

КАВКАЗ:

УДК 550.348. (479.25)

СЕЙСМИЧНОСТЬ АЗЕРБАЙДЖАНА и ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ в 2018–2019 гг.

Г.Д. Етирмишли, Р.Р. Абдуллаева, С.С. Исмаилова, С.Э. Казымова

*Республиканский Центр сейсмологической службы НАН Азербайджана
г. Баку, science@azeurotel.com*

Аннотация. В 2018–2019 гг. сеть сейсмических станций Азербайджана продолжала работать без изменений и состояла из 35 цифровых станций. Для оценки величины землетрясения в указанные годы определялась только локальная магнитуда $M_{L\text{ Азр}}$. Суммарное число землетрясений, зарегистрированных сетью станций Азербайджана, составило 5387 в 2018 г. и 6880 в 2019 г., однако в каталоге землетрясений Азербайджана и прилегающих территорий, публикуемом в приложении к данной статье, приводятся данные о землетрясениях лишь с магнитудой $M_{L\text{ Азр}} \geq 3.0$, количество которых составило 101 в 2018 г. и 115 в 2019 году. Число землетрясений N представительного уровня ($K_p \geq 9$) на изучаемой территории незначительно увеличилось в 2018 и 2019 гг. по сравнению с долговременным среднегодовым значением $N_{\text{ср}}$ за 1993–2017 гг., тогда как выделенная сейсмическая энергия уменьшилась относительно фонового уровня в 6 и 7 раз соответственно. Самым значительным сейсмическим событием на территории республики в 2018 г. было землетрясение 5 июня с $M_{L\text{ Азр}} = 5.5$, а в 2019 г. – 5 февраля с $M_{L\text{ Азр}} = 5$. Оба события ощущались в ближайших населенных пунктах с интенсивностью 6 баллов.

Ключевые слова: эпицентр, фоновая сейсмичность, график повторяемости, механизм очага.

Для цитирования: Етирмишли Г.Д., Абдуллаева Р.Р., Исмаилова С.С., Казымова С.Э. Сейсмичность Азербайджана и прилегающих территорий в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 56–66. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.04> EDN: ZBPILM

Введение. В статье рассматривается сейсмичность в 2018–2019 гг. территории Азербайджана и прилегающих участков соседних стран в границах: $\varphi = 38.0 \div 42.0^\circ$; $\lambda = 44.5 \div 52.0^\circ$. Повышенная сейсмотектоническая активность указанной территории связана с такими крупными тектоническими структурами как юго-восточное погружение Большого Кавказа, Куринская депрессия, северо-восточный склон Малого Кавказа, акватория Каспийского моря. Мониторинг сейсмичности на указанной территории осуществлялся, как и ранее, Республиканским Центром Сейсмологической Службы (РЦСС) Азербайджана.

Сеть сейсмических станций. В 2018–2019 гг. в системе сейсмологических наблюдений на территории Азербайджана изменений относительно [1, 2] не произошло. Сеть сейсмических станций по-прежнему включала 35 станций РЦСС, аппаратное оснащение которых описано в [3]. Дислокация всех станций и карта энергетической представительности землетрясений в изолиниях K_{min} по наблюдениям данной сети, построенная по данным 2016–2017 гг., не изменилась и приведена в [2]. Согласно этой карте, республиканская сеть сейсмических станций обеспечила уверенную регистрацию землетрясений на уровне $K_{\text{min}} = 6.0$ в Шамахи-Исмаиллинской зоне, с $K_{\text{min}} = 6.5$ в Талыше. Землетрясения с $K_{\text{min}} = 7$ представительны на большей части территории республики, включая Нахичеванскую АР и шельфовую зону Каспийского моря. На остальной части акватории Каспия и прилегающих территориях соседних стран без пропусков регистрировались толчки с $K_p \geq 8$. Здесь и далее K_p – расчетный энергетический класс по шкале Т.Г. Раутиан [4].

Методика обработки. Методы определения основных параметров землетрясений не изменились. Для локации землетрясений использовалась dbloc2 из математического обеспечения Antelope Real-Time System, v. 5.6 с использованием осредненной скоростной модели глубинного геологического строения Азербайджана [5]. Значения энергетических классов K_p , приведенные в каталоге [6], пересчитаны из локальных магнитуд по формуле:

$$K_p = 4.77 + 1.39 M_{L\text{ Азр}} \text{ при } M_{L\text{ Азр}} = 0 \div 6.0. \quad (1)$$

Каталоги землетрясений. В соответствии с оригиналами каталогов землетрясений за 2018 и 2019 гг. [7, 8], в пределах Азербайджана и сопредельных районов в 2018 г. определены параметры 5387 землетрясений с $M_{L\text{ Азр}}=0.0\text{--}5.5$, $K_p=4.5\text{--}12.5$, а в 2019 г. – 6880 землетрясений с $M_{L\text{ Азр}}=0.0\text{--}5.2$, $K_p=4.5\text{--}12$. Однако в [6] публикуется усеченный по энергии вариант каталога (с $M_{L\text{ Азр}}\geq 3.0$ и $K_p\geq 9.0$) из 101 землетрясения в 2018 г. и 115 землетрясений в 2019 году.

Все каталоги использованы в статье, но для разных целей. Оригинальные каталоги [7, 8] послужили основой для построения сводной карты эпицентров всех зарегистрированных в 2018–2019 гг. землетрясений с $K_p\geq 4$ (рис. 1), а также графиков распределения количества землетрясений по месяцам, расчетным классам K_p и др. Усеченный каталог [6] использован для построения карты эпицентров более сильных ($K_p\geq 9.0$) землетрясений и описания на ее основе сейсмического процесса на территории Азербайджана и отдельных сильных землетрясений в 2018–2019 гг. Каталог [6] включает параметры 101 землетрясения за 2018 г. в диапазоне $M_{L\text{ Азр}}=3.0\text{--}5.5$ и 115 – за 2019 г. в диапазоне $M_{L\text{ Азр}}=3.0\text{--}5.2$. В ред. каталог [6] традиционно дополнен магнитудами по поверхностным (M_S , M_s), объемным волнам (M_{PSP} , m_b) и моментными (M_w) из международных бюллетеней.

Каталог механизмов очагов землетрясений [9] содержит параметры пяти землетрясений за 2018 г. и семи – за 2019 год.

Число ощутимых землетрясений в 2018 г. составило $N_{\text{ощ}}=16$ (одно из них произошло на территории Грузии), они проявились в 30 населенных пунктах. В 2019 г. 22 землетрясения ощущались в 25 пунктах. Сведения о них собраны в таблице электронного приложения [10].

Статистический анализ сейсмичности. Пространственное распределение сейсмичности в зоне ответственности показано на рис. 1. Данные об этих землетрясениях легли в основу помесячного распределения числа и энергии землетрясений в течение 2018–2019 гг. (рис. 2 а, б).

