

УДК 550.348(574)

Малдыбаева М. Б., Муралиев А.М.,
Абдыраева Б. С., Сабирова Г. А.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ ЗА 2021 Г.

Аннотация. Приведено краткое описание результатов определений и анализа механизмов очагов 21 землетрясений ($K_R \geq 9.6$) Кыргызстана и прилегающих районов за 2021 г. Каталог механизмов очагов землетрясений Кыргызстана пополнен новыми определениями. Сравнение наших (ИС НАН КР) данных с результатами решений, полученных в различных международных центрах (GCMT и NEIC) и разными методами показало, что они очень близки друг к другу. Оси напряжения сжатия в очагах исследованных землетрясений по-прежнему ориентированы в близгоризонтальном и близмеридиональном направлении.

Ключевые слова: землетрясение, механизм очага, нодальная плоскость, каталог, вектор подвижки, ось сжатия и растяжения.

2021-ЖЫЛДАГЫ КЫРГЫЗСТАНДЫН ЖАНА АГА ЧЕКТЕШ РАЙОНДОРДОГУ ЖЕР ТИТИРӨӨ ОЧОКТОРУНУН МЕХАНИЗМДЕРИ

Кыскача мазмуну. 2021-жылда Кыргызстан жана анын аймагындагы 21 жер титирөөнүн ($K_R \geq 9.6$) очок механизмдеринин аныкталышы жана анализи боюнча кыскача маалымат берилет. Кыргызстандагы жер титирөөлөрдүн механизмдери боюнча каталог жаңы аныктамалар менен толукталды. Биздин (КР УИАнын СИ) маалыматтардын (GCMT жана NEIC) эл аралык борборлордо алынган жыйынтыктар менен салыштырмасы көрсөткөндөй, алар бири-бирине абдан жакын. Изилденген жер титирөөлөрдүн очокторундагы кысуу күчтөрүнүн осьтору дагы эле горизонталдуу жана меридионалдуу багытта жайгашкан.

Ачкыч сөздөр: жер титирөө, очок механизми, нодалдык тегиздик, каталог, кыймылдуу вектор, кысуу жана чыңалуу огу.

EARTHQUAKE' FOCAL MECHANISMAS OF EARTHQUAKES OF KYRGYZSTAN AND ADJACENT AREAS FOR 2021

Abstract. A brief description of the results of the definitions and analysis of the mechanisms of the source of 21 earthquakes ($K_R \geq 9.6$) Kyrgyzstan and adjacent areas for 2021. The catalog of earthquake source mechanisms in Kyrgyzstan has been updated with new definitions. A comparison of our (IS NAS KR) solutions with the results of solutions obtained in various international centers (GCMT and NEIC) and using different methods has shown that they are very close to each other. The axes of compression stress in the source of the studied earthquakes are still oriented in the near-horizontal and near-meridian directions.

Keywords: earthquake, hearth mechanism, nodal plane, catalog, motion vector, compression and stretching axis.

Введение. База данных о механизмах очагов землетрясений Кыргызстана пополнена новыми определениями для 21 землетрясений за 2021 г. (рисунок 2). Определение выполнено по известной методике А. В. Введенской [1], в качестве исходных данных использованы знаки первых вступлений Р-волн, зарегистрированных региональной сетью сейсмических станций. Рутинная обработка для каждого землетрясения выполнена компьютерным способом, результаты представлены в международном формате.

