

## ОЦЕНКА ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ ДАННЫХ СВОДНОГО КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТАДЖИКИСТАНА

© 2016 г. Ш.П. Шозиёев<sup>1,2</sup>, Ф.А. Айдаров<sup>1,2</sup>, В.Б. Смирнов<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Хорогский государственный университет, г. Хорог, Таджикистан*

<sup>3</sup> *Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, г. Москва, Россия*

По опубликованным данным различных каталогов землетрясений Таджикистана и прилегающих территорий авторами составлен в цифровом виде Сводный каталог землетрясений Таджикистана (СКЗТ). В разные периоды времени региональная сейсмическая сеть исследуемого региона состояла из разного количества станций, что отразилось в неоднородности данных каталога по представительности и детальности.

Проведена статистическая оценка представительности составленного каталога и пространственно-временной изменчивости сети. Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы при изучении разных аспектов сейсмичности Таджикистана.

**Ключевые слова:** землетрясение, Таджикистан, представительная магнитуда, Сводный каталог землетрясений Таджикистана (СКЗТ).

### Введение

На территории Таджикистана, которая относится к наиболее сейсмически активным территориям Земного шара, непрерывные инструментальные сейсмологические наблюдения ведутся более полувека. С течением времени менялись конфигурация и плотность регистрирующей сети, совершенствовался сейсмологический инструментарий. В последние годы аналоговая регистрация практически полностью заменена на цифровую. В настоящее время сейсмическими станциями на территории республики и сопредельных территориях ежегодно регистрируется более 5 000 землетрясений различной природы и силы.

При анализе сейсмической активности любого региона одной из важнейшей составляющих является контроль однородности набора зарегистрированных сейсмических событий. Представительная магнитуда каталога, определяющая события, которые регистрируются сетью без пропусков, меняется во времени и пространстве в силу изменения плотности сетей наблюдения и модификации аппаратного оснащения. Детальное изучение представительности составленного авторами каталога помимо решения чисто сейсмологической задачи контроля его однородности позволило проследить историю развития сейсмологических наблюдений в Таджикистане, расширив тем самым круг задач, решаемых в рамках данного исследования.

Рассматриваемая территория охвачена наиболее полными сейсмологическими исследованиями, начиная с 1962 г. Представляемый в данной статье анализ данных за 1962–2008 гг. проводился в пределах планшета, ограниченного по широте 36° и 41° с.ш. и по долготе 67° и 76° в.д. Верхняя граница анализируемого временного интервала определена датой выхода в свет сборника “Землетрясения Северной Евразии в 2008 г.” [2014], из которого черпалась основная информация при создании сводного каталога.

Сейсмические наблюдения на территории Таджикистана и сопредельных территориях республик Средней Азии начались в сороковые годы прошлого века [Бегиев, Нечаев, 1971]. На первом этапе существовали лишь единичные пункты наблюдений: Хорог, Мургаб, Андижан, Куляб, Гарм, Душанбе в Таджикистане; Ташкент в Узбекистане; Талгар в Казахстане; Нарын, Фрунзе в Киргизии [Кондорская, 1967, 1996]. В дальнейшем число стационарных станций только на территории Таджикистана превысило 30 [Землетрясения..., 1990].

В феврале 1954 г. по инициативе и под непосредственным руководством академика Г.А. Гамбурцева [Гамбурцев, Гамбурцева, 2003] на базе Гармской экспедиции Геофизического института АН СССР была организована круглогодичная Таджикская комплексная сейсмологическая экспедиция (ТКСЭ). На территории площадью 80×100 км, получившей впоследствии статус Гармского прогностического полигона, в разные годы функционировало до 10 регистрирующих станций. Работы ТКСЭ в Гарме развивались в направлении поисков статистических корреляционных связей между сейсмическими явлениями и позволили подойти к количественной оценке таких понятий, как сейсмический режим и сейсмическая активность, которые ранее оценивались только качественно [Ризниченко, 1967, 1985].

С помощью созданной достаточно плотной локальной сети высокочувствительных сейсмических станций ТКСЭ впервые в СССР начала режимные систематические наблюдения за сейсмичностью с целью поиска предвестников сильных землетрясений. Составляемый при этом каталог землетрясений Гармского прогностического полигона не входит в региональные каталоги, являясь самостоятельным научным продуктом.

В 1979 г. по инициативе директора Института физики Земли АН СССР академика М.А. Садовского в целях улучшения качества наблюдений и анализа данных на базе Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии (ИГССС) Таджикистана был создан Региональный центр прогноза землетрясений по Средней Азии и Казахстану (РЦПЗСАК). В его состав вошли сейсмологические учреждения Таджикистана, Узбекистана, Киргизии, Казахстана. Кроме сейсмичности территорий названных республик, изучалась сейсмичность сопредельных районов Афганистана и Китая. В Региональный центр поступала оперативная информация от 59 региональных сейсмических станций, из которых 31 располагалась на территории Таджикистана, 11 – на территории Узбекистана, 9 – в Киргизии, 7 – в Казахстане, 1 – в Туркмении. Центр просуществовал около 12 лет и прекратил свое существование в связи с распадом СССР [Ниязов, 2005]. Труды Центра издавались в Душанбе в виде сборников “Землетрясения Средней Азии и Казахстана”, в которых публиковался каталог землетрясений с  $K \geq 9$ . Эти данные использовались авторами настоящей статьи при составлении Сводного каталога землетрясений Таджикистана.

Сводка сейсмических станций, действовавших на территории Таджикистана в период с 1962 по 2008 гг., представлена в таблице. Основные характеристики станций приведены по [Землетрясения..., 2000], а для сети Гармского прогностического полигона ИФЗ АН СССР – по [Лукк, Попандопуло, 2012].

### Исходные данные

Анализ работ, посвященных изучению сейсмических проявлений на территории Таджикистана и прилегающих стран, свидетельствует об отсутствии единого цифрового каталога для района исследований. В связи с этим авторами на основе имеющихся литературных данных была сформирована собственная база данных за период 1962–2008 гг., которая включает около 97800 сейсмических событий.