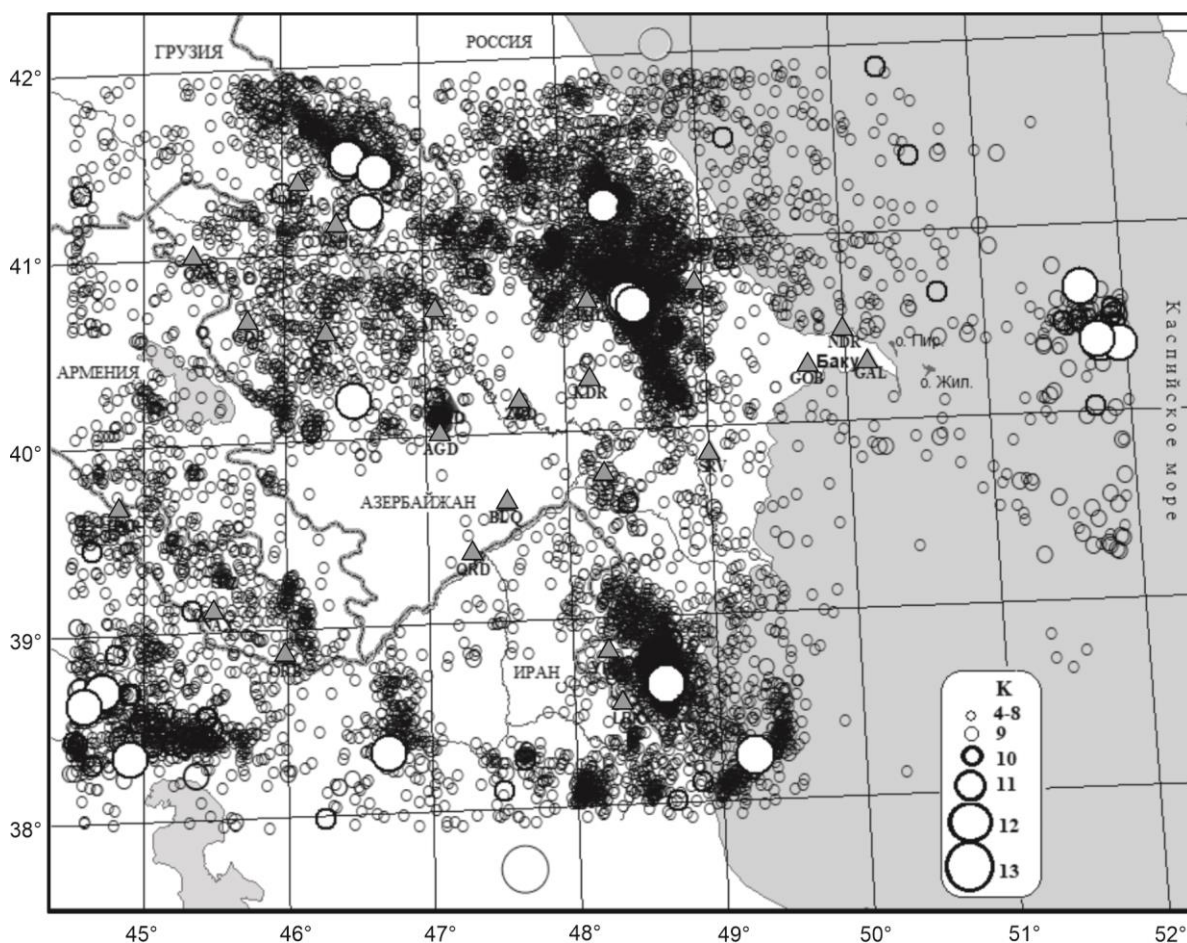


Рис. 1. Карта эпицентров всех зарегистрированных в 2018 и 2019 гг. землетрясений Азербайджана и прилегающих территорий

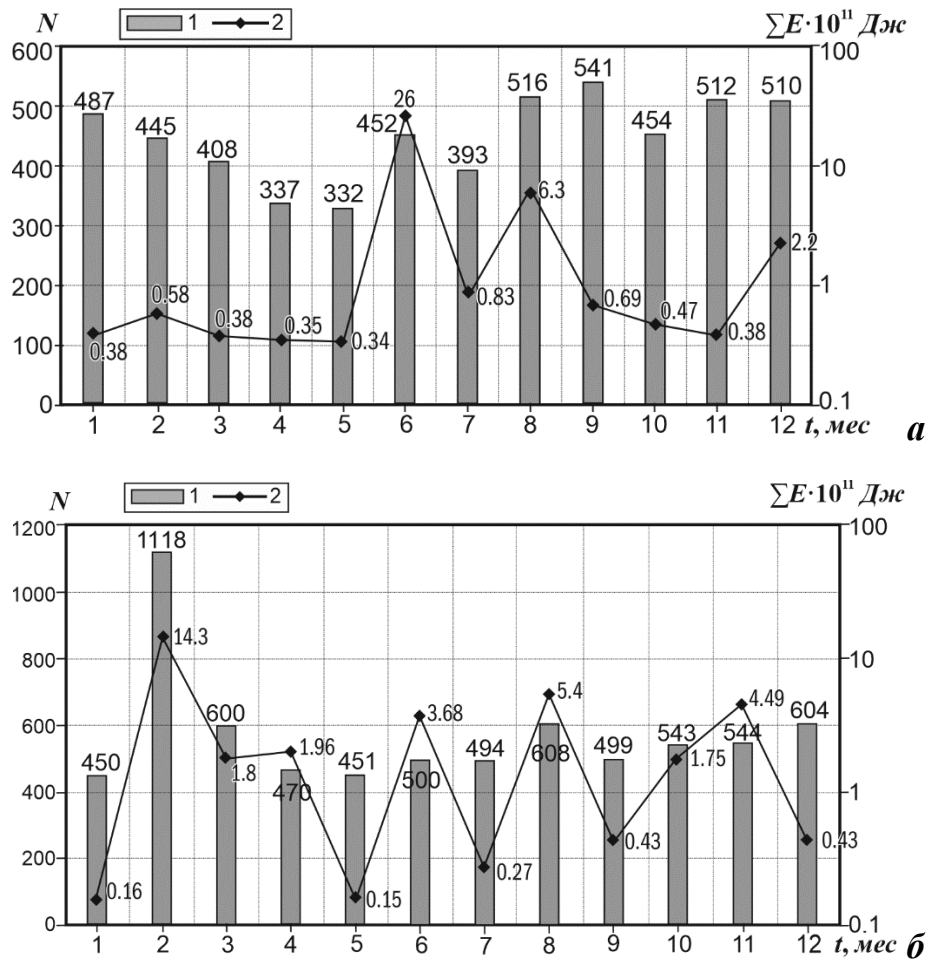


Рис. 2. Помесячные вариации числа землетрясений (1) и их суммарной энергии (2) в 2018 г. (а) и 2019 г. (б)

Как видно из рис. 2 а, всплески выделенной сейсмической энергии в 2018 г. зарегистрированы в июне и в августе, когда произошли землетрясения с $M_{L \text{ Азр}} \geq 5$. Величина максимальной в 2018 г. месячной сейсмической энергии, равная $\Sigma E = 26.0 \cdot 10^{11}$ Дж, связана с сильным землетрясением с $K_p = 12.4$, $M_{L \text{ Азр}} = 5.5$ ($M_{s \text{ ISC}} = 5.1$ [11]), произошедшим 5 июня в 18^h40^m в Загатальской зоне. В 2019 г. максимальный всплеск выделенной сейсмической энергии, равной $\Sigma E = 14.6 \cdot 10^{11}$ Дж, зарегистрирован в феврале (рис. 2 б), когда в Исмаиллинской зоне, на территории Шамахи, произошло сильное землетрясение 5 февраля в 19^h31^m с $K_p = 12.0$, $M_{L \text{ Азр}} = 5.2$ ($M_{s \text{ ISC}} = 4.8$ [11]).