Результаты решения механизма очага для землетрясений ($K_R \geq 11.0$) Кыргызстана сопоставлены с таковыми результатами, представленными в международных центрах [2]. Составление каталога механизмов очагов землетрясений необходимо для получения новых сведений о напряжённо-деформированном состоянии земной коры, ответственного за возникновение сильного землетрясения региона. В результате выполнения рутинной обработки найдены решения фокальных механизмов очагов землетрясений ($K_R \geq 9.6$) Кыргызстана и прилегающих районов за 2021 г. и переданы в [2] для наращивания каталога механизмов очагов землетрясений региона. Для некоторых ошутимых и сильных землетрясений в каталоге приведены также дополнительные данные о решении международных центров, например, GCMT [3], NEIC [4] и др. Механизмы очагов землетрясений Кыргызстана и прилегающих районов за 2021 г. определены по данным региональной сети сейсмических станций Кыргызстана и Казахстана. Знаки первых смещений в Р-волн, как исходные данные для решения механизма очага, обменивались с Казахстаном. Для землетрясений южных и юго-восточных прилегающих районов Кыргызстана механизмы очагов землетрясений составляют меньшее количество из-за отсутствия обмена сейсмологическими данными (знаками первых вступлений Р-волн) со стороны СУАР КНР. Основные параметры очага (время возникновения, координаты эпицентра, глубина очага, энергетический класс, магнитуда) землетрясений взяты из каталога Центрально-Азиатского региона [5].

Методика и исходные данные. Механизмы очагов землетрясений Центральной Азии определены по известной методике на основе анализа знаков первых вступлений Р-волн [1, 6]. Поиск решения параметров фокального механизма землетрясения производился с помощью компьютерной программы «Source mechanism», адаптированной для условий Тянь-Шаня [7]. В случае сильных землетрясений ($K_R \geq 11.0$) в каталог внесены результаты определения механизмов их очагов, опубликованных в международных центрах GCMT [3], NEIC [4]. Знаки первых вступлений Р-волн определены по записям сейсмических станций региона. В определении механизмов очагов в 2021 г. участвовали данные в общей сложности не менее десяти и не более 30 сейсмических станций в зависимости от магнитуды землетрясения. Для определения механизма очага приграничных районов между Кыргызстаном и Казахстаном использованы данные сейсмических станций обоих государств.

Результаты. Основными результатами данной статьи являются решения фокальных механизмов для 21 землетрясений ($K_R \geq 9.6$) Кыргызстана и прилегающих районов, произошедших за период с 1 января 2021 г. по 31 декабря 2021 г. Эти результаты представлены в виде карты (рисунок 1), которая показывает распределения механизмов очагов землетрясений соответствующих энергетических классов по исследуемой территории. Из рисунка 1 видно, что для землетрясений, произошедших на территории Кыргызстана, практически для всех найдены решения механизма очагов. Только для некоторых землетрясений южного района (Кокшаальская сейсмоактивная зона) из-за малочисленности исходных данных не определены их механизмы. В этом случае в каталог приведены решения фокальных механизмов землетрясений из других источников. Составлен каталог механизмов очагов землетрясений за 2021 г. с $K_R \geq 9.6$ (таблица 1).