Сейсмические станции, действовавшие на территории Таджикистана, и их параметры

№	Станции		Даты		Координаты		Глубина очага H, м	Аппаратура			Период, с	
	Название	Код	открытия	закрытия	ф. с.п.	λ, в.д.		Тип прибора	Компо- ненты	Увели- чение		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Душанбе	Dsh	Дшн	03.04.1940		38°34'	68°46'	815	СКМ КПЧ СК КПЧ	N, E, Z Z N, E, Z Z	10000 1000 1500 200	1.0-1.6 1.0-1.6 0.4-10 0.4-10
2	Обигарм	Obg	Обг	1945	02.08.1994	38°43'	69°43'	1500	СКМ-3	N, E, Z	15000	0.02-1.3
3	Куляб	Kul	Кулб	02.11.1947		37°55'	69°47'	600	СК	N, E, Z	1500	0.2-2.0
4	Гарм	Gar	Грм	01.01.1949	21.11.1995	39°00'	70°18'	1350	СКМ-3	N, E, Z	40000	0.02-1.4
5	Джиргаталь	Dzt	Джг	01.07.1950	02.03.1995	39°13'	71°12'	1840	СКМ-3	N, E, Z	5000	0.2-1.1
6	Хорог	Kho	Хрг	04.01.1951		37°29'	71°34'	2400	СК	N, E, Z	1000	0.4-12
7	Карасу	Kru	Крс	01.01.1955	26.03.1995	38°28'	69°59'	520	СКМ-3	N, E, Z	15000	0.02-1.3
8	Чусал	Chl	Чсл	01.01.1955	01.01.1995	39°06'	70°45'	1670	СКМ-3	N, E, Z	40000	0.02-1.4
9	Ялдымыш	Yld	Ялд	01.01.1955	07.08.1994	39°03'	70°26'	1410	СКМ-3	N, E, Z	40000	0.02-1.2
10	Тавильдора	Tvd	Твд	01.01.1955	15.09.1994	38°41'	70°29'	1670	СКМ-3	N, E, Z	40000	0.02-1.4
11	Гиссар	Gis	Гис	03.05.1955		38°28'	68°33'	770	СКМ-3	N, E, Z	10000	0.02-1.3
12	Джафр	Jfr	Дфр	20.07.1956	12.05.1994	39°06'	70°35'	1650	СКМ-3	N, E, Z	40000	0.02-1.3
13	Чуянгрон	Chg	Чнг	01.09.1956	27.01.1993	38°39'	69°09'	1050	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02-1.1
14	Большаян	Bld	Блд	01.01.1959	01.03.1995	38°18'	69°40'	940	СКМ-3	N, E, Z	15000	0.02-1.3
15	Калайдашт	Kld	Кулд	1961	30.11.1995	38°38'	69°26'	1800	СМ-3	N, E, Z	20000	0.02-1.2
16	Лангар	Lng	Лнг	21.02.1964		38°24'	69°21'	760	СКМ-3	N, E, Z	10000	0.02-1.3
17	Регар	Reg	Ргр	04.03.1964	05.09.1994	38°39'	68°13'	780	СКМ-3	N, E, Z	25000	0.04-1.1
18	Джерино	Jre	Джр	07.06.1964		38°48'	68°50'	1200	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02-1.2
19	Богизагон	Bgz	Бгз	25.11.1964		38°29'	69°49'	1210	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02-1.3
20	Хант	Kht	Хант	01.01.1965	15.06.1994	39°10'	70°53'	1800	СКМ-3	N, E, Z	40000	0.02-1.3

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
21	Шааргуз	Sht	Шрг	24.09.1966		37°32'	68°07'	440	СКМ-3	N, E, Z	30000	0.02-1.1
22	Аккуйли	Akl	Акл	12.06.1968		38°27'	68°37'	710	СМ-3	N, E, Z	15000	0.02-1.1
23	Чильдора	Chl	Члд	26.08.1970	01.01.1995	38°46'	70° 18'	1700	СКМ-3	N, E, Z	40000	0.02-1.3
24	Ура-Тюбе	Urt	Урт	30.08.1970		39°51'	69°00'	1240	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02-1.2
25	Рогун	Rgn	Ргн	1974		38°41'	69°43'	1730	СМ-3	N, E, Z	5000	0.02-0.8
26	Игрон	Igr	Игр	01.01.1975		38°13'	69°20'	1200	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02-1.0
27	Чорсады	Chr	Чрс	01.04.1975	01.08.1994	38°51'	69°47'	1440	СКМ-3	N, E, Z	25000	0.02-1.2
28	Комароу	Kmr	Кмр	21.01.1976	24.01.1995	39°05'	70°12'	1320	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02-1.2
29	Кангурт	Kng	Кнг	28.04.1976	30.04.1995	38°15'	69°31'	520	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02-1.2
30	Пептава	Psh	Пшт	06.12.1977	15.05.1995	38°37'	69°55'	1530	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.02-1.2
31	Гезан	Gzn	Гзн	01.12.1980		39°16'	67°42'	1560	СКМ-3	N, E, Z	30000	0.02-1.2
32	Комсомолабад	Kms	Кмс	1982	01.11.1995	38°54'	69°57'	1560	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.03-1.3
33	Арджинак	Arj	Арж	10.01.1983	24.01.1995	38°44'	68°36'	1400	СКМ-3	N, E, Z	25000	0.02-1.1
34	Ленинабад	Lnb	Лнб	09.02.1983		40°17'	69°37'	350	СМ-3	N, E, Z	1000	0.02-1.0
35	Офтобруй	Oft	Офг	14.07.1983		40°10'	70°40'	840	СКМ-3	N, E, Z	15000	0.04-1.3
36	Деонау	Des	Дес	30.11.1983	15.05.1993	39°15'	70°45'	1880	СМ-3	N, E, Z	15000	0.04-1.2
37	Султанабад	Slt	Слт	14.01.1984		38°26'	68°55'	1150	СМ-3	N, E, Z	2000	0.2-0.9
38	Ипкшим	Ish	Ипк	11.09.1984	05.06.1993	36°41'	71°38'	2560	СМ-3	N, E, Z	10000	0.02-1.2
39	Муртаб	Mrg	Мрг	10.12.1947	07.09.1989	38°25'	73°58'	3800	СМ-3	N, E, Z	10000	0.02-1.0

Первая попытка подобной систематизации предпринималась в 2008 г. с использованием материалов ИГССС АН Республики Таджикистан и данных каталога РЦПЗСАК [Шозиёев и др., 2011], содержащих информацию за 1968–1991 гг. и представленных в виде файлов *Excel*. В отличие от каталога РЦПЗСАК, включавшего информацию о событиях с  $K \geq 9$ , новая подборка содержала сведения и о более слабых землетрясениях. Собранные авторами данные были отформатированы и преобразованы в формат с разделенными информационными полями.

