

УДК 550.348(574)

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

МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ ЗА 2016-2017 гг.

Аннотация. Приведено краткое описание результатов определений и анализа механизмов очагов 162 землетрясений ($K_R \geq 10.0$) Кыргызстана и прилегающих районов за 2016-2017 гг. Каталог механизмов очагов землетрясений Кыргызстана и Центральной Азии пополнен новыми определениями. Количество «сдвига-надвигового» и «взбросового» типов в очагах исследованных землетрясений доминирует по сравнению с другими типами деформации. Сравнение наших результатов с результатами решений, полученных в различных международных центрах (GCMT, ISC и др.) 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.

2016-2017-ЖЫЛДАГЫ КЫРГЫЗСТАНДА ЖАНА ЧЕКТЕШ БОРБОРДУК АЗИЯДАГЫ ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨРДҮН ФОКОСТУК МЕХАНИЗМДЕРИ

Кыскача мазмуну. 2016-2017-жылдары Кыргызстанда жана ага чектеш аймактарда болгон 162 жер титирөөнүн ($K_R \geq 10.0$) очоктук механизмдерин аныктоонун жана анализдөөнүн жыйынтыктарынын кыскача баяндамасы берилген. Кыргызстандагы жана Борбордук Азиядагы жер титирөө булактарынын механизмдеринин каталогу жаңы аныктамалар менен толукталды. Изилденип жаткан жер титирөөлөрдүн булактарында деформациянын башка түрлөрүнө салыштырмалуу «жылышуу-түртүлүү» жана «силкинүү» түрлөрүнүн саны басымдуулук кылат. Биздин жыйынтыктарыбызды түрдүү эл аралык борборлордун (GCMT, ISC ж) жыйынтыктары менен салыштырганда алар абдан бири-бирине жакын экендигин көрсөттү. Изилденген жер титирөөлөрдүн булактарындагы кысуу чыңалуу октору дагы эле жакын горизонталдык жана жакын меридионалдык багыттарга багытталган.

Негизги сөздөр: жер титирөө, очок механизми, нодалдык тегиздик, каталог, жылышуу вектору, кысуу жана чоюу октору.

FOCAL MECHANISMS OF EARTHQUAKES IN KYRGYZSTAN AND SURROUNDING AREAS IN 2016-2017

Abstract. A brief description of the results of determinations and analysis of focal mechanisms of 162 earthquakes ($K_R \geq 10.0$) in Kyrgyzstan and adjacent areas for 2016-2017 is given. The catalog of earthquake focal mechanisms in Kyrgyzstan and Central Asia has been updated with new determinations. The number of «strike-thrust» and «thrust» types in the sources of the studied earthquakes dominates in comparison with other types of deformation. Comparison of our results with the results of solutions obtained in various international centers (GCMT, ISC, etc.) and different methods showed that they are very close to each other. The compression stress axes in the sources of the studied earthquakes are still oriented in the near-horizontal and near-meridional directions.

Keywords: earthquake, focal mechanism, nodal planes, catalog, sleep vector, axes of compression and tension.

Введение. Изучение механизма очага землетрясения даёт нам возможность определить из инструментальных сейсмических наблюдений следующие три основные характеристики: положение в пространстве нодальных плоскостей, направление подвижки (смещение) по ним и ориентации осей главных напряжений сжатия и растяжения в очаге для каждого индивидуального землетрясения. В качестве исходных данных используют знаки первых вступлений Р-волн, зарегистрированных региональной сетью сейсмических станций. Процесс идентификации первых вступлений Р-волн с учётом особенностей глубинной структуры земной коры региона представляет далеко непростую задачу в региональной сейсмологии, а поиск решения фокальных механизмов землетрясений имеет сложный специфический характер. Поэтому работа по составлению каталога механизма очагов землетрясений любого региона занимает достаточно много времени и практического опыта сотрудников группы сейсмологов-интерпретаторов. Каталог механизмов очагов землетрясений необходим для получения новых сведений о напряжённо-деформированном состоянии земной коры, ответственного за возникновения сильных землетрясений региона. Следует отметить, что массовое определение механизмов очагов землетрясений в Центрально-Азиатском регионе было начато в 1979 г. в централизованном порядке [1]. Настоящая работа продолжает эту традицию в том же направлении. В данной работе основное внимание уделено определению механизмов очагов землетрясений Кыргызстана и прилегающих районов. В результате найдены решения фокальных механизмов для 162 землетрясений ($K_R \geq 10.0$) Кыргызстана и прилегающих районов за 2016 – 2017 гг. и переданы в [2] для наращивания каталога механизмов очагов землетрясений региона. Для некоторых ощутимых и сильных землетрясений в каталоге приведены также дополнительные данные о решениях международных центров, например, GCMT, NEIC, ISC и др.

