых сотрясений. Для остальных двух участков (Нюкжа и Тас-Юрях) характерен небольшой уровень сейсмичности, хотя и в их пределах в 2017 г. произошли три землетрясения с  $K_p=10.0-10.7$  на глубине  $h=5-15$  км (12 апреля в  $13^h06^m$ , 25 апреля в  $14^h59^m$  и 8 августа в  $21^h03^m$ ), а также свыше 150 событий с  $K_p=7.2-9.9$ . Подземные толчки 12 и 25 апреля 2017 г. ощущались на железнодорожной станции БАМа Юктали: первое – с интенсивностью  $I_i=3-4$  балла ( $\Delta=8$  км) и второе – 2 балла ( $\Delta=7$  км) [6]. Сейсмическая деятельность в Олёкминском районе продолжает развиваться под влиянием Байкальского рифта в условиях растяжения земной коры [9, 11].

К другим участкам, где стабильно из года в год регистрируется множество слабых подземных толчков, относится **район Станового хребта (№ 2)**. Здесь господствует разветвленная сеть тектонических нарушений одноименного с хребтом регионального разлома, активного на всем протяжении границы района по параллели  $56^\circ N$ . Число таких событий за наблюдаемый период превышало 180 случаев. Их энергетический класс соответствовал интервалу  $K_p=7.1-10.8$ . Большинство гипоцентров располагалось в верхней части земной коры на глубинах 0–30 км [12]. Самыми интенсивными были землетрясения, возникшие 1 мая 2016 г. в  $14^h49^m$  с  $K_p=10.8$  на глубине 22 км и 16 декабря 2017 г. в  $22^h33^m$  с  $K_p=10.7$  на глубине 24 км на северных склонах упомянутого горного сооружения.

Далее к востоку, в **районе Алданское нагорье (№ 3)**, выявлено снижение сейсмической активности, где, в основном, фиксировались слабые сейсмические удары с  $K_p \leq 9$ . Они заняли все пространство междуречья р. Алдан и его правого притока – р. Тимптон, примыкающего с севера к Становому хребту. Именно в этом месте на глубине 8 км, в Томмотской гряде, 16 января 2016 г. в  $13^h44^m$  возникло землетрясение с  $K_p=11.2$ . Толчок произошел около полуночи по местному времени и ощущался в ближайшем (25 км к западу от эпицентра) пос. Бол. Нимныр, расположенном на федеральной автодороге «Лена», с интенсивностью до 3–4 баллов. Жители слышали глухой гул и почувствовали дрожание домов, как от проходящего рядом трактора. Более глубокое ( $h=26$  км) неощутимое сотрясение возникло через год, 22 января 2017 г. в  $00^h09^m$  с  $K_p=10.9$ , к югу от предыдущего в системе Южно-Алданских впадин. К востоку от него в среднем течении р. Гонам проявилась еще одна небольшая (свыше десяти событий) группа слабых возмущений, тяготеющая к эпицентральной области Гонамского землетрясения 2014 г. с  $M_w=5.4$ ,  $K_p=14.2$  [13]. Наиболее интенсивное событие в этой группе отмечено 22 августа 2017 г. в  $02^h13^m$  с  $K_p=10.5$  на глубине 15 км. Его эпицентр тяготел к Тыркандинской серии локальных дизъюнктивов северо-западного простирания с левобокowym типом подвижки [9, 12].

Не изменился уровень сейсмичности относительно таковой в 2015 г. в **Учурском районе (№ 4)**. Здесь в хр. Лурикан, который пересекает р. Учур (правый приток р. Алдан), случилось более 40 землетрясений с  $K_p=7-10$ . Значимое событие на данном участке отмечено 1 июля 2016 г. в  $06^h57^m$  с  $K_p=10.2$  на глубине 13 км.