Файлы за 1969, 1981, 1990 гг. оказались поврежденными и не были использованы для анализа, так как их резервные копии отсутствовали. В связи с этим данные за названные годы восстанавливались по каталогам, опубликованным в сборниках “Землетрясения в СССР”.

Каталоги за 1962–1967 гг. были собраны в ИГССС АН Таджикистана по архивным данным. Каталоги за 1972–1978 гг. составлялись по данным сборников [Землетрясения ..., 1972–1978].

Данные 1992–1997 гг. были собраны по рукописным материалам ИГССС Республики Таджикистан и сборникам “Землетрясения Северной Евразии” [Землетрясения..., 2000–2003]. Каталог за период 1998–2008 гг. также составлен по данным сборников “Землетрясения Северной Евразии” [Землетрясения ..., 2004–2013].

После формирования сводного каталога в ручном режиме была проведена его сверка с данными Международного сейсмологического центра (<http://www.isc.ac.uk>) и данными других источников.

Для анализа и хранения сводного каталога используется система управления базами данных *MS Access*. При помещении в базу в исходных данных выявляются и корректируются опечатки и ошибки ручного ввода. База данных позволяет осуществлять предварительную обработку информации, обеспечивающую исключение дублированных записей событий; построение статистических распределений по выбранным параметрам; реализацию выборок данных по определенным критериям для дальнейшей обработки с помощью специализированных программ.

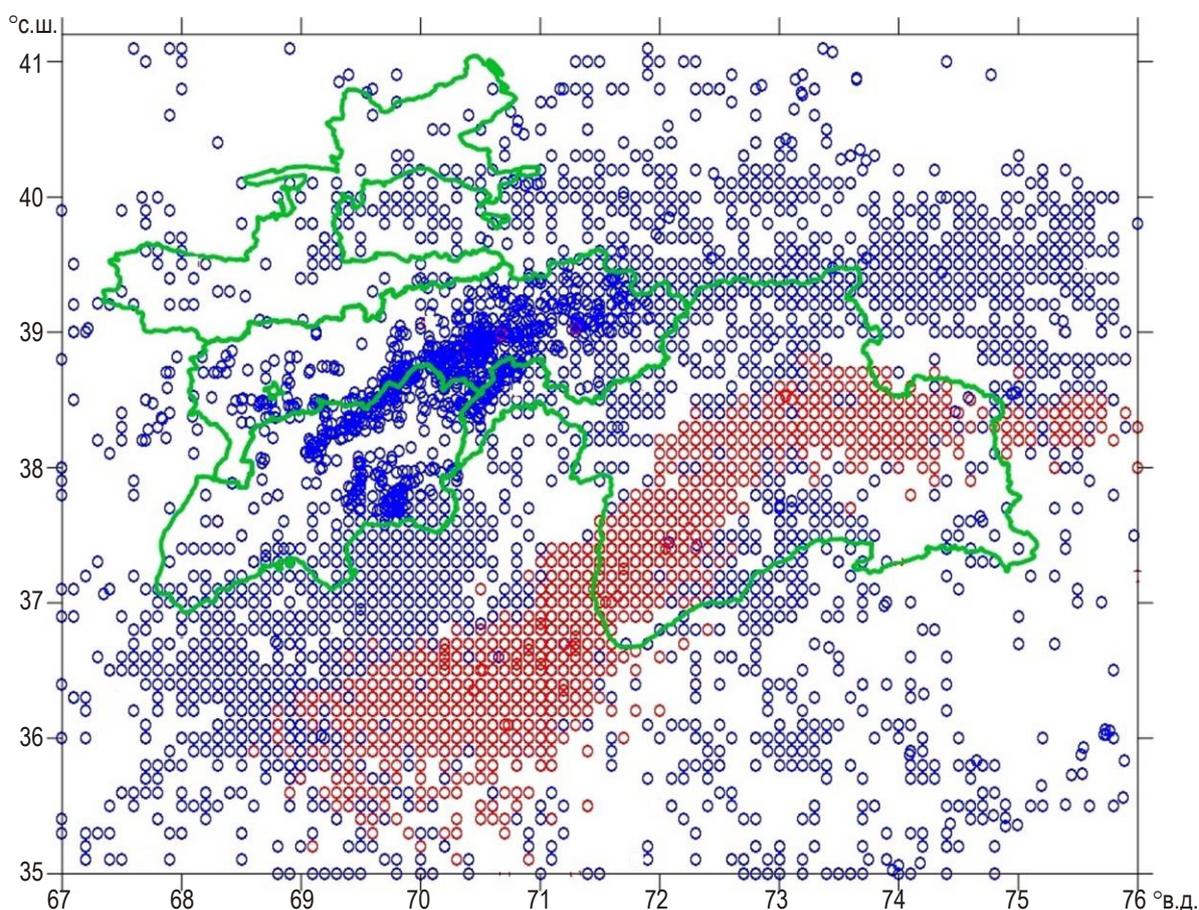
В базе данных в качестве основных характеристик землетрясений рассматриваются время возникновения, координаты очага и энергетический класс; остальные параметры (класс точности и др.) отнесены к дополнительным сведениям, которые представлены не для всех записей. Сформированная база данных и специально созданное математическое обеспечение позволяют осуществлять идентификацию афтершоковых последовательностей по алгоритму Молчан–Дмитриевой [1991] с использованием программы, разработанной В.Б. Смирновым [1997].

В созданный авторами сводный каталог включены землетрясения за период 1962–2008 гг. с энергетическим классом  $K \geq 7$  ( $M=1.7$  или  $m_b \geq 3.4$ ). В республиках Средней Азии, в отличие от общепринятой магнитудной классификации [Gutenberg, Richter, 1956], используется иная система оценки силы землетрясений, которая изначально была разработана Т.Г. Раутиан для Гармского полигона [Бунэ и др., 1960; Раутиан, 1960]. В этой системе сила землетрясений оценивается в энергетических классах, определяемых как  $K = \lg E$ , где  $E$  – сейсмическая энергия землетрясения, Дж. Автором шкалы энергетических классов была установлена взаимосвязь между величиной  $K$  и магнитудой землетрясения  $M$  в виде  $K = \lg E = 4 + 1.8M$ . Это соотношение использовалось авторами статьи на стадии формирования каталога при необходимости перевода магнитуды в энергетический класс.