Механизмы очагов землетрясений Кыргызстана и прилегающих районов за 2016-2017 гг. определены по данным региональной сети сейсмических станций (Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана). Знаки первых смещений в Р-волн, как исходные данные для решения механизма очага, обменивались с соседними государствами в рамках международного обмена сейсмологическими данными. 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 Таджикистана и СУАР КНР. Основные параметры очага (время возникновения, координаты эпицентра, глубина очага, энергетический класс, магнитуда) землетрясений взяты из каталога Центрально-Азиатского региона [3].

Методика и исходные данные. Механизмы очагов землетрясений Центральной Азии определены по известной методике на основе анализа знаков первых вступлений Р-волн [4, 5]. Поиск решения параметров фокального механизма землетрясения производился с помощью компьютерной программы «Source mechanism», адаптированной для условий Тянь-Шаня [6]. В случае сильных землетрясений ($K_R \geq 12.0$) в каталог внесены результаты определения механизмов их очагов, опубликованных в международных центрах GCMT [7], NEIC [8], ISC [9], MOS [10].

Знаки первых вступлений Р-волн сначала собраны от сейсмической станций региона, затем они введены в персональный компьютер. С помощью программы вычислены значения углов выхода сейсмических лучей в зависимости от эпицентральных расстояний и представлена в табличном виде для дальнейшего продолжения расчёта. В определении механизмов очагов в 2016-2017 гг. участвовали данные, в общей сложности, не менее десяти и не более 40 сейсмических станций в зависимости от магнитуды

землетрясения. Известно, что точность определения механизма очага зависит от многих факторов: от расположения и числа сейсмических станций, зарегистрировавших землетрясение, изученности глубинного строения земной коры на пути сейсмического луча от очага до каждой станций и др. Отметим, что учитывались все известные локальные географы и расчёты углов выхода сейсмических лучей из очага. Для определения механизма очага приграничных землетрясений использованы данные сейсмических станций Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана, Китая, а также данные оперативного сейсмологического бюллетеня. Решение механизмов очагов землетрясений региона определялось с точностью А, В и С, т.е. азимут простираения нодальных плоскостей определён с точностью до $\pm 5^\circ$, $\pm 10^\circ$, $\pm 20^\circ$ соответственно.

Результаты. Основными результатами данной статьи является решения фокальных механизмов для 162 землетрясений ($K_R \geq 10.0$) Кыргызстана и прилегающих районов, произошедших за период с 1 января 2016 г. по 31 декабря 2017 г. Эти результаты представлены в виде карты (рисунок 1), которая показывает распределения механизмов очагов землетрясений различного энергетического класса по исследуемой территории. Из рисунка 1 видно, что для землетрясений, произошедших на территории Кыргызстана, практически для всех найдены решения механизмов очагов. Только для некоторых землетрясений южного района (Кок-Шаальская сейсмоактивная зона) из-за малочисленности исходных данных не определены их механизмы. В этом случае в каталог приведены решения фокальных механизмов землетрясений из других источников. Количественное соотношение по определению фокальных механизмов представлены в таблице 1, из которой видно, что ощутимые и сильные землетрясения имеют механизмы почти 100%, а землетрясения с $K_R \geq 10.0$ имеют механизмы более 50%. Это означает, что мы имеем дело с представительными данными.