В табл. 1 представлено распределение землетрясений по отдельным энергетическим классам в 2018–2019 гг.

Таблица 1. Распределение числа N землетрясений в зоне ответственности из оригинальных каталогов [7, 8] по энергетическим классам K_p в 2018 и 2019 гг.

K_p	5	6	7	8	9	10	11	12	N_{Σ}
N_{2018}	826	2113	1712	550	157	24	3	2	5387
N_{2019}	1093	2924	2057	600	154	38	12	2	6880

По данным этой таблицы построены графики повторяемости за 2018 и 2019 гг. (рис. 3 а, б) и получены уравнения для их линейной части:

$$2018 \text{ г.: } \lg N = 7.79 - 0.64 K_p, R^2 = 0.984, \quad (2)$$

$$2019 \text{ г.: } \lg N = 7.51 - 0.59 K_p, R^2 = 0.996, \quad (3)$$

где R^2 – коэффициент детерминации.

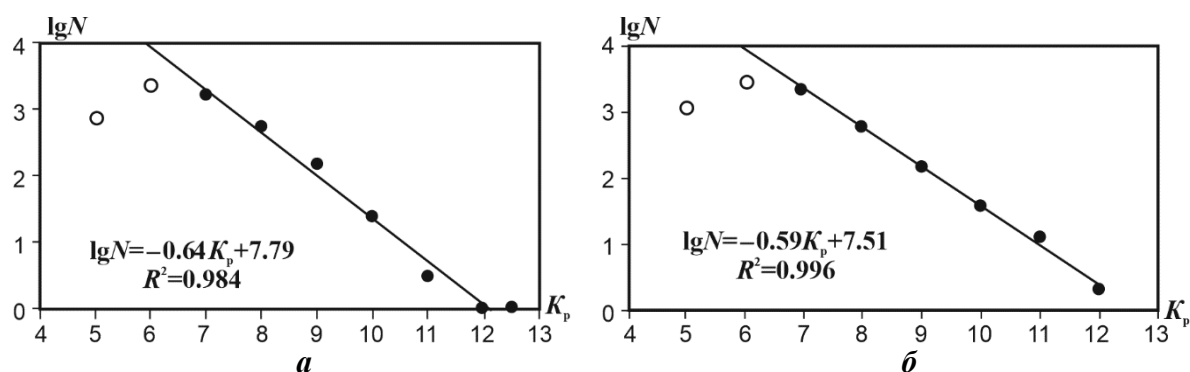


Рис. 3. Графики повторяемости расчетных энергетических классов K_p землетрясений на территории Азербайджана и сопредельных государств в 2018 г. (а) и 2019 г. (б)

Согласно графикам (рис. 3 а, б), представительным для каталогов землетрясений 2018 и 2019 гг. в зоне ответственности был энергетический класс $K_p=7$. Наклоны графиков, $\gamma=-0.64$ в 2018 г. и $\gamma=-0.59$ в 2019 г., выше таковых в 2015, 2016 и 2017 гг. [1, 2] ($\gamma=-0.58$).

В табл. 2 представлено распределение землетрясений по магнитудам $M_{L\text{Азр}}$ за 2018 и 2019 гг., а на рис. 4 а, б приведены соответствующие графики повторяемости.

Таблица 2. Распределение землетрясений по локальным магнитудам $M_{L\text{Азр}}$ в оригинальном каталоге в 2018–2019 гг.

$M_{L\text{Азр}}$	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	N_{Σ}	$\Sigma E, 10^{12} \text{Дж}$
N_{2018}	315	960	1564	1408	705	261	120	40	10	2	1	1	5387	3.83
N_{2019}	416	1306	2159	1739	743	334	108	49	13	9	4	0	6880	3.31

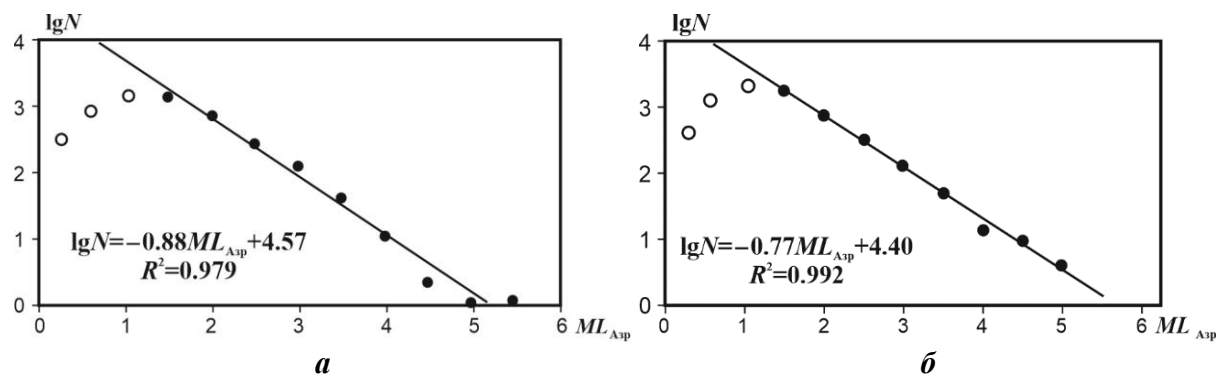


Рис. 4. Графики повторяемости локальных магнитуд $M_{L\text{Азр}}$ землетрясений на территории Азербайджана и сопредельных государств в 2018 г. (а) и 2019 г. (б)

В диапазоне магнитуд $M_{L\text{Азр}}=1.5-5.5$ графики аппроксимированы следующими уравнениями:

$$2018 \text{ г.: } \lg N = 4.57 - 0.88 M_{L\text{Азр}}, R^2 = 0.979, \quad (4)$$

$$2019 \text{ г.: } \lg N = 4.40 - 0.77 M_{L\text{Азр}}, R^2 = 0.992. \quad (5)$$

Согласно графикам (рис.4 а, б), для каталогов землетрясений территории «Азербайджан» в 2018 и 2019 гг. представительной была магнитуда $M_{L\text{Азр}}=1.5$. Наклон графика $\gamma=-0.88$ в 2018 г. несколько выше его величины $\gamma=-0.82$ в 2016 г. и $\gamma=-0.79$ в 2017 году. В 2019 г. $\gamma=-0.77$, что ниже γ за два предыдущих года.

Распределение числа землетрясений и суммарной сейсмической энергии по годам представлено в табл. 3 и на рис. 5. Долговременные среднегодовые значения числа и выделенной энергии землетрясений с $K_p=9-14$ за период 1993–2017 гг., в течение которого представительным в регионе был $K_p=9$, $N_{\Sigma(K=9-14)}=160.5$ и $E_{\Sigma}=21.21 \cdot 10^{12} \text{Дж}$ [1] (табл. 3). В сравнении с этими параметрами число землетрясений с $K_p=9-14$ в 2018 г. (186) и $K_p=9-14$ в 2019 г. (206) несколько

выше фонового уровня, тогда как выделенная сейсмическая энергия за указанные годы ($E_{\Sigma}=3.83 \cdot 10^{12}$ Дж и $E_{\Sigma}=3.31 \cdot 10^{12}$ Дж) уменьшилась в 6 раз в 2018 г. и в 7 раз в 2019 году.