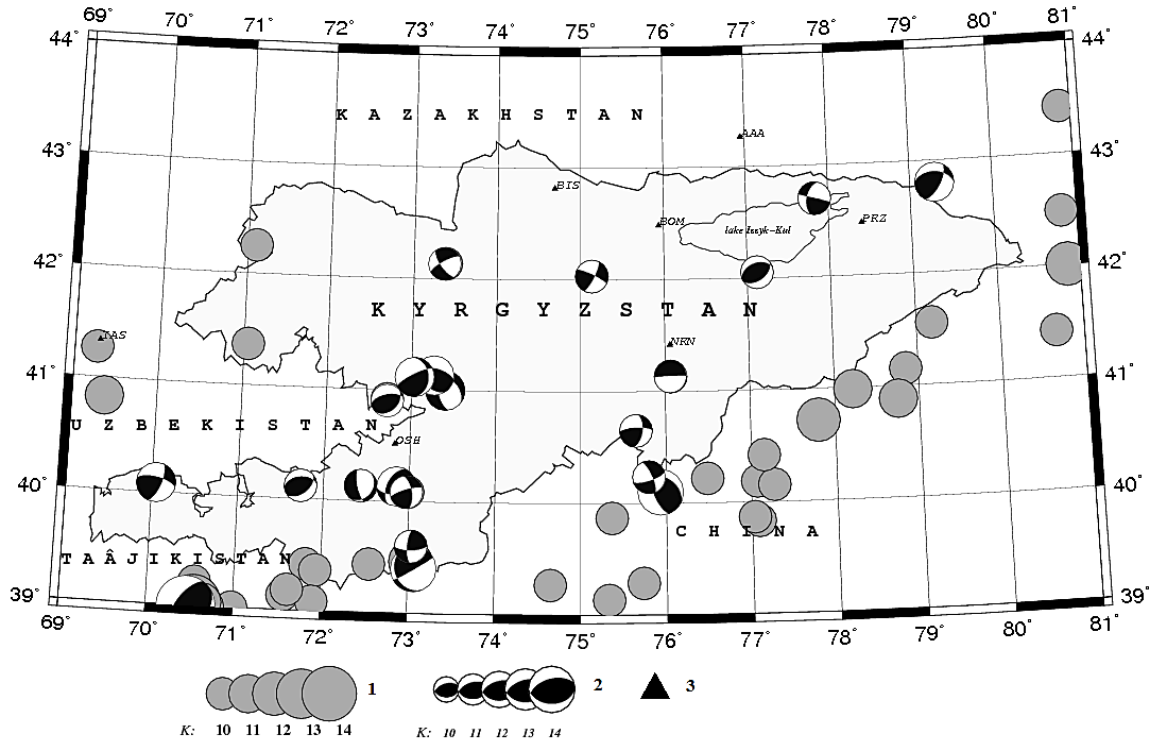


Рисунок 1. Механизмы очагов землетрясений Кыргызстана за 2021 год. Условные обозначения: 1- эпицентры, 2- механизмы очагов землетрясений, 3- сейсмическая станция.

Таблица 1- Каталог механизмов очагов землетрясений Кыргызстана за 2021 год.

Каталог механизмов очагов землетрясений Кыргызстана в 2021 г.
 Отв. сост. А.М. Муралиев (по региону)
 Сост.: Малдыбаева М.Б., Абдыраева Б.С
 Примечание:
 параметры землетрясений в графах соответствуют агентством (графа 27)
 в графе 28 символом "*" отмечены землетрясения в решениях которых участвовало мало данных.
 Расшифровка кодов агентств, упоминаемых в графе 27:
 GCMГ-The Global CMГ Project;
 NEIC-National Earthquake Information Centre;