Три редких события были локализованы в хр. Джугджур, вытянутом вдоль Охотского побережья в Хабаровском крае (**Охотский район № 5**). Их энергетические классы находились в диапазоне  $K_p=8-9$ . Наиболее интенсивный среди этих событий толчок возник 19 февраля 2016 г. в  $14^h15^m$  с  $K_p=9.8$  и  $h=11$  км.

Одинокое землетрясение с  $K_p=7-9$  наблюдались также в районе хр. Сетге–Дабан (**№ 6**) с суммарным числом событий  $N_{\Sigma}=5$ .

Значительная территория района **Верхоянского хребта (№ 7)** оказалась асейсмичной, но активизировались его фланги: на севере – отроги Хараулаха, на юго-востоке – Сунтар-Хаятинское предгорье. В последнем возникло два события: 2 сентября 2016 г. в  $22^h51^m$  с  $K_p=9.6$  на глубине 24 км и 1 февраля 2017 г. в  $09^h36^m$  с  $K_p=9.7$  и  $h=28$  км. Чуть юго-западнее от них в 2016 г. локализованы еще два землетрясения – 17 апреля в  $10^h22^m$  с  $K_p=9.4$ ,  $h=17$  км и мелкофокусное ( $h=8$  км) землетрясение 28 декабря в  $08^h18^m$  с  $K_p=10.0$ .

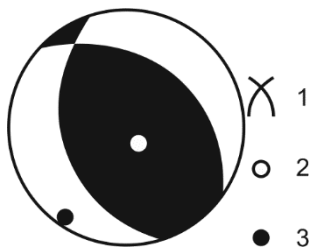
Значимый ( $K_p=11.0$ ) подземный толчок возник в средней части **Яно-Оймяконского нагорья (№ 8)** 14 июня 2016 г. в  $13^h48^m$ . Его очаг располагался в истоках р. Сартанг (левый приток р. Яна) на глубине  $h=10$  км. В целом, в этом районе выявлено небольшое число (~20) событий с  $K_p=8-9$ , эпицентры которых цепочкой растянулись к северу вдоль восточного склона хр. Кулар.

На севере и северо-востоке Якутии, в зоне контакта Североамериканской и Евразийской плит, сейсмически активным оставался район **Хребта Черского (№ 9)**. Это – наиболее тектонически подвижная структура, разбитая сетью северо-западных сейсмогенных разломов Индигиро-Колымской складчатой области [14], где за эти два года зафиксировано свыше 120 подземных ударов. Заметная группа слабых сотрясений с  $K_p=8-10$  трассировалась вдоль разлома Улахан северо-западного простирания, на его юго-восточном окончании между сейсмическими станциями «Мома» и «Усть-Нера». Однако максимум сейсмичности в районе пришелся на эпицентрально-ное поле 9-балльного Илин-Тасского (Абыйского) землетрясения, произошедшего еще в 2013 г. с  $K_p=15.2$  ( $M_w=6.7$ ) [15]. Этот максимум объединяет более десятка слабых землетрясений с  $K_p=7-9$ , продолжающих афтершоковую деятельность основного толчка 2013 года. В конце 2017 г. в этом кластере выявлено два крупных события: 15 сентября в  $23^h13^m$  с  $K_p=11.3$  и  $h=6$  км и 30 октября в  $04^h09^m$  с  $K_p=10.6$  и  $h=13$  км. Их появление связано с подвижками в структуре крупного регионального Илин-Тасского взбросо-сдвига, господствующего в области сочленения кайнозойской Индигиро-Зырянской впадины с верхнеюрским поднятием Момского хребта [16].

Для землетрясения 15 сентября 2017 г. имеется решение фокального механизма, полученное агентством «GCMТ» [8, 17] и приведенное в табл. 2.