В дальнейшем для краткости созданная авторами база данных будет именоваться Сводный каталог землетрясений Таджикистана (СКЗТ).

### Пространственное распределение сейсмичности Таджикистана

На территории Таджикистана коровые землетрясения наиболее часто возникают в Душанбинско-Вахшском районе, расположенном в центральной части республики. Пространственное распределение эпицентров всех вошедших в СКЗТ событий с  $K > 10$  показано на рис. 1. Надо отметить, что представленная схема хорошо согласуется с картой эпицентров землетрясений Памиро-Гиндукушской зоны, Южного Тянь-Шаня и Таджикской депрессии, на которой, кроме сравнительно слабых землетрясений (с  $K \geq 9$ ), представлены все известные исторические события за период с 1490 по 2003 г. с магнитудами  $M = 4.3 - 7.8$  [Губин, 1960; Бабаев, Ицук, Негматуллаев, 2008]. Эта согласованность позволяет утверждать, что пространственная структура сейсмичности по данным каталога СКЗТ в целом верно описывает проявление сейсмогенных структур на рассматриваемой территории.



**Рис. 1.** Схема пространственного распределения эпицентров коровых ( $h < 70$  км, синие кружки) и мантийных ( $h \geq 70$  км, красные) землетрясений Таджикистана с  $K \geq 10$  за 1962–2008 гг. по данным СКЗТ. Зеленые кривые – государственная граница Республики Таджикистан и внутренние административные границы

Авторами было проанализировано также распределение гипоцентров землетрясений по глубине с шагом 10 км (рис. 2). На приведенной гистограмме хорошо виден минимум в интервале глубин 40–60 км, который можно трактовать как зону раздела коровых и мантийных событий.

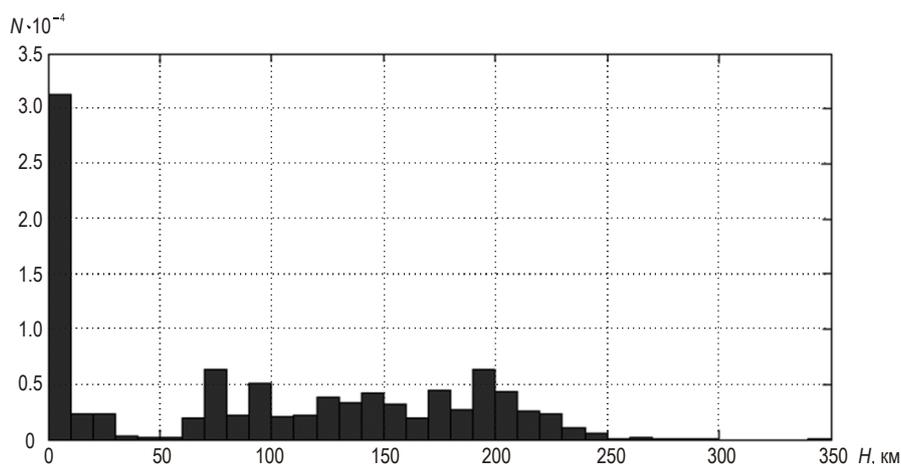


Рис 2. Распределение числа землетрясений ( $N$ ) по глубине по данным каталога СКЗТ

Землетрясения в земной коре сосредоточены в основном на глубинах 0–20 км, а мантийные землетрясения Памиро-Гиндукушской зоны – 70–250 км с двумя максимумами на 80–100 км и на 190–210 км. Самые мощные (вплоть до  $K=17$  или  $M=7.2$ ) единичные землетрясения Памиро-Гиндукушской зоны приурочены к глубинам 200–250 км. Эпицентральная зона глубокофокусных землетрясений представляет собой полосу шириной около 100 км и протяженностью ~600 км (см. рис. 1).

Приведенные общие сведения о пространственном распределении глубоких мантийных землетрясений Памиро-Гиндукушской зоны согласуются с результатами ее детальных исследований, представленными в [Лукк, Нерсесов, 1970].

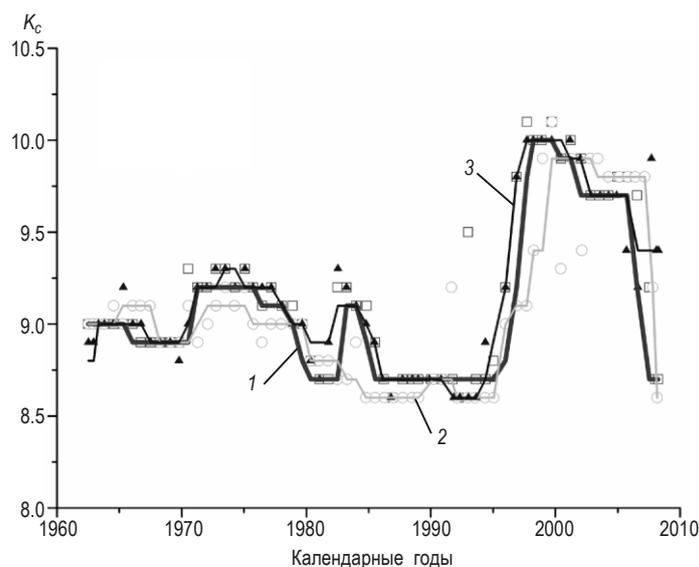
### Представительный энергетический класс каталогов

Количественное описание сейсмического режима требует сравнительного анализа сейсмичности разных районов в разные интервалы времени. При этом следует учитывать степень однородности исходных данных. Сейсмическая сеть, как и всякий инструмент для наблюдения природных процессов, обладает рядом свойств, определяющих представительность получаемых данных. В первую очередь к этим свойствам относится чувствительность сейсмической сети, которая характеризуется представительным энергетическим классом – минимальным классом землетрясений, регистрируемых без пропусков в некоторой области. Составители каталогов редко приводят сведения об их представительности, поэтому анализ пространственно-временного распределения представительного класса, как правило, составляет самостоятельную задачу первичного анализа сейсмологических данных.