№	Год	Мес	Ден	Час	Мин	Сек	φ°, N	λ°, E	h, км	h мех	K	[3]	M _s [1]	M _w [1]	T-PL	T-AZM	N-PL	N-AZM	P-PL	P-AZM	NP1 STK	NP1 DP	NP1 SLIP	NP2 STK	NP2 DP	NP2 SLIP	Агентство	При-не
1	2021	1	1	7	41	31,6	42,03	75,13	17	10	10,5			17	251	75	80	2	341	295	80	167	27	77	11	ИС НАН КР	28	
2	2021	1	10	19	38	22,9	41	73,4	35	10	10,7			12	243	22	338	66	126	170	60	-65	308	38	-126	ИС НАН КР		
3	2021	3	6	1	13	59,1	42,7	77,83	20	10	10,3			26	156	53	282	24	53	285	89	37	194	53	179	ИС НАН КР		
4	2021	3	14	4	17	12,9	42,05	77,12	21	12	9,8			82	269	16	49	4	153	250	42	101	56	49	81	ИС НАН КР		
5	2021	4	13	9	32	46,2	40,13	72,43	11	11	9,6			25	272	17	174	58	52	35	25	-45	167	73	-108	ИС НАН КР		
6	2021	5	6	7	7	18,5	42,8	79,3	17	13	11,5			53	253	34	49	12	147	272	45	143	30	65	51	ИС НАН КР		
7	2021	5	13	8	37	33,1	40,65	75,65	14	5	10,1			36	222	52	62	11	321	8	57	20	267	74	145	ИС НАН КР		
8	2021	5	14	9	54	2,8	39,4	73,07	10				4,3	44	350	21	238	39	130	59	87	111	156	21	7	NEIC		
9	2021	5	24	4	40	53,1	39,6	73,03	11	10	10,2			26	46	63	227	1	316	184	72	20	88	71	161	ИС НАН КР		
10	2021	5	29	12	53	35	41,13	76,07	26	26	10,3			42	351	8	88	47	186	268	87	-83	20	8	-158	ИС НАН КР		
11	2021	7	10	2	14	42,7	39	70,47	12			5,7	5,8	70	94	12	219	16	312	59	31	113	213	62	77	GCMГ		
12	2021	7	10	16	5	7	40,13	72,85	13	13	10,8			56	51	35	239	4	146	205	51	44	84	57	132	ИС НАН КР		
13	2021	8	9	10	51	27,2	40,1	75,93	20	13	11,6			63	108	22	329	16	234	296	34	51	160	65	113	ИС НАН КР	*	
14	2021	9	29	7	46	12,1	41,13	73,27	23	15	11,2			65	145	22	295	11	29	281	60	65	145	39	126	ИС НАН КР		
15	2021	9	29	12	41	26,4	40,12	71,73	30	30	10,2			73	253	16	64	2	156	263	45	114	50	49	68	ИС НАН КР		
16	2021	10	11	15	40	8,5	40,23	75,8	25	13	9,6			1	25	67	117	24	294	337	74	-18	72	73	-163	ИС НАН КР	*	
17	2021	11	10	17	41	21	42,13	73,38	35	12	10,3			4	12	64	274	26	104	240	75	-158	144	69	-16	ИС НАН КР		
18	2021	11	12	1	38	9,7	40,92	72,72	30	10	10,2			71	206	15	68	12	335	257	59	107	46	35	64	ИС НАН КР		
19	2021	11	17	11	17	16,2	41,12	73,03	24	25	11,4			50	181	26	55	29	311	242	78	116	355	29	25	ИС НАН КР		
20	2021	11	27	9	21	22,5	40,08	72,98	16	12	10,2			30	208	58	47	9	303	252	76	151	350	62	16	ИС НАН КР		
21	2021	12	18	5	42	43,8	40,08	70,05	21	20	10,8			33	241	56	60	1	151	21	68	25	281	67	156	ИС НАН КР		

Ввиду отсутствия данных сейсмических станций Китая количество полученных решений механизмов очагов землетрясений Кокшаальской сейсмоактивной зоны очень мало, несмотря на большое количество зарегистрированных землетрясений. На рисунке 2 представлены типы деформаций подвижек земной коры в результате землетрясений с $K_R \geq 9.6$ за 2021 г. по территории Кыргызстана и прилегающих регионов. Из рисунка 2 видно, что большинство землетрясений имеет «надвиговый» тип подвижки.