**Таблица 2.** Параметры механизма очага землетрясения 15 сентября 2017 г. в  $23^h13^m$  с  $K_p=11.3$  и  $M_w=4.8$  в районе Хребта Черского

Агентство	$h$ , км	$K_p$	$M_w$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Ист.
				T		N		P		NP1			NP2			
				PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
GCMТ	12	11.3	4.8	85	125	5	310	0	220	135	46	97	306	45	83	[8]



**Рис. 2.** Диаграмма механизма очага землетрясения 15 сентября 2017 г. с  $K_p=11.9$  и  $M_w=4.8$  (в проекции на нижнюю полусферу)

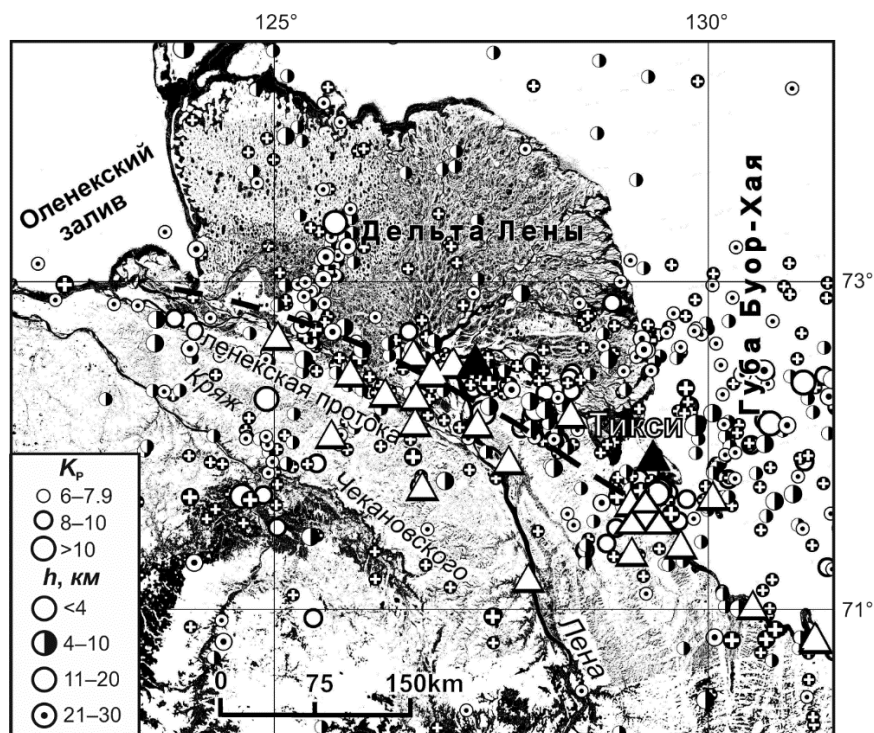
1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; зачернена область волн сжатия.

Согласно диаграмме на рис. 2, в очаге исследуемого события преобладают взбросо-надвиговые подвижки по двум возможным плоскостям разрыва северо-западного/юго-восточного простирания, падающим под небольшими углами:  $NP1$  на северо-восток, а  $NP2$  – на юго-запад. Оси главных тектонических напряжений растяжения близвертикальны, а напряжения сжатия – горизонтальны. Сопоставление параметров этого механизма с морфо-кинематической характеристикой Илин-Тасского разлома (геолого-структурные данные), к которому тяготеет фокус землетрясения, указывает на их хорошую корреляцию. При этом рабочей плоскостью из двух найденных следует считать нодальную плоскость  $NP2$ . Она имеет идентичное простира-

ние ( $STK_2=306^\circ$ ), что и разлом ( $AZM=300^\circ$ ) и наклонена к юго-западу под углом в  $45^\circ$ , как и рабочая плоскость Илин-Тасского взброса с падением также на юго-запад под углом в  $60^\circ$  [15, 16].

В районах **Приморской низменности (№ 10)** и **востока Сибирской платформы (№ 12)** отмечены лишь одиночные слабые землетрясения в диапазоне  $\Delta K_p=7.2-8.8$  в районе № 10 ( $N_\Sigma=11$ ) и  $\Delta K_p=7.3-9.4$  в районе № 12 ( $N_\Sigma=20$ ). Из всех событий лишь один толчок 7 октября 2017 г. в  $11^h24^m$  с  $h=10$  км, локализованный на Сибирской платформе, имел  $K_p=9.6$  [6].