Для оценки вариаций величины представительного класса применялся разработанный В.Ф. Писаренко статистический алгоритм [Писаренко, 1989; Садовский, Писаренко, 1991], методика реализации которого и соответствующее программное обеспечение подробно описаны в [Смирнов, 2009]. Ранее эта методика была протестирована на нескольких региональных каталогах [Смирнов, 1997; Смирнов, Габсатарова, 2000].

Предварительно каталог очищался от афтершоков, которые идентифицировались по методу Молчана–Дмитриевой [Молчан, Дмитриева, 1991; Molchan, Dmitrieva, 1992] с использованием программы, разработанной В.Б. Смирновым [2009].

Вариации представительного класса во времени для каталога СКЗТ за 1962–2008 гг. представлены на рис. 3. Как и следовало ожидать, каталог по своей представительности неоднороден во времени. При этом вариации  $K_c$  коровых ( $h < 70$  км) и глубоких



**Рис. 3.** Вариации представительного класса во времени для Сводного каталога землетрясений Таджикистана (СКЗТ) за 1962–2008 гг. Представлены значения  $K_c$ , рассчитанные по всему каталогу (кривая 1, квадраты) и отдельно для коровых (кривая 2, кружки) и глубоких мантийных (кривая 3, треугольники) землетрясений

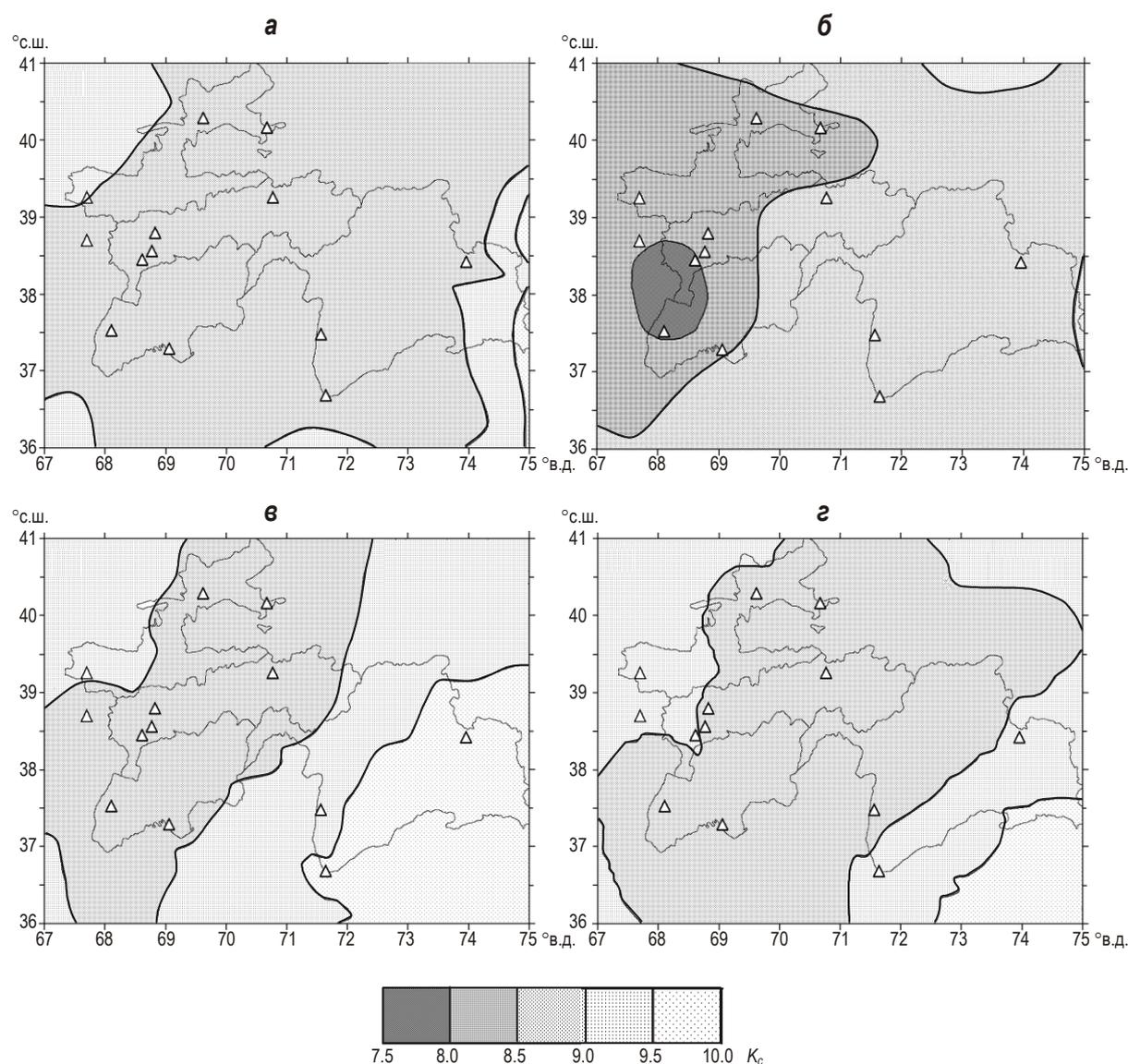
мантийных ( $h \geq 70$  км) землетрясений происходят синхронно, а их величины близки друг к другу.

Поскольку представительный класс отражает чувствительность сейсмической сети региона, его изменения во времени демонстрируют ее развитие и деградацию. Так, резкое увеличение величины  $K_c$  в 1996–2006 гг. связано с ухудшением условий регистрации в связи с прекращением функционирования многих сейсмостанций, устареванием оборудования, слабого финансового обеспечения работы станций и потерей кадров в период распада СССР. Отметим, что подобные результаты известны и для других сейсмических сетей [Смирнов, 1997].

По поведению вариаций представительного класса СКЗТ (см. рис. 3) могут быть выделены характерные временные интервалы. В 1962–1986 гг. среднее значение  $K_c$  составляет около 9; в 1987–1995 гг. отмечено минимальное для всего рассматриваемого периода значение  $K_c = 8.6$  (среднее значение около 8.7). Как было указано выше, в 1996–2006 гг. представительный класс резко увеличился до  $K_c = 10$ . В 2007–2008 гг. значения  $K_c$  существенно уменьшаются.

Естественно, что наилучшей представительностью сейсмических данных характеризуется второй из названных временных интервалов – 1987–1995 гг., который соответствует наиболее высокой плотности сейсмической сети Средней Азии, достигнутой в процессе ее развития в предшествующие годы (см. таблицу). Причины резкого ухудшения представительности сейсмических данных в 1996–2006 гг. были отмечены выше.