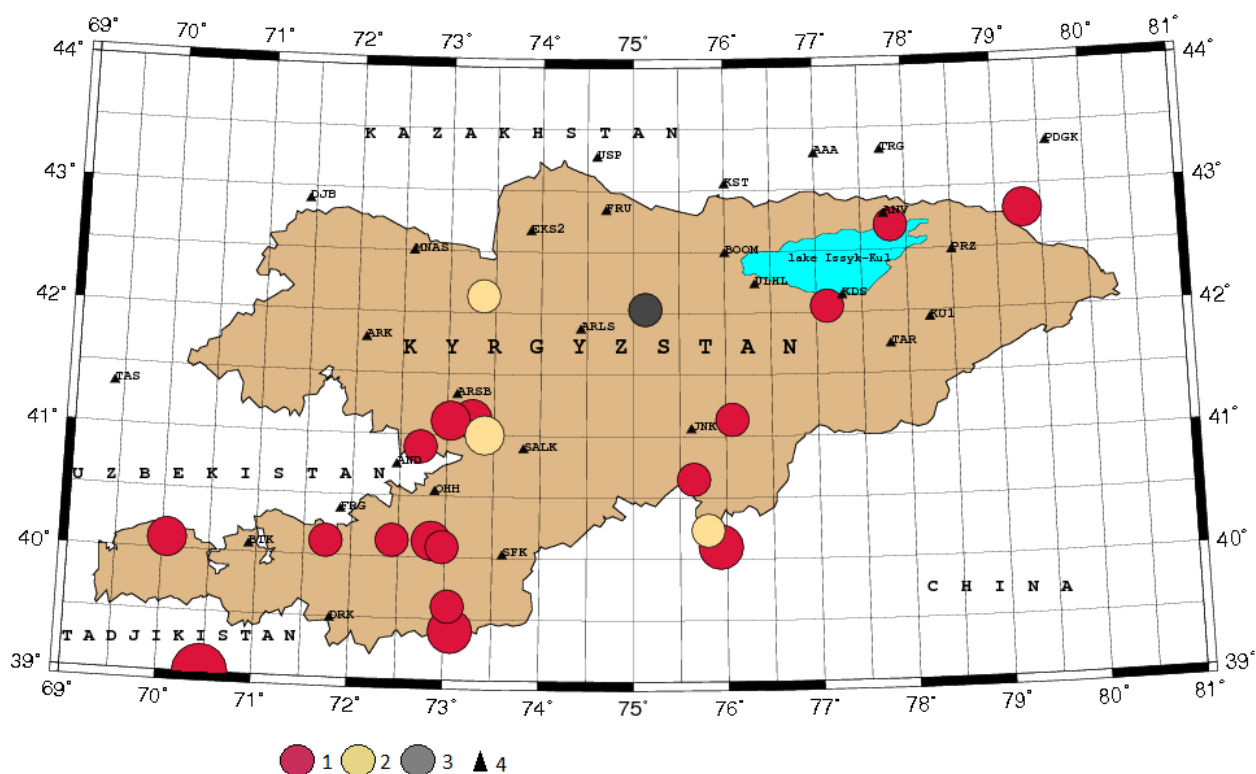


Рисунок 2. Механизмы очагов землетрясений Кыргызстана и прилегающих районов для землетрясений с $K_R \geq 9.6$ за 2021 год по типам подвижек в очагах. Условные обозначения: 1- надвиговые, 2-сбросовые, 3-сдвиговой, 4- сейсмические станции.

На рисунке 3 показан пример определения механизма очага землетрясения ($K_R=11.4$), произошедшего в Ошской области (очаг находится близ с/станции «Арсланбоб») 17 ноября 2021 г. Глубина гипоцентров $h = 25$ км. Механизм определен по данным 16 сейсмостанций. 5 сейсмостанций дали знак «+», остальные 11 станции- «-». Результаты решения показаны в таблице 2. Решение по программе «Source mechanism» [7]: ось напряжения сжатия в очаге направлена на северо-запад. Азимут 311° и угол составляет 29° , ось напряжения растяжения направлена на юго-запад. Азимут 181° и угол - 50° . Ось промежуточного напряжения ориентирована на северо-восток. Азимут 55° и угол - 26° . Азимут простирания первой нодальной плоскости $STK1=242^\circ$, угол падения $DP1=78^\circ$, угол скольжения $SLIP1=116^\circ$. Азимут простирания второй нодальной плоскости $STK2=355^\circ$, угол падения $DP2=29^\circ$, угол скольжения $SLIP2=25^\circ$. Подвижка в очаге землетрясения - «взброс» (рисунок 3).