**Полевые исследования Арктических землетрясений в низовьях реки Лены.** Лучше других был изучен **Лаптевский район (№ 11)**. В августе 2016 г. здесь были начаты полевые наблюдения по изучению сейсмической активности в арктических районах Якутии, которые выполнялись в рамках совместного международного проекта «Сейсмичность и неотектоника региона моря Лаптевых» («Seismicity and neotectonics of Laptev Sea region, SIOLA») между ЯФ ФИЦ ЕГС РАН (Якутск), Институтом океанологии РАН им. П.П. Ширшова (Москва) и Институтом полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (Германия), заключенного на 2016–2018 гг. В рамках проекта была организована международная экспедиция российских и германских исследователей, которая установила 25 временных автономных цифровых сейсмостанций в районе Оленёкской и Быковской протоки дельты р. Лена, а также на западном побережье губы Буор-Хая к югу от пос. Тикси (рис. 3). Период работы этой сети на первом этапе занимал почти год (август 2016 г. – июль 2017 г.). Указанные станции были оборудованы сейсмометрами L-4C 1.0 Hz фирмы Sercel (Франция) и регистраторами Data-Cube с питанием от мощных литиевых аккумуляторов, что позволяло данному комплекту автономно работать до одного года. На втором этапе эти работы были продолжены до конца 2017 года. Число полевых станций и аппаратура относительно 2016 г. были сохранены с небольшими изменениями в их локациях. При этом наблюдения на западе Оленёкской протоки были закрыты и перенесены южнее от Тикси вдоль западного берега губы Буор-Хая. Впервые удалось открыть полевую станцию на о. Муостах в губе Буор-Хая (50 км к востоку от пос. Тикси).



**Рис. 3.** Карта эпицентров Арктических землетрясений в низовьях р. Лена по наблюдениям сети полевых цифровых сейсмостанций в 2016–2017 гг. с  $K_p \geq 7$  в интервале глубин очагов 1–36 км

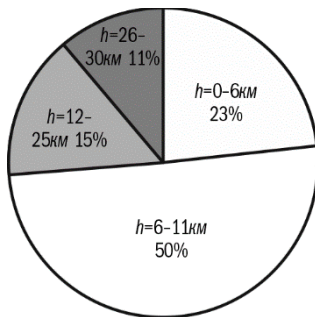
Светлые треугольники – временные пункты наблюдений, два темных треугольника – стационарные станции («Тикси» и «Столб»), южнее Тикси – полигон из нескольких станций (светлых треугольников). Штриховой линией показана трасса Дюлонгского взбросо-сдвига [9, 10].

За 18-месячный период работы в 2016–2017 гг. системой полевых наблюдений в данном районе зарегистрировано более 380 близких землетрясений, которые были представительны,

начиная с  $K_p \geq 7$ . Для сравнения, действующая сеть стационарных станций в 2015 г. могла без пропусков фиксировать здесь только события с  $K_p \geq 9-10$  [5].

В итоге, проявления сейсмичности сформировали две полосы эпицентров. Северо-западная пересекает дельту р. Лена вдоль ее Быковской и Оленёкской проток, которые тяготеют к Дюлюнгскому взбросо-сдвигу [9]. Разлом выявлен во время полевых геологических изысканий и протягивается на 500 км к западу ( $AZM=330^\circ$ ) от р. Лена вдоль северных отрогов кряжа Чекановского к Оленёкскому заливу моря Лаптевых. В зоне влияния разлома происходит скачкообразное увеличение мощностей пермских и каменноугольных отложений, а в местах его сужения породы раздроблены, перемяты и кливажированы. В геофизических полях это тектоническое нарушение отражено магнитным и гравитационным градиентами. Возможный тип подвижки – надвиг.