Для каждого из четырех интервалов были построены карты пространственного распределения оценок представительного класса (рис. 4), которые позволяют проследить, как в зависимости от величины  $K_c$  меняются размеры и положение области наилучшей представительности. Наиболее полное представительное покрытие реализовалось в 1987–1995 гг. (рис. 4, б) – обширная область наилучшей представительности с  $K_c = 8.3$ –8.4 располагается на западе рассматриваемой территории, соответствуя Южно-Тянь-Шаню и Таджикской депрессии. Внутри этой области выделяется “пятно” с максимальной представительностью, обусловленной плотной сетью сейсмостанций в Таджикской депрессии.



**Рис. 4.** Пространственные вариации представительного класса  $K_c$  Сводного каталога землетрясений Таджикистана (СКЗТ) за 1962–2008 гг. для разных временных интервалов наблюдений: *а* – 1962–1986 гг.; *б* – 1987–1995 гг.; *в* – 1996–2006 гг.; *з* – 2007–2008 гг.

Утолщенные линии – границы зон с разным значением  $K_c$ ; более тонкие – границы Республики Таджикистан и административных образований; треугольники – сейсмические станции

В последующие годы область наилучшей представительности существенно сокращается (рис. 4, *в*, *з*). Так, на территории Памира представительный класс увеличился с 8.5 до 9.5 в связи с закрытием высокочувствительных сейсмостанций Мургаб и Ишканим, обеспечивавших в предыдущую эпоху представительную регистрацию землетрясений на одну и две единицы меньшего класса (землетрясения на один-два порядка меньших энергий) не только на территории Памира, но и за её пределами.

Прослеженные этапы изменения представительного класса во времени и пространстве соответствуют этапам изменения сейсмической сети (см. таблицу). Увеличение во времени представительного класса в 1993–2005 гг. (см. рис. 3) и уменьшение пространственной области представительной регистрации (см. рис. 4, *в*) – следствие массового закрытия сейсмических станций: в этот период были закрыты станции Обигарм,

Гарм, Джиргаталь, Карасу, Чусал, Ялдымыч, Тавильдора, Джафр, Чуянгарон, Больджуан, Калайдашт, Регар, Хай, Чильдора, Ура-Тюбе, Игрон, Чорсады, Комароу, Кангурт, Пештава, Комсомолабад, Арджинак, Офтобруй, Деонасу, Ишкашим.

Заметное улучшение представительности регистрации землетрясений Таджикистана и сопредельных территорий после 2006 г. (см. рис. 3, рис. 4, з) обусловлено созданием на территории республики новой сети цифровых сейсмических станций – данные СКЗТ после 2005 г. основаны на записях семи цифровых сейсмических станций и только одной аналоговой [Землетрясения..., 2014]. Сейсмическая сеть Таджикистана после деградации в 1993–2005 гг. вновь возвращается по уровню представительности к состоянию, в котором она была в свои лучшие годы (1987–1995 гг.).

Это позволяет надеяться на возможность дальнейшего полноценного использования регионального каталога землетрясений для получения детальных оценок сейсмического режима и углубленного анализа сейсмической опасности на территории Таджикистана. В то же время следует заметить, что существующая сеть сейсмических наблюдений нуждается в оснащении современной цифровой аппаратурой для ее модернизации и расширения.

Результаты настоящей работы свидетельствуют, что использованная авторами методика может быть применена для мониторинга представительности каталога в реальном времени по мере поступления новых данных. Это будет способствовать выявлению зон с недостаточной чувствительностью сети, в которых требуется установка дополнительных станций для получения качественного экспериментального материала.

### Заключение

Составленный авторами настоящей работы Сводный каталог землетрясений Таджикистана (СКЗТ) неоднороден во времени и пространстве по величине представительного класса землетрясений, что естественно для каталогов, основанных на данных сейсмических сетей, претерпевавших изменение аппаратурного парка, геометрии сети и ее плотности.

Использованные статистические методы первичного анализа данных сейсмического каталога позволили получить оценки представительного класса каталога  $K_c$  в разные интервалы времени и в разных областях. Анализ пространственно-временных изменений представительного класса показал, что они отражают процессы развития и деградации сейсмической сети.

Полученные результаты могут быть востребованы при изучении различных аспектов сейсмичности Таджикистана.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках и при финансовой поддержке стипендиальной программы фонда Ага-Хана (*Aga-Khan Scholarship Program*) и программы Сотрудничества Университета Центральной Азии (*University of Central Asia / Mountain Societies Research Institute*).

### Литература

- Бабаев А.М., Ицук А.Р., Негматуллаев С.Х. Сейсмические условия территории Таджикистана. Душанбе, 2008. 60 с.
- Бегиев Б.Б., Нечаев В.А. Инженерно-сейсмометрическая служба г. Душанбе за 1967–1970 гг. Душанбе: Изд-во “Дониш”, 1971. 73 с.