Таблица 3. Распределение по энергетическим классам числа землетрясений N и суммарная сейсмическая энергия ΣE , выделенная в 2018 г. и в 2019 г., в сравнении с аналогичными средними параметрами за период 1993–2017 гг.

Годы	K_p										N_{Σ}	$N_{\Sigma(9-14)}$ ($K_p=9-14$)	ΣE , 10^{12} Дж
	≤ 5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
$N_{\text{ср 1993-2017 г.}}$	177.6	602.28	735.32	317.12	110.28	36.44	10.32	2.84	0.52	0.16	1992.84	160.5	21.21
2018 г.	826	2113	1712	550	157	24	3	2	–	–	5387	186	3.83
2019 г.	1093	2924	2057	600	154	38	12	2	–	–	6880	206	3.31

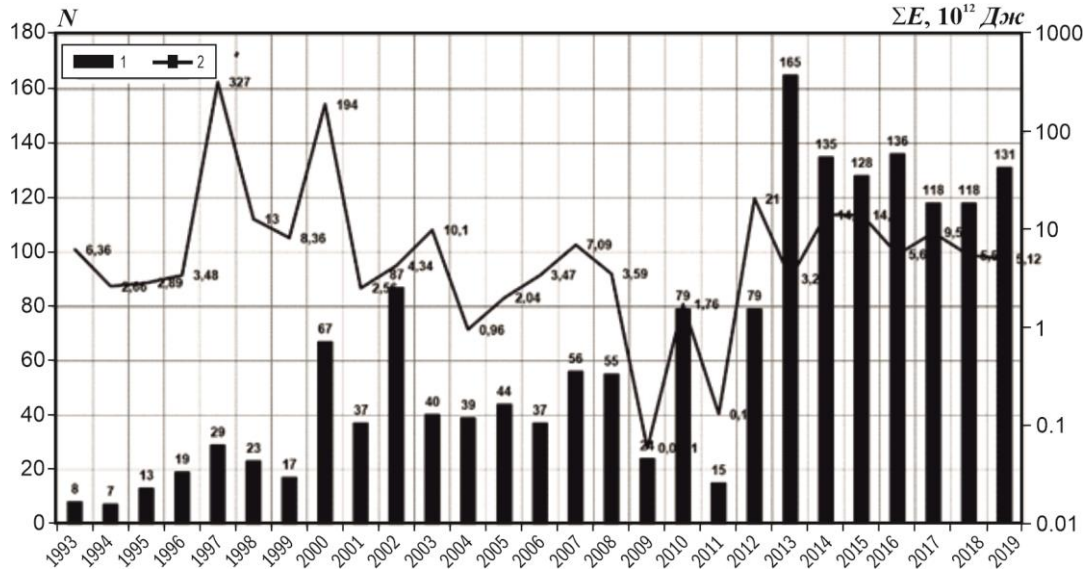


Рис. 5. Распределение годовых чисел, зарегистрированных в зоне ответственности землетрясений (1) и их суммарной сейсмической энергии (2) за период 1993–2019 гг

Сейсмичность сейсмогенных зон и ощутимые землетрясения. Карта эпицентров землетрясений 2018–2019 гг. с $M_{L \text{ Азр}} \geq 3$ ($K_p \geq 9$) изображена на рис. 6. Максимальным в публикуемом каталоге за 2018 г. и самым сильным на территории республики было землетрясение, произошедшее на северо-западе республики 5 июня в $18^{\text{h}}40^{\text{m}}$ с $K_p=12.4$, $M_{L \text{ Азр}}=5.5$. До конца месяца зарегистрировано 29 афтершоков. Землетрясение ощущалось в ближайших населенных пунктах (Алибад, Мухах, Гюллуку) с интенсивностью 6 баллов [10]. Очаговая область находится в районе сильных землетрясений 7 мая 2012 г. с $M_{L \text{ Азр}}=5.6$ и 5.7 и ограничена Ганых-Айричай-Алятским, Вандамским продольными, Загатала-Шамкирским поперечным и Гутон-Зангиланским ортогональным разломами (рис. 7 в [1]).

В 2018 г., как и в прошлые годы, наибольшее число землетрясений наблюдалось в зоне юго-восточного погружения Большого Кавказа, т.е. района Восточного Кавказа. Второе по величине землетрясение в районе Восточного Кавказа зарегистрировано 27 февраля в $19^{\text{h}}03^{\text{m}}$ с $M_{L \text{ Азр}}=4.2$ и $K_p=10.7$.

В Шамахи-Исмаиллинской сейсмогенной зоне наблюдалась фоновая сейсмичность. Здесь произошло десять землетрясений с магнитудой $M_{L \text{ Азр}} \geq 3.3$ и $K_p \geq 9$. Два из них были ощутимыми: 1 января в $09^{\text{h}}11^{\text{m}}$ с $M_{L \text{ Азр}}=3.9$ и $K_p=10.2$ и 11 августа в $19^{\text{h}}03^{\text{m}}$ с $M_{L \text{ Азр}}=3.8$ и $K_p=10.1$. Эти события ощущались в эпицентре с интенсивностью 4 балла, в ближайших населенных пунктах они вызвали сотрясения с интенсивностью 3–4 балла.

В Куринской депрессии отмечена фоновая сейсмичность, зарегистрированы землетрясения с $M_{L \text{ Азр}} \leq 3$. На территории северо-восточной части Малого Кавказа наблюдалось сейсмическое затишье, происходили слабые землетрясения с $M_{L \text{ Азр}} < 3$. В районе Агдама, а именно в зоне сопряжения Малого Кавказа и Куринской депрессии, где в 2017 г. произошло сильное землетрясение с $K=12.7$, $M_{L \text{ Азр}}=5.7$, зарегистрированы лишь слабые толчки с $M_{L \text{ Азр}} \leq 3.2$.