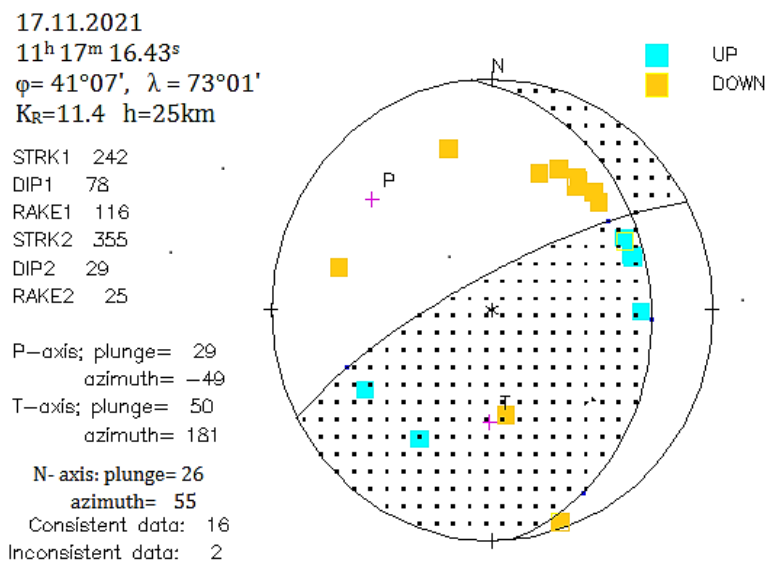


Рисунок 3. Стереограмма механизма очага землетрясения 17 ноября 2021 г. на территории Ошской области (очаг находится близ с/станции «Арсланбоб»), глубина $h=25\text{km}$, энергетический класс $K_R=11.4$, время в очаге $t_0=11-17-16.4$, координаты: $\text{lat}=41^{\circ}07'$; $\text{lon}=73^{\circ}01'$.

Таблица 2- Параметры механизмы очагов землетрясений, произошедших 17 ноября 2021 г.

Агентство	t_0 ч мин	h , km	M_w	K_R	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					T		N		P		NP1			NP2		
					PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
ИС НАН КР	11-17	25	4.1	11.4	50	181	26	557	29	311	242	78	116	355	29	25

В работах [8, 9] изложено, что перед сильными землетрясениями наблюдается изменения во времени ориентации осей главных напряжений сжатия и подвижек в очагах слабых землетрясений. Отмечено, что направление осей сжатия в очаге сильного землетрясения совпадает с преобладающей ориентацией осей сжатия слабых толчков в очаговой зоне [9]. С этими результатами были проведены изучения направления оси сжатия и растяжения на территории Кыргызстана. Составлены карты азимутов осей сжатия и растяжения землетрясений с энергетическим классом $K_R \geq 9.6$ за 2021 г. (рисунки 4, 5). При определении механизма очагов землетрясений получены подвижки разно - ориентированных типов (рисунок 5).

Из рисунка 4а видно, что направление азимутов осей сжатия (P) на территории Кыргызстана за 2021 год разнонаправлено, направление азимутов осей растяжения (рисунок 4 (б)) (T) направлены на запад-юг-запад в градусах (25° - 351°). Составлена карта механизмов очагов землетрясений по направлениям азимутов осей сжатия (рисунок 4 (в)) и растяжения (рисунок 4 (г)) за 2021 год.