Вторая группа эпицентров – субдолготная и занимает акваторию губы Буор-Хая моря Лаптевых с выходом ее на континент в пределы Хараулахского хребта (Северное Верхоянье). Эта группа обязана своим появлением Приморскому сбросу вдоль западного берега бухты и системе сбросов на дне Буор-Хаинской впадины [9]. Один из местных интенсивных толчков произошел в губе Буор-Хая 30 ноября 2017 г. в  $21^{\text{h}}24^{\text{m}}$  с  $K_p=9.7$  в пределах земной коры ( $h=21$  км). С использованием программы WSG были получены 347 определений глубины залегания очагов Арктических землетрясений и составлена круговая диаграмма их распределения (рис. 4).



**Рис. 4.** Распределение гипоцентров Нижнеленских землетрясений по глубине  $h$  их залегания: 0–6 км – 23 %, 6–11 км – 50 %, 12–25 км – 16 %, 26–36 км – 11 %

Предварительный анализ распределения землетрясений по глубине показывает, что они заполнили в данном районе всю толщу земной коры (0–36 км) [18]. Так, в верхней части коры ( $h=0-5$  км) отмечено 79 толчков, в средней части ( $h=6-11$  км) – 175 и в нижней (12–36 км) – 93 события. Таким образом, чаще всего подвижки по разломам реализовывались в виде подземных ударов в верхней части земной коры (73 % всех определений). Неожиданно активной оказалась также и нижняя часть коры на границе кора–мантия (27 %), хотя раньше при редкой сети наблюдений подобные глубины почти не встречались. Выявилась также интересная «избирательность» возникновения сравнительно глубоких (12–36 км) землетрясений, которые чаще происходили на правом берегу Оленёкской протоки, нежели на левом.

Самое сильное ( $K_p=11.2$ ) и глубокое ( $h=36$  км) событие за двухлетний период наблюдений было зарегистрировано здесь 19 августа 2016 г. в  $09^{\text{h}}59^{\text{m}}$  (координаты  $71.54^\circ\text{N}$  и  $129.25^\circ\text{E}$ ). Его эпицентр пришелся на южную оконечность бухты Тикси, в 18 км к юго-востоку от одноименного поселка, но в нем толчок не ощущался. По времени это землетрясение произошло раньше, чем была установлена рассматриваемая сеть временных станций. Несколько слабых мелкофокусных моретрясений с  $K_p=7.5-8.9$  были также отмечены на шельфе моря Лаптевых, которые образовали скопление из шести эпицентров между о. Столбовой и Новосибирскими островами. Наиболее значимое из них событие зафиксировано 10 декабря 2016 г. в  $01^{\text{h}}45^{\text{m}}$  с  $K_p=8.9$ ,  $h=1$  км. Еще один редкий подземный толчок этого района имел место в Хатангском заливе, около о. Большой Бегичев вблизи п-ва Таймыр. Он проявился 23 февраля 2017 г. в  $07^{\text{h}}47^{\text{m}}$  с  $K_p=10.3$ , на глубине  $h=34$  км.

**Закключение.** В целом, пространственное распределение эпицентров землетрясений в 2016–2017 гг. сохранило свою конфигурацию и повторяет сейсмическую обстановку прошлых лет [5]. Несомненно также, что проведение инструментальных наблюдений международной экспедицией на основе сгущенной сети цифровых сейсмических станций показало свою эффективность и позволило существенно расширить наши познания о развитии сеймотектонических процессов в Арктическом регионе.

#### Л и т е р а т у р а

1. 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 I Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83.

2. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 124–135.
3. 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.
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. Шибаев 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
6. Шибаев С.В., Козьмин Б.М., Старкова Н.Н. (отв. сост.); Хастаева Е.В., Москаленко Т.П., Денга Е.Г. Каталог землетрясений Якутии с  $K_R \geq 7.1$  за 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
7. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2016. (2022) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: [http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic\\_bulletin/2016](http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2016)
8. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
9. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмоструктура Якутии. – М.: ГЕОС, 2000. – 226 с.
10. Разломная тектоника территории Якутской АССР / Отв. ред. К.Б. Мокшанцев. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1976. – 174 с.
11. Шибаев 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  $K_R=15.7$ ,  $M_w=5.8$ ,  $I_0=8$  и Чаруодинское-II 11 декабря в  $15^{\text{h}}54^{\text{m}}$  с  $K_R=14.8$ ,  $M_w=5.7$ ,  $I_0=7$  (Южная Якутия) // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 404–418.
12. Геодинамика Олёкмо–Становой сейсмической зоны / Ред.: Л.М. Парфенов, Б.М. Козьмин, В.С. Имаев и др. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985. – 136 с.
13. Козьмин Б.М., Михайлова Р.С. Гонамское землетрясение 4 января 2014 г. с  $K_R=14.2$ ,  $M_w=5.4$ ,  $I_0=8$  (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
14. Fujita K., Kozmin B.M., Mackey K.G., Riegel S.A., Imaev V.S., Mclean M.S. Seismotectonics of the Chersky seismic belt, eastern Russia (Yakutia) and Magadan district, Russia // Stephan Mueller Special Publication Series. – 2009. – V. 4. – P. 117–145. doi: 10.5194/smssps-4-117-2009
15. 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
16. Imaeva L.P., Imaev V.S., Koz'min B.M. Structural-dynamic model of the Chersky seismotectonic zone (continental part of the Arctic–Asian seismic belt) // Journal of Asian Earth Sciences. – 2016. – V. 116. – P. 59–68.
17. Лукаш Н.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Якутии за 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
18. Mackey K.G., Fujita K., Ruff L.J. Crustal thickness of northeast Russia // Tectonophysics. – 1998. – V. 284. – P. 283–297.

### SEISMICITY of YAKUTIA in 2016–2017

S.V. Shibaev<sup>1</sup>, W. Geissler<sup>2</sup>, B.M. Koz'min<sup>1,3</sup>, R.M. Tuktarov<sup>1</sup>, A.A. Makarov<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup>The Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research,  
Bremerhaven, Germany, wolfram.geissler@awi.de

<sup>3</sup>Institute of Diamond and Precious Metal Geology, Siberian Division of the Russian Academy of Sciences,  
Yakutsk, Russia, kozmin@diamond.ysn.ru

**Abstract.** According to the data of 23 seismic stations of the Yakutia branch of GS RAS, the seismicity monitoring of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia) was carried out for 2016–2017. During this period, more than 800 earthquakes with an energy class of  $K_R \geq 7.1$  (magnitude  $M \geq 1.7$ ) were registered. This is somewhat more than in 2015 ( $N=567$ ) and is due to the extension of the time interval of work up to 2 years. The epicenters were located in the zones of interaction between large lithospheric plates: the Eurasian and North American in the

Northeastern and Arctic regions, as well as the Eurasian and Amur in the southern regions of Yakutia. The clusters of these events comprised two extended (Arctic-Asian and Baikal-Stanovoy) seismic belts. On the map of epicenters, these zones are displayed as a continuous strip of earthquakes from the Olekma River to the Sea of Okhotsk in the south and in the form of separate groups and clusters of earthquakes between the Laptev and Okhotsk Seas – in the northeast and in the Arctic. The highest seismic activity was noted in the Olekma area, the Stanovoy Ridge and the Aldan Highlands (Southern Yakutia) and the Chersky Ridge and Laptev Sea (in the North-East). Information on the manifestations of local seismicity in the Lena River Delta, where from August 2016 to December 2017 is given. 25 temporary field automatic stations under the joint Russian-German project "Seismicity and neotectonics of the Laptev Sea region" (SIOLA) in 2016–2018 operated. The first results of the distribution of Arctic earthquakes in the lower reaches of the Lena River in space, time, by depth and their connection with active tectonics are considered.