- Бунэ В.И., Гзовский М.Б., Запольский К.К. Методы детального изучения сейсмичности // Труды ИФЗ АН СССР. 1960. № 9(176). С.162–191.
- Гамбурцев А.Г., Гамбурцева Н.Г. Григорий Александрович Гамбурцев (1903–1955 гг.). М.: Наука, 2003. 300 с.
- Губин И.В. Закономерности сейсмических проявлений на территории Таджикистана. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 465 с.
- Землетрясения в СССР в 1969 году. М.: Наука, 1972. 127 с.
- Землетрясения в СССР в 1981 году. М.: Наука, 1984. 131 с.
- Землетрясения в СССР в 1990 году. М.: Наука, 1990. 130 с.
- Землетрясения северной Евразии в 1994 г. Обнинск: ГС РАН, 2000. 306 с.
- Землетрясения северной Евразии в 1995 г. Обнинск: ГС РАН, 2001. 386 с.
- Землетрясения северной Евразии в 1996 г. Обнинск: ГС РАН, 2002. 380 с.
- Землетрясения северной Евразии в 1997 г. Обнинск: ГС РАН, 2003. 279 с.
- Землетрясения северной Евразии в 1998 г. Обнинск: ГС РАН, 2004. 267 с.
- Землетрясения северной Евразии в 1999 г. Обнинск: ГС РАН, 2005. 368 с.
- Землетрясения северной Евразии в 2000 г. Обнинск: ГС РАН, 2006. 376 с.
- Землетрясения северной Евразии в 2001 г. Обнинск: ГС РАН, 2007. 490 с.
- Землетрясения северной Евразии в 2002 г. Обнинск: ГС РАН, 2008. 428 с.
- Землетрясения северной Евразии в 2003 г. Обнинск: ГС РАН, 2009. 434 с.
- Землетрясения северной Евразии в 2004 г. Обнинск: ГС РАН, 2010. 490 с.
- Землетрясения северной Евразии в 2005 г. Обнинск: ГС РАН, 2011. 491 с.
- Землетрясения северной Евразии в 2006 г. Обнинск: ГС РАН, 2012. 503 с.
- Землетрясения северной Евразии в 2007 г. Обнинск: ГС РАН, 2013. 505 с.
- Землетрясения северной Евразии в 2008 г. Обнинск: ГС РАН, 2014. 519 с.
- Кондорская Н.В. Организация сейсмологических наблюдений // Проблемы геофизики Средней Азии и Казахстана. М., 1967. С.13–19.
- Кондорская Н.В., Федорова И.В. Сейсмические станции единой сейсмических наблюдений СССР на 01.01.1990 г. М.: ИФЗ РАН, 1996. 36 с.
- Лукк А.А., Нерсесов И.Л. Глубокие Памиро-Гиндукушские землетрясения // Землетрясения в СССР в 1966 году. М.: Наука, 1970. С.118–132.
- Лукк А.А., Попандопуло Г.А. Надёжность определения параметров распределения Гуттенберга–Рихтера для слабых землетрясений Гармского района в Таджикистане // Физика Земли. 2012. № 9-10. С.31–55.
- Молчан Г.М., Дмитриева О.Е. Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // Вычислительная сейсмология. 1991. Вып. 24. С.19–50.
- Ниязов Д.Б. История развития сейсмологии и сейсмостойкого строительства в Таджикистане в XX веке: Автореф. дис. ... канд. истор. наук. Душанбе, 2005. (Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat <http://www.dissercat.com/content/istoriya-razvitiya-seismologii-i-seismostoikogo-stroitelstva-v-tadzhikistane-v-xx-veke#ixzz3aHmwPtv1>)
- Писаренко В.Ф. О законе повторяемости землетрясений. Дискретные свойства геофизической среды. М.: Наука, 1989. С.47–60.
- Раутиан Т.Г. Энергия землетрясения // Методы детального изучения сейсмичности. М.: АН СССР, 1960. С.75–114. (Тр. ИФЗ АН СССР; № 9(176)).
- Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
- Ризниченко Ю.В. Сейсмическая активность и энергия максимальных землетрясений // Проблемы геофизики Средней Азии и Казахстан. М., 1967. С.36–51.
- Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 96 с.
- Смирнов В.Б. Опыт оценки представительности данных каталогов землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1997. № 4. С.93–105.
- Смирнов В.Б. Прогностические аномалии сейсмического режима. Методические основы подготовки исходных данных // Геофизические исследования. 2009. Т. 10, № 2. С.7–22.

Смирнов В.Б., Габсатарова И.П. Представительность каталога землетрясений Северного Кавказа: расчетные данные и статистические оценки // Вестник ОГТГГН РАН. 2000. № 4. С.83–95.

Шозиёев Ш.П., Каримов Ф.Х., Саломов Н.Г., Улубиева Т.Р. Различия в распределениях гипоцентров землетрясений южного Тянь-Шаня, Таджикской Депрессии, Памира и Гиндукуша // Тезисы докладов V Международного симпозиума “Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов”, г. Бишкек, 19–24 июня 2011 г. Т. 1. С.120–124.

Molchan G.M., Dmitrieva O.E. Aftershock identification: methods and new approaches // *Geophys. J. Int.* 1992. V. 109. P.501–516.

#### Сведения об авторах

**ШОЗИЁЕВ Шокарим Парвонашович** – аспирант, Физический факультет Московского государственного университета. 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, д. 1, стр. 2. Тел.: +7(925) 170-79-54; Хорогский государственный университет (ХоГУ), Таджикистан, ГБАО, 735140, ул. Ленина, д. 37. E-mail: shokarim@mail.ru

**АЙДАРОВ Фарух Акбаршович** – аспирант, физический факультет Московского государственного университета. 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, д. 1, стр. 2; Хорогский государственный университет (ХоГУ), Таджикистан, ГБАО, 735140, ул. Ленина, д. 37. E-mail: afarukh-rj83@mail.ru

**СМИРНОВ Владимир Борисович** – доцент, Физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, д. 1, стр. 2; ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 8(903) 708-46-89. E-mail: vs60@mail.ru

## ON THE COMPLETENESS OF THE CONSOLIDATED EARTHQUAKE CATALOGUE FOR TAJIKISTAN

Sh.P. Shoziyoev<sup>1,2</sup>, F.A Aidarov<sup>1,2</sup>, V.B. Smirnov<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *Khorog State University, Khorog, Tajikistan*

<sup>3</sup> *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**Abstract.** The consolidated digital catalogue of earthquakes for Tajikistan and adjacent territories was compiled using different published data sources. The regional seismic network consisted of different sets of seismic stations during the decades of observations that resulted in the heterogeneity of completeness and resolution of data in the seismic catalogue. The statistical estimation was carried out for the representative magnitude and variations of the network in time and space. The results obtained can be used in the further analysis of seismicity of Tajikistan.

**Keywords:** Tajikistan, earthquakes, Consolidated Catalogue of Earthquakes for Tajikistan, representative magnitude.

#### References

Babaev A. M, Ischuk A. R., and Negmatullayev S. H. *Seismicheskie usloviya territorii Tajikistana* (Seismic conditions in territory of Tajikistan) Dushanbe, 2008 (in Russ).