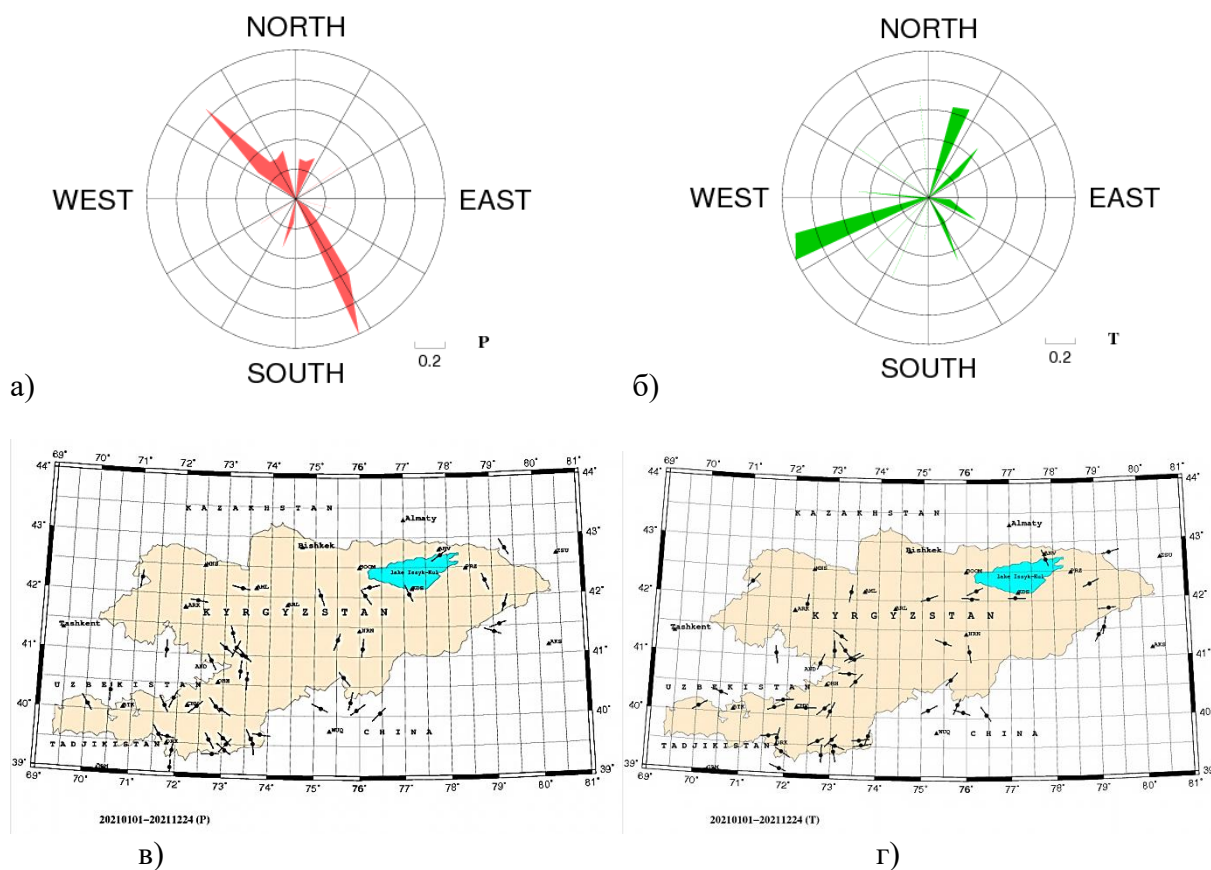


Рисунок 4. Диаграммы направленности осей сжатия -Р (а) и растяжения -Т (б) в очагах землетрясений; карта механизмы очагов землетрясений Кыргызстана за 2021 год с $K_R \geq 9.6$ по направлениям азимутам: (в) - сжатия и (г)- растяжения.