**Keywords:** Network of stations, catalog of earthquakes, focal mechanism, active faults, Lena Delta, seismic belts of Yakutia, lithospheric plates.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2022.25.16 **EDN:** XTGLLR

**For citation:** Shibaev, S.V., Geissler, W., Koz'min, B.M., Tuktarov, R.M., & Makarov, A.A. (2022). [Seismicity of Yakutia in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 187–195. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.16. EDN: XTGLLR

## References

1. 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.).
2. Goleneckij, S.I. (1988). [Earthquakes of Baikal and Transbaikalia]. In *Zemletriaseniia v SSSR v 1985 godu* [Earthquakes in the USSR in 1985] (pp. 124–135). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
3. Rautian, T.G. (1964). [On the determination of the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspperimental'naya seismika. Trudy IFZ AN SSSR № 32(199)* [Experimental seismic] (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
4. Rautian, T.G. (1960). [Energy of the Earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti (Trudy IFZ AN SSSR, № 9(176))* [Methods of Detail Study of Seismicity] (pp. 75–114). Moscow, Russia: Inst. Fiz. Zemli Akad. Nauk SSSR Publ. (In Russ.).
5. 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
6. Shibaev, S.V., Koz'min, B.M., Starkova, N.N., Hastava, E.V., Moskalenko, T.P., & Denega, E.G. (2022). [Catalogue of earthquakes of Yakutia from  $K_R \geq 7.1$  for 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
7. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2016. (2022). Retrieved from [http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic\\_bulletin/2016](http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2016)
8. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
9. Imaev, V.S., Imaeva, L.P., & Koz'min, B.M. (2000). *Seismotectonica Yakutii* [Seismotectonics of Yakutia]. Moscow, Russia: GEOS Publ., 226 p. (In Russ.).
10. Mokshancev, K.B. (1976). *Razlomnaya tektonika territorii Yakutskoj ASSR* [Fault tectonics of the territory of the Yakut ASSR]. Yakutsk, Russia: YAF SB OF the USSR Academy of Sciences Publ., 174 p.
11. 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., & Peresyppkin, D.M. (2011). [The Charuoda swarm of earthquakes and its perceptible earthquakes: Charuoda-I of November 10 with  $K_R=15.7$ ,  $M_w=5.8$ ,  $I_0=8$  and Charuoda-II of December 11 with  $K_R=14.8$ ,  $M_w=5.7$ ,  $I_0=7$  earthquakes (South Yakutia)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2005 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2005] (pp. 404–418). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
12. Parfenov, L.M., Koz'min, B.M., Imaev, V.S., et al. (1985). *Geodinamika Olyokmo-Stanovoj sejsmicheskoy zony* [Geodynamics of the Olekmo-Stanovoy seismic zone]. Yakutsk, Russia: YAF SB AS USSR Publ., 136 p. (In Russ.).



13. Koz'min, B.M., & Mikhailova, 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.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.27
14. Fujita, K., Koz'min, B.M., Mackey, K.G., Riegel, S.A., Imaev, V.S., & Mclean, M.S. (2009). Seismotectonics of the Chersky seismic belt, eastern Russia (Yakutia) and Magadan district, Russia. *Stephan Mueller Special Publication Series*, 4, 117–145. doi: 10.5194/smeps-4-117-2009
15. Shibaev, S.V., Koz'min, B.M., Imaeva, L.P., Imaev, V.S., Petrov, A.F., & Starkova, N.N. (2020). [The February 14, 2013 Ilin-Tas (Abyi) earthquake 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
16. Imaeva, L.P., Imaev, V.S., & Koz'min, B.M. (2016). Structural-dynamic model of the Chersky seismotectonic zone (continental part of the Arctic-Asian seismic belt). *Journal of Asian Earth Sciences*, 116, 59–68.
17. Lukash, N.A. (2022). [Catalog of focal mechanisms of the Yakutia earthquakes for 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
18. Mackey, K.G., Fujita, K., & Ruff, L.J. (1998). Crustal thickness of Northeast Russia. *Tectonophysics*, 284, 283–297.