- Begiev B. B. and Nechaev.V.A. *Inzhenerno-seismometricheskaya slujba goroda Dushanbe za 1967-1970 g.* (Engineering seismometric service for Dushanbe in 1967-1970), Dushanbe: Donish, 1971 (in Russ).
- Bune V.I., Gzovskii M.B., and Zapolskiy K.K. *Metody detalnogo izucheniya seismichnosti* (Methods of detailed study of seismicity), *Proc. IPE, AS USSR*, 1960, no 9(176), pp. 162-191 (in Russ).
- Gamburtsev A .G. and Gamburtseva N.G. *Grigoriy Aleksandrovich Gamburtsev (1903-1955)*. Moscow: Nauka, 2003 (in Russ).
- Gubin, I. V. *Zakonomernost seismicheskikh proyavleniy na territorii Tajikistan* (Regularities of seismicity on the territory of Tajikistan), Moscow: AN SSSR, 1960 (in Russ).
- Zemletryaseniya v SSSR v 1969* (Earthquakes in the USSR in 1969), Moscow: Nauka, 1972 (in Russ).
- Zemletryaseniya v SSSR v 1981* (Earthquakes in the USSR in 1981), Moscow: Nauka, 1984 (in Russ).
- Zemletryaseniya v SSSR v 1990* (Earthquakes in the USSR in 1990), Moscow: Nauka, 1990 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 1994* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 1994), Obninsk: GS RAS, 2000 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 1995* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 1995), Obninsk: GS RAS, 2001 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 1996* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 1996), Obninsk: GS RAS, 2002 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 1997* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 1997), Obninsk: GS RAS, 2003 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 1998* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 1998), Obninsk: GS RAS, 2004 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 1999* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 1999), Obninsk: GS RAS, 2005 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 2000* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 2000), Obninsk: GS RAS, 2006 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 2001* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 2001), Obninsk: GS RAS, 2007 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 2002* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 2002), Obninsk: GS RAS, 2008 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 2003* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 2003), Obninsk: GS RAS, 2009 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 2004* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 2004), Obninsk: GS RAS, 2010 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 2005* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 2005), Obninsk: GS RAS, 2011 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 2006* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 2006), Obninsk: GS RAS, 2012 (in Russ).
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 2007* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 2007), Obninsk: GS RAS, 2013. (in Russ)
- Zemletryaseniya severnoy Evrazii v 2008* (Earthquakes of the Northern Eurasia in 2008), Obninsk: GS RAS, 2014 (in Russ).
- Kondorskaya N. V. The organization of seismological observations, *Problemi geofiziki Sredney Azii i Kazakhistana* (Problems of geophysics of Central Asia and Kazakhstan), Moscow, 1967. p. 13-19 (in Russ).

- Kondorskaya N.V. and Fyodorova I.V. *Seismicheskie stantsii edinoj seismicheskix nabludeniy SSSR na 01.01.1990* (Seismic stations of the unified seismic observations of the USSR on 01.01.1990), Moscow: IPE RAS, 1996 (in Russ).
- Lukk A.A. and Nersesov I.L. Deep Pamir-Hindu Kush earthquakes, *Zemletryaseniya v SSSR v 1966* (Earthquakes in USSR in 1966), Moscow: Science, 1970, pp.118-132 (in Russ).
- Lukk A. A. and Popandopoulos G.A., Reliability of Determining the Parameters of Gutenberg–Richter Distribution for Weak Earthquakes in Garm, Tajikistan, *Izv. Phys. Solid Earth*, 2012, vol. 48, no 9–10, pp.698–720.
- Molchan G.M. and Dmitrieva O.E., Identification of the aftershocks: a review and new approaches, *Comput. Seismol.*, 1991. vol. 24. pp.19-50.
- Molchan G.M. and Dmitrieva O.E. Aftershock identification: methods and new approaches, *Geophys. J. Int.*, 1992, vol. 109, pp.501–516.
- Niyazov J.B. *Istoriya razvitiya seismologii i seimostoykogo stroitelstva v Tajikistane v XX veke* (History of Seismology and Earthquake Engineering in Tajikistan in the XX Century), Abstract of the candidate dissertation, Dushanbe, 2005, <http://www.dissercat.com/content/istoriya-razvitiya-seismologii-i-seimostoikogo-stroitelstva-v-tadzhikistane-v-xx-veke#ixzz3aHmwPtv1>
- Pisarenko V.F. *O zakone povtoryaemosti zemletryaseny. Diskretnye svoystva geofizicheskoy sredi* (About earthquake recurrence law. Discrete geophysical properties of the medium), Moscow: Nauka, 1989 (in Russ).
- Rautian T.G. Energy of Earthquakes, *Metody detalnogo izucheniya seismichnosti* (Methods of detailed study of seismicity). Moscow: AN SSSR, 1960, pp.75-114 (in Russ).
- Riznichenko Y.V. *Problemy seismologii* (Problems of Seismology). Moscow: Nauka, 1985 (in Russ).
- Riznichenko Y. *Seismicheskaya aktivnost i energiya maksimalnyh zemletryaseny* (Seismic activity and energy of the maximum earthquake), Problems of geophysics of Central Asia and Kazakhstan. Moscow: Nauka, 1967 (in Russ).
- Sadowski M.A. and Pisarenko V.F. *Seismicheskie protsessy v blokovoy srede* (Seismic process in the block medium), Moscow: Nauka, 1991 (in Russ).
- Sadovskiy i razvitie geofizicheskikh issledovaniy v Tajikistane* (Sadovskiy and development of geophysical studies in Tajikistan), Dushanbe, 2004 (in Russ).
- Smirnov V.B. Experience of estimating the completeness of earthquake catalogues, *Vocanol. Seismol.*, 1997, no. 4, pp. 93-105.
- Smirnov V.B. Prognostic anomalies of seismic regime. Methods for preparation of original data, *Geophys. Research*, 2009, vol. 10, no. 2. pp.7-22.
- Smirnov V.B. and Gabsatarova I.P. Completeness of the North Caucasian Earthquakes Catalogue: Calculated data and statistical estimates, *Vestnik OGGGGN*, 2000. vol. 14, no 4, pp. 35-41 (in Russ).
- Shoziyoev Sh.P., Karimov F.H., Salomov N.G., Ulubieva T.R. Differences in the distribution of earthquake hypocenters southern Tien-Shan, the Tajik Depression, Pamir and Hindu Kush, *Tezisi dokladov V Mejdunarodnogo simpoziuma "Savremennye problem geodinamiki I geoekologii vnutrikontinentalnich orogenov"* (Abstracts of V International Symposium "Modern Problems of Geodynamics and Geocology inland Orogens"), Bishkek, 19-24 June 2011, vol. 1. pp. 120-124 (in Russ).