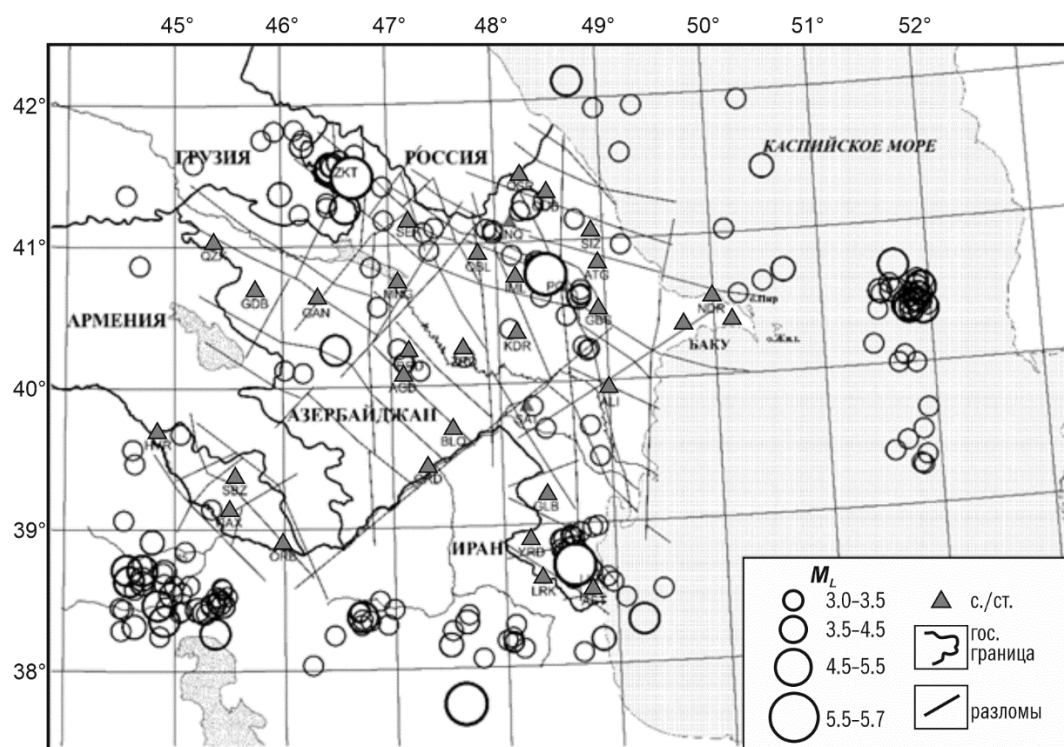


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений Азербайджана и прилегающих территорий с $M_{L \text{ Азр}} \geq 3.0$ за 2018–2019 гг.

В 2018 г. наблюдалось повышение сейсмической активности на территории Талышской горной системы. Зарегистрирована серия ощутимых землетрясений с $K_p \geq 9$ и $M_{L \text{ Азр}} \geq 3.3$ в количестве восьми. Самое значимое из них произошло 28 августа в 12^h57^m с $M_{L \text{ Азр}} = 5.0$ и $K = 11.7$. Оно ощущалось в ближайших селах Алму и Шову с интенсивностью 5–6 баллов и сопровождалось большим количеством афтершоков, некоторые из них были ощутимыми. Очаговая область находится в зоне влияния продольного Талышского и ортогонального Астара-Дербентского разломов (рис. 7).

В акватории азербайджанской части Каспийского моря наблюдалось уменьшение сейсмической активности по сравнению с 2017 годом. Наибольшее сгущение эпицентров отмечено в центральной (средней) части Каспия. Однако уровень выделенной сейсмической энергии снизился, магнитуда зарегистрированных землетрясений не превышает $M_{L \text{ Азр}} = 3.9$. Землетрясение с магнитудой $M_{L \text{ Азр}} = 3.9$ произошло здесь 4 мая в 23^h26^m. Максимальным в акватории Каспийского моря было землетрясение с $M_{L \text{ Азр}} = 4.7$, которое произошло в прибрежной с Талышской горной системой зоне 17 декабря в 10^h03^m.

В Иране наблюдалась фоновая сейсмичность. Отмечено сгущение эпицентров к югу от Нахичеванской АР. Максимальными из них были землетрясения, произошедшие 12 июля в 21^h59^m с $M_{L \text{ Азр}} = 4.1$ и 23 июля в 11^h35^m с $M_{L \text{ Азр}} = 4.1$.

В 2019 г. в районе Восточного Кавказа традиционно зарегистрировано наибольшее число землетрясений. Повысилась сейсмическая активность в Шамахи-Исмаиллинской сейсмогенной зоне. Здесь 5 февраля в 19^h31^m произошло сильное землетрясение с $M_{L \text{ Азр}} = 5.2$, очаг которого расположен в зоне пересечения Вандамского продольного, Западно-Каспийского и Гызылбогаз-Девичинского поперечных разломов (рис. 7). Землетрясение ощущалось в пяти населенных пунктах эпицентральной зоны с интенсивностью 6 баллов. В г. Шамахи, расположенном в 20 км от эпицентра землетрясения, среди людей началась паника, они в сильном испуге выбегали на улицу. Слышался подземный гул. Здания сильно трясло, посуда падала с полок. Колебания почвы продолжались около 10 секунд. Остановилась подача электричества. На территории республики оно вызвало сотрясения до 3–5 баллов [10]. Землетрясение предварялось форшоками, один из которых, с $M_{L \text{ Азр}} = 4.4$, произошел в тот же день в 19^h19^m и ощущался в г. Ахсу с интенсивностью 4–5 баллов. Афтершоковая активность была высокой, в течение суток зарегистрировано около 100 афтершоков, три из которых имели магнитуду $M_{L \text{ Азр}} \geq 3$ ($M_{L \text{ Азр}} = 3.4, 3.0, 3.9$).

В рассматриваемом году продолжалась сейсмическая активизация на северо-западе республики, где произошла серия ощутимых землетрясений: 7 апреля в 08^h27^m с $M_{L\text{ Азр}}=4.5$; 10 августа в 07^h35^m с $M_{L\text{ Азр}}=4.9$ в сопровождении ощутимых афтершоков: 10 августа в 11^h22^m с $M_{L\text{ Азр}}=3.7$ и 11 августа в 03^h29^m с $M_{L\text{ Азр}}=4.4$; 1 декабря в 10^h06^m с $M_{L\text{ Азр}}=3.8$. Эти сейсмические события ощущались в ближайших населенных пунктах с интенсивностью от 4 до 6 баллов.

В Куринской депрессии наблюдается пониженный фон сейсмичности, лишь на территории Грузии 7 апреля в 08^h27^m произошло землетрясение с $M_{L\text{ Азр}}=4.5$, $K=11.2$. Оно ощущалось в городах Гах и Загатала с интенсивностью до 4 баллов.

В 2019 г. появились землетрясения в северной части территории Малого Кавказа. Землетрясение с максимальной магнитудой $M_{L\text{ Азр}}=4.1$ произошло здесь 22 августа в 05^h41^m и ощущалось в ближайшем г. Гейгель с интенсивностью 3–4 балла.

На территории Талыша, как и в предыдущие годы, отмечена большая плотность эпицентров землетрясений с $K_p \leq 10$. Здесь произошли три ощутимые события: 5 февраля в 13^h24^m с $M_{L\text{ Азр}}=3.7$, $K_p=10$, $I_{\text{max}}=4$ балла; 13 апреля в 23^h16^m с $M_{L\text{ Азр}}=3.6$, $K_p=9.9$, $I_{\text{max}}=4$ балла; 11 сентября в 12^h56^m с $M_{L\text{ Азр}}=3.7$, $K_p=10$, $I_{\text{max}}=3$ балла.

В акватории Каспийского моря повышается сейсмичность северной и центральной (средней) частей азербайджанского сектора. Зарегистрировано шесть землетрясений с $M_{L\text{ Азр}} \geq 4$. Максимальным было землетрясение с $M_{L\text{ Азр}}=4.8$, которое произошло 5 июня в 12^h33^m.

На территории Ирана по-прежнему наблюдалось сгущение эпицентров землетрясений южнее Нахичеванской АР. Здесь произошли два ощутимые землетрясения: 11 ноября в 00^h58^m с $M_{L\text{ Азр}}=4.5$, $K_p=11$ и 19 ноября в 00^h14^m с $M_{L\text{ Азр}}=4.8$, $K_p=11.5$. Они ощущались в населенных пунктах Нахичеванской АР с интенсивностью 3 балла.