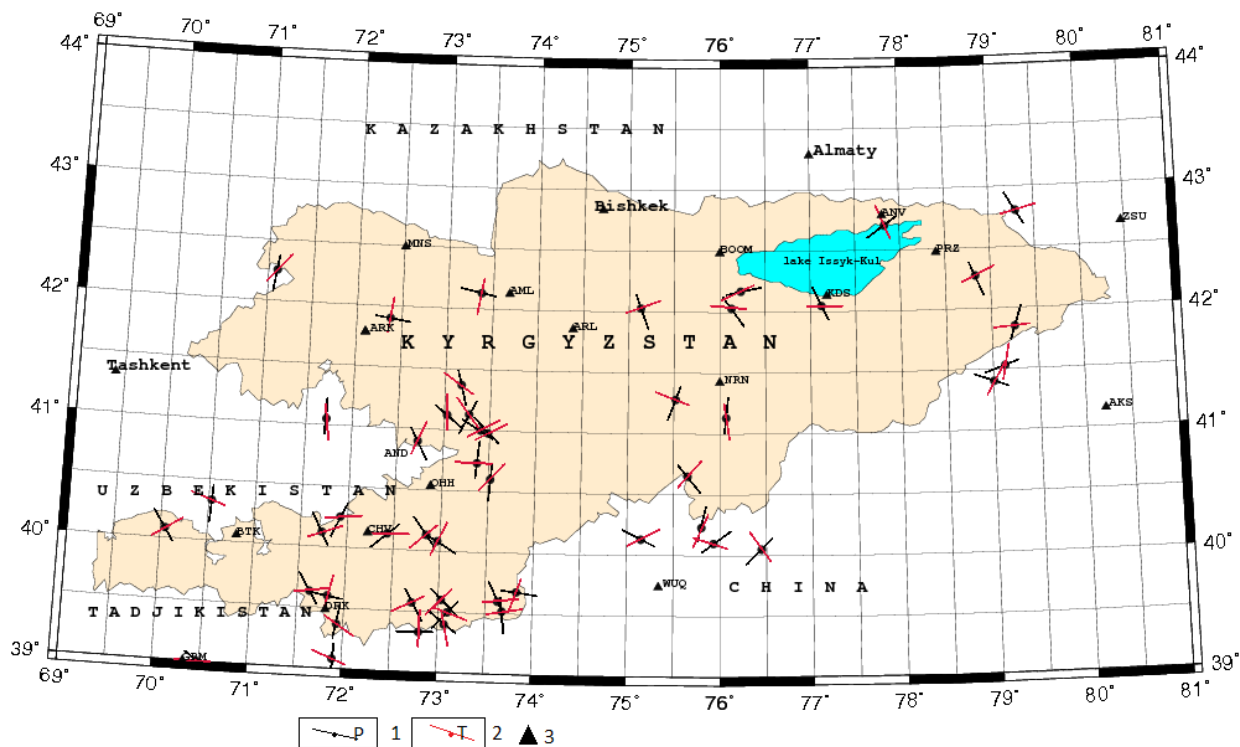


Рисунок 5. Распределение ориентации осей напряжения сжатия и растяжения в очагах землетрясений ($K_R \geq 9.6$) по территории Кыргызстана за 2021 г. Условные обозначения: 1- сжатие 2- растяжение, 3- сейсмические станции.

Вывод. Продолжена работа по наращиванию базы данных механизмов очагов землетрясений с $K_R \geq 9.6$ за 2021 год (таблица 1) Кыргызстана и обеспечена доступность к этим материалам путём ежегодной публикации в журналах «Землетрясения Северной Евразии» в ГС РАН, г. Обнинск и Вестник ИС НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан.

Анализ показал, что в очагах исследованных землетрясений Кыргызстана преобладают подвижки типа «надвиг» (рисунок 2). Наблюдается поворот осей главных напряжений сжатия и растяжения перед землетрясением 17.11.2021 г. ($K_R = 11.4$) (рисунок 5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Введенская А. В. Исследования напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. – М.: Наука, 1969. -135с.
2. Муралиев А.М., Малдыбаева М. Б., Абдыраева Б. С. Механизмы очагов землетрясений за 2021 год, г.Обнинск. ГС РАН (отправлен для публикации).
3. Global CMT catalog – [Электронный ресурс]- <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
4. NEIC-National earthquake Information Center- URL: <http://neic.usgs.gov/neic/epic/epic.html>.
5. Каталог землетрясений Северной Евразии за 2021г. // Землетрясения Северной Евразии. - 2021г. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, - Приложение на CD_ROM.
6. Балакина Л. М., Введенская А. В. Голубева Н. В., Мишарина Л.А., Широкова Е. И. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. Журнал сейсмология - М.: Наука. №8. 1972. -192с.
7. Suetsugu D. Source Mechanism. IISSE Lecture note Global Course, Tsukuba, Japan. 1998. - 103 pp.
1. Симбирева И. Г. Механизмы очагов слабых землетрясений бассейна реки Нарын // Экспериментальная сейсмология. Москва: Наука, 1974г., с 360–375.
9. Соболева О. В., Шкляр Г. П., Ходжаколонов М. Некоторые результаты исследования напряженного состояния в очагах землетрясений таджикской депрессии. Кишинев, «Штиинца», 1974.

Рецензент: к.т.н. Камчыбеков М.П.