Отметим землетрясение, которое произошло 7 ноября в 22^h47^m с $M_{L\text{ Азр}}=6.0$ и $K_p=13.1$. Это землетрясение зарегистрировано на территории Ирана на широте меньше 38° и ощущалось в населенных пунктах Азербайджана с интенсивностью до 3 баллов [10].

Механизмы очагов. В 2018–2019 гг. были рассчитаны и проанализированы механизмы очагов десяти землетрясений (рис. 7), параметры которых приведены в [9]. Для определения параметров механизмов очагов землетрясений использован алгоритм программы FPFIT. С этой целью определялись: 1) знаки первых вступлений *P*-волн; 2) географические координаты станций и очага; 3) эпицентральные расстояния и азимуты из очага на станции; 4) углы выхода сейсмических волн на станциях.

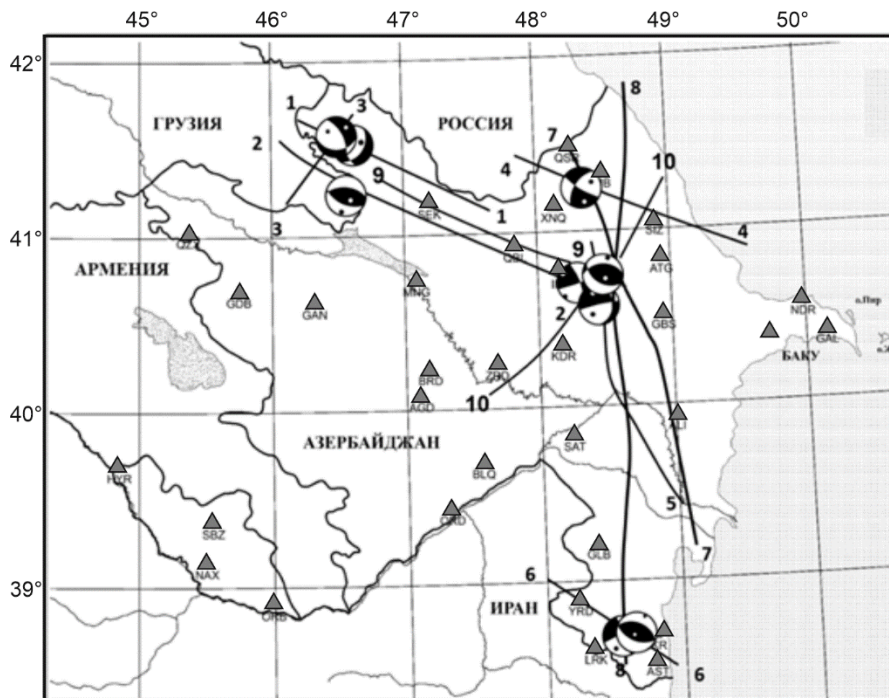


Рис. 7. Карта механизмов очагов землетрясений, произошедших за 2018–2019 гг.

Разломы: 1 – Шамбул-Исмаиллинский, 2 – Ганых-Айричайский, 3 – Загатальский, 4 – Сиязаньский, 5 – Западно-Каспийский, 6 – Талышский, 7 – Таирджачай-Сальянский, 8 – Астара-Дербендский, 9 – Вандамский, 10 – Гызылбогаз-Девичинский.

Для Губинского землетрясения 27 февраля 2018 г., произошедшего в 19^h03^m с $M_{L\text{Azp}}=4.2$, главные тектонические напряжения, которые действовали в очаге, соответствуют близгоризонтальной ориентации осей сжатия ($PL_P=30^\circ$) и растяжения ($PL_T=15^\circ$) (рис. 8). Наклон первой нодальной плоскости $DP1=80^\circ$, второй – $DP2=58^\circ$. По первой плоскости $NP1$ ЮВ ориентации произошел сдвиг с элементами сброса, по второй плоскости $NP2$ ЮЗ ориентации – правосторонний сдвиг с небольшими элементами сброса (рис. 8). Очаговая область находится в зоне пересечения Сиязаньского и Таирджачай-Сальянского разломов (рис. 7).

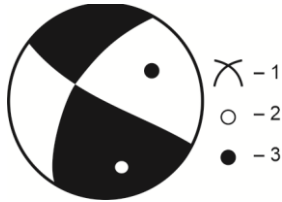


Рис. 8. Стереограмма механизма очага землетрясений 27 февраля 2018 г. с $M_{L\text{Azp}}=4.2$

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия.

26 июня 2018 г. в 22^h20^m в Лерикском районе, в месте пересечения Астара-Дербентского и Тальшского разломов (рис. 7), произошло землетрясение с магнитудой $M_{L\text{Azp}}=4.5$. Согласно решению механизма очага (рис. 9 а), оси напряжений сжатия и растяжения близгоризонтальны ($PL_P=7^\circ$, $PL_T=4^\circ$), обе плоскости разрыва – крутые ($DP1=88^\circ$, $DP2=82^\circ$). Подвижка в очаге по плоскости $NP1$ – правосторонний сдвиг, по плоскости $NP2$ – левосторонний сдвиг. Плоскость $NP1$ имеет северо-западное простирание ($STK1=342^\circ$), $NP2$ – юго-западное ($STK2=252^\circ$). Спустя два месяца, 28 августа 2018 г. в 12^h57^m в том же очаге произошло ощутимое землетрясение с магнитудой $M_{L\text{Azp}}=5.0$. Движение в очаге возникло в условиях сжатия: ось напряжений сжатия горизонтальна ($PL_P=0,0^\circ$) и ориентирована в СВ направлении ($AZM=24^\circ$), тогда как ось напряжений растяжения близвертикальна ($PL_T=88^\circ$) (рис. 9 б). Подвижка в очаге по обеим плоскостям – взброс ($SLIP1=88^\circ$, $SLIP2=92^\circ$). Ориентация нодальных плоскостей СЗ–ЮВ простирания совпадает с простиранием Тальшского продольного разлома (рис. 7).

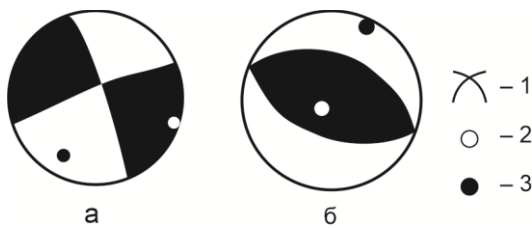


Рис. 9. Стереограммы механизмов очагов землетрясений 26 июня 2018 г. с $M_{L\text{Azp}}=4.5$ и 28 августа 2018 г. с $M_{L\text{Azp}}=5.0$

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

5 февраля 2019 г. в 19^h31^m в Исмаиллинском районе произошло землетрясение с $M_{L\text{Azp}}=5.2$. Сейсмическая активизация в этой зоне началась с землетрясения 5 февраля в 19^h19^m с $M_{L\text{Azp}}=4.4$, которое произошло за 11 минут до основного толчка и считается его сильным форшоком. Механизм очага форшока (рис. 10 а) характеризовался горизонтальными ($PL_P=0^\circ$) сжимающими и близвертикальными растягивающими ($PL_T=71^\circ$) напряжениями. Тип движения по обеим плоскостям – взброс. Плоскость $NP1$ близширотна ($STK1=266^\circ$), а $NP2$ – юго-восточной ориентации ($STK2=122^\circ$). Сопоставление простирания нодальных плоскостей с линиями разломов показывает согласие обеих нодальных плоскостей с Вандамским продольным разломом. Основной толчок 5 февраля 2019 г. в 19^h31^m характеризовался близгоризонтальными ($PL_P=4^\circ$) сжимающими ЮЗ ориентации и растягивающими СЗ ориентации ($PL_T=7^\circ$) напряжениями. Тип движения по обеим крутым ($DP1=88^\circ$, $DP2=82^\circ$) плоскостям – сдвиг. Плоскость $NP1$ имеет северо-восточное ($STK1=72^\circ$) простирание с типом подвижки левосторонний сдвиг, а $NP2$ – северо-западное ($STK2=342^\circ$), с типом подвижки правосторонний сдвиг (рис. 10 б). Сопоставление простирания нодальных плоскостей с линиями разломов показывает согласие второй нодальной плоскости $NP2$ с правосторонним Западно-Каспийским ортогональным разломом (рис. 7), что позволяет считать действующей именно плоскость $NP2$.

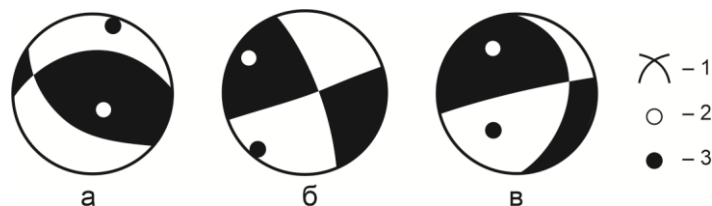


Рис. 10. Стереограммы механизмов очагов землетрясений 5 февраля 2019 г. в 19^h31^m (форшок) с $M_{L\text{Azp}}=4.4$ (а), 5 февраля 2019 г. в 19^h31^m (основной толчок) с $M_{L\text{Azp}}=5.2$ (б) и 11 февраля 2019 г. в 15^h29^m (афтершок) с $M_{L\text{Azp}}=4.0$ (в)

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

Механизм очага землетрясения 11 февраля 2019 г. в 15^h29^m (афтершок) характеризовался промежуточными напряжениями ($PL_P=46^\circ$ $PL_T=31^\circ$). Тип движения по первой крутой плоскости ($DP=82^\circ$) – сброс с элементами левостороннего сдвига, по второй пологой ($DP=29^\circ$) – правосторонний сдвиг с незначительными элементами сброса. Сопоставление простирания нодальных плоскостей с линиями разломов (рис. 7) указывает на согласие второй нодальной плоскости NP2 с Западно-Каспийским поперечными разломом.

Для Загатальских землетрясений, произошедших 5 июня 2018 г. в 18^h40^m с $M_{L\text{Azp}}=5.5$, 10 августа 2019 г. в 07^h35^m с $M_{L\text{Azp}}=4.9$ и 11 августа 2019 г. в 03^h29^m с $M_{L\text{Azp}}=4.4$ на территории Большого Кавказа, главные тектонические напряжения, которые действовали в очаге, соответствуют близвертикальному сжатию ($PL_P=71, 55, 51$) и близгоризонтальному растяжению ($PL_T=0, 16, 23$) (рис. 11). Подвижка по обеим плоскостям – сброс с элементами сдвига или сдвиг с элементами сброса. Согласие северо-восточного простирания нодальной плоскости NP2 механизма очага землетрясения 5 июня 2018 г. (рис. 11 а) ориентации поперечного Загатальского разлома (рис. 7) указывает на то, что именно по этому разлому произошла подвижка. Однако отметим (*ред.*), что решения GCMТ, NEIC и ISC, приведенные в [9, 11], дают для этого землетрясения взброс по близширотной плоскости, что ставит под сомнение подвижку по Загатальскому разлому и делает более вероятным движение по Шамбул-Исмаиллинскому разлому. Сопоставление механизмов очагов землетрясений 2019 г. (рис. 11 б, в) показывает соответствие зоне влияния продольного Шамбул-Исмаиллинского разлома (рис. 7).

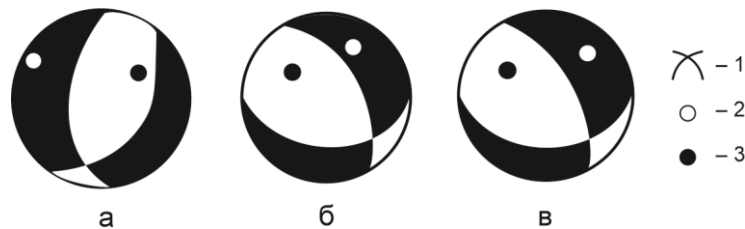


Рис. 11. Стереогаммы механизмов очагов землетрясений 5 июня 2018 г. с $M_{L\text{Azp}}=5.5$, 10 августа 2019 г. с $M_{L\text{Azp}}=4.9$ и 11 августа 2019 г. с $M_{L\text{Azp}}=4.4$

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия.

7 апреля 2019 г 08^h27^m на территории Грузии близ Загатальского района в зоне действия Ганых-Айричайского продольного разлома (рис. 7) произошло землетрясение с магнитудой $M_{L\text{Azp}}=4.5$. В очаге данного землетрясения, согласно решению механизма (рис. 12), движение в очаге возникло в условиях сжатия: ось напряжений сжатия близгоризонтальна ($PL_P=0^\circ$) и ориентирована в ЮЗ направлении ($AZM=193^\circ$), тогда как ось напряжений растяжения близвертикальна ($PL_T=81^\circ$) и ориентирована в ЮВ направлении ($AZM=103^\circ$). Подвижка в очаге по обеим плоскостям – взброс с небольшими компонентами сдвига ($SLIP1=102^\circ$, $SLIP2=78^\circ$) (рис. 12). Юго-восточное простирание плоскости NP1 ($STK1=111^\circ$) и западное NP2 ($STK2=274^\circ$) близки к ориентации Ганых-Айричайского разлома, проходящего южнее Шамбул-Исмаиллинского разлома и параллельного последнему.



Рис. 12. Стереогамма механизма очага землетрясения 7 апреля 2019 г. с $M_{L\text{Azp}}=4.5$

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия.

Заключение. Подводя итоги анализа сейсмичности территории «Азербайджан» в 2018–2019 гг., можно отметить, что ее уровень по числу зарегистрированных землетрясений, по сравнению с таковым в 2017 г., уменьшился с $N_\Sigma=6044$ в 2017 г. до $N_\Sigma=5387$ в 2018 г. и увеличился до $N_\Sigma=6880$ в 2019 году. Величина выделенной сейсмической энергии уменьшилась с $\Sigma E=11.0 \cdot 10^{12}$ Дж в 2017 г. до $\Sigma E=3.83 \cdot 10^{12}$ Дж в 2018 г. и до $\Sigma E=3.31 \cdot 10^{12}$ Дж в 2019 году. По сравнению с долговременными параметрами сейсмического режима за 1993–2017 гг., число землетрясений за год на территории региона в 2018 г. с $K_P=9-14$ ($N_\Sigma=186$) несколько превысило фоновый уровень $N_{\Sigma(K=9-14)}=160.5$, тогда как выделенная сейсмическая энергия ($\Sigma E=3.83 \cdot 10^{12}$ Дж) уменьшилась почти в 6 раз относительно фонового уровня за указанный период

($\Sigma E=21.21 \cdot 10^{12}$ Дж). В 2019 г. число землетрясений с $K_p=9-14$ в зоне ответственности ($N_{\Sigma}=206$), по сравнению со среднегодовым параметром $N_{\Sigma_{ср}}$ за 1993–2017 гг. (160.5), увеличилось на 28 %, а выделенная сейсмическая энергия ($\Sigma E=3.31 \cdot 10^{12}$ Дж) уменьшилась относительно фонового уровня за указанный период ($\Sigma E=20.53 \cdot 10^{12}$ Дж) в 7 раз. Вместе с тем в рассмотренные годы отмечено повышение сейсмической активности на юго-восточном погружении Большого Кавказа, где произошли два землетрясения с $M_{L_{Azp}} > 5$, и в Тальшской горной системе. Землетрясение с максимальной магнитудой $M_{L_{Azp}}=5.5$ зарегистрировано на северо-западе республики в Загатальском районе.

Сопоставление механизмов очагов с разломной тектоникой показало, что эпицентры наиболее заметных землетрясений Азербайджана приурочены к крупным разломам или их пересечениям, а подвижки происходят по плоскостям, параллельным ориентации разломов.

Л и т е р а т у р а

1. Етирмишли Г.Д., Абдуллаева Р.Р., Исмаилова С.С., Казымова С.Э. Сейсмичность Азербайджана и прилегающих территорий в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 56–65. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.04>. EDN: PRKEPU
2. Етирмишли Г.Д., Абдуллаева Р.Р., Исмаилова С.С., Казымова С.Э. Сейсмичность Азербайджана и прилегающих территорий в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 50–59. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.04>
3. Исмаилова С.С. Сейсмические станции Азербайджана в цифровом варианте, работавшие на территории Республики Азербайджан в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>
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. Гасанов А.Г. Глубинное строение и сейсмичность Азербайджана в связи с прогнозом нефтегазоносности. – Баку: Элм, 2001. – С. 166–177.
6. Исмаилова С.С. (отв. сост.). Каталог землетрясений Азербайджана с $M_{L_{Azp}} \geq 3.0$ за 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>
7. Исмаилова С.С. (отв. сост.). Каталог (оригинал) землетрясений Азербайджана ($N=6880$) в государственных границах +30 км за 2019 г. – Баку: Фонды Республиканского Центра сейсмологической службы НАН Азербайджана, 2019.
8. Исмаилова С.С. (отв. сост.). Каталог (оригинал) землетрясений Азербайджана ($N=5387$) в государственных границах +30 км за 2018 г. – Баку: Фонды Республиканского Центра сейсмологической службы НАН Азербайджана, 2018.
9. Казымова С.Э. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Азербайджана за 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>
10. Гаравелиев Э.С. (отв. сост.), Артёмов Е.В., Бахтиарова Г.М., Лукаш Н.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Азербайджана и прилегающих территорий в населенных пунктах в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>
11. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>

SEISMICITY of AZERBAIJAN and ADJACENT TERRITORIES in 2018–2019

G.D. Etirmishli, R.R. Abdullaeva, S.S. Ismailova, S.E. Kazimova

*Republican Center of Seismological Survey of the National Academy of Sciences of Azerbaijan
Baku, science@azeurotel.com*

Abstract. In 2018–2019, the Azerbaijan network of seismic stations continued to operate without changes and consisted of 35 digital stations. To estimate the magnitude of earthquakes in these years, only the local magnitude $M_{L_{Azp}}$ was determined. The total number of earthquakes recorded by the Azerbaijan network of stations was 5387 in 2018 and 6880 in 2019, however, the catalog of earthquakes in Azerbaijan and adjacent territories, published in the appendix to this article, provides data on earthquakes only with a magnitude of $M_{L_{Azp}} \geq 3.0$, which

number was 101 in 2018 and 115 in 2019. The number N of the representative level earthquakes ($K_R \geq 9$) in the study area slightly increased in 2018 and 2019 compared to the long-term average annual value N_{av} for 1993–2017, while the released seismic energy decreased relative to the background level by 6 and 7 times, respectively. The most significant seismic event on the territory of the Republic in 2018 was the earthquake of June 5 with $M_{L,Azi}=5.5$, and in 2019 – the earthquake of February 5, $M_{L,Azi}=5.2$. Both events were felt in the nearest settlements with an intensity of $I_i=6$.

Key words: epicenter, background seismicity, recurrence graph, focal mechanism.

For citation: Etirmishli, G.D., Abdullaeva, R.R., Ismailova, S.S., & Kazimova, S.E. (2023). [Seismicity of Azerbaijan and adjacent territories in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 56–66. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.04> EDN: ZBPILM

References

1. Etirmishli, G.D., Abdullaeva, R.R., Ismailova, S.S., & Kazimova, S.E. (2022). [Seismicity of Azerbaijan and adjacent territories in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 56–65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.04>. EDN: PRKEPU
2. Etirmishli, G.D., Abdullaeva, R.R., Ismailova, S.S., & Kazimova, S.E. (2021). [Seismicity of Azerbaijan and adjacent territories in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 50–59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.04>
3. Ismailova, S.S. (2023). [Seismic stations of Azerbaijan, operating on the territory of Azerbaijan in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html> (In Russ.).
4. Rautian, T.G. (1960). [Energy of 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. Gasanov, A.G. (2001). *Glubinnoe stroenie i seismichnost' Azerbajdzhana v svyazi s prognozom neftegazonosnosti* [Deep structure and seismicity in connection with the forecast of Azerbaijan oil and gas potential]. Baku, Azerbaijan: Elm Publ., 166–177. (In Russ.).
6. Ismailova, S.S. (2023). [Earthquake catalog of Azerbaijan and adjacent territories for 2018–2019 with $M_{L,Azi} \geq 3.0$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html> (In Russ.).
7. Ismailova, S.S. (2019). [Earthquake catalog (original) of Azerbaijan ($N=6880$) in state borders +30 km for 2019]. Baku, Azerbaijan: Funds of Republican Seismic Survey Center of the Azerbaijan NAS Publ. (In Russ.).
8. Ismailova, S.S. (2018). [Earthquake catalog (original) of Azerbaijan ($N=5387$) in state borders +30 km for 2018]. Baku, Azerbaijan: Funds of Republican Seismic Survey Center of the Azerbaijan NAS Publ. (In Russ.).
9. Kazimova, S.E. (2023). [Catalog of focal mechanisms of earthquakes of Azerbaijan for 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes of Northern Eurasia], 26(2018–2019). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html> (In Russ.).
10. Garaveliev, E.S., Artemova, E.V., Bakhtiarova, G.M., & Lukash, N.A. (2023). [Macroseismic effect of perceptible earthquakes in Azerbaijan and adjacent territories in settlements in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes of Northern Eurasia], 26(2018–2019). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html> (In Russ.).
11. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>