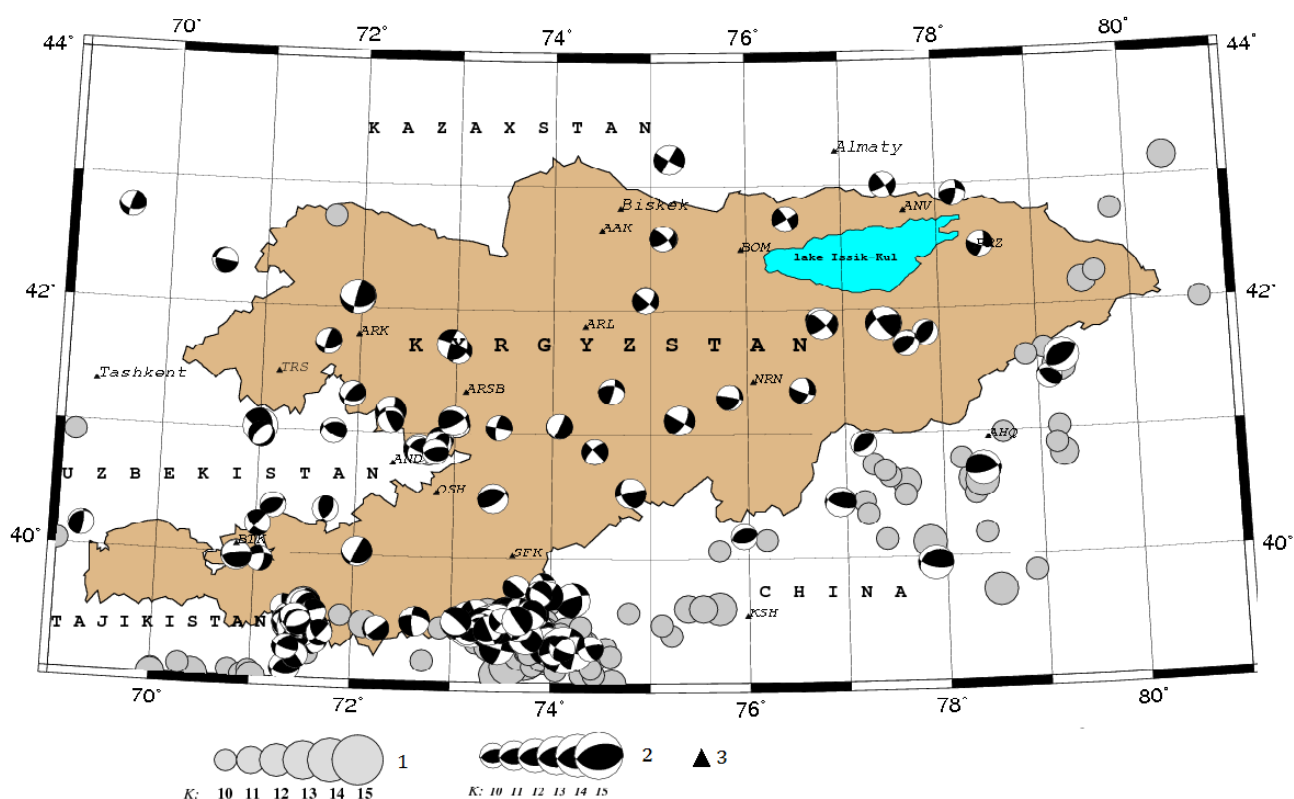


Рисунок 1. Механизмы очагов землетрясений ($K_R \geq 10.0$) Кыргызстана и прилегающих районов в 2016 - 2017 гг. 1 – эпицентры, 2 – диаграммы механизмов очагов, 3 – сейсмическая станция.

Что касается механизма очага землетрясений для Кок-Шаальской зоны численность определения очень мала, потому что данные сейсмических станций КНР отсутствуют. Вследствие высокой сейсмичности этой зоны ежегодное количество землетрясений оказалось больше.

Таблица 1. Количество определения МО землетрясений за 2016-2017 гг.

K_R	10	11	12	13	14	15	Общ.
N	241	73	30	5	2	2	353
n	98	39	18	3	2	2	162
n/N(%)	41%	53%	60%	60%	100%	100%	46%

Примечание: K_R - энергетический класс, N- общее количество землетрясений, n- число землетрясений, для которых определён механизм очага.

Классификация землетрясений по типу подвижек в их очагах за период 2016-2017 гг. показана в виде гистограммы на рисунке 2. В большинстве случаев в очагах исследованных землетрясений происходили подвижки типа «сдвига-надвиг» и «взбросы». Есть и другие типы деформации в очагах произошедших землетрясений. Это, по-видимому, отражает развитие сложной деформационной структуры Тянь-Шаня в условиях близгоризонтального и близмеридионального сжатия.

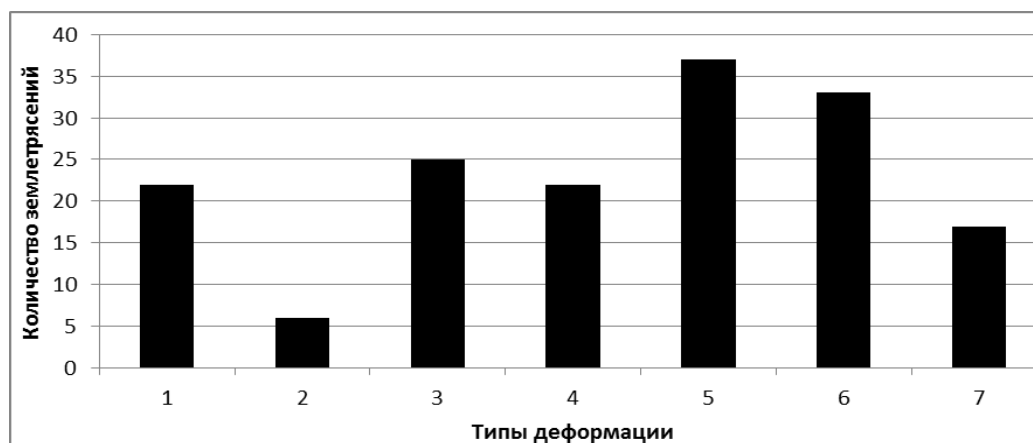


Рисунок 2. Гистограмма распределения землетрясений по типам подвижек в их очагах. 1- сдвиг; 2- сброс; 3- сдвиг-сброс; 4- надвиг; 5- сдвиг-надвиг; 6- взброс по крутой плоскости или сдвиг по пологой плоскости; 7- взброс.

В качестве примера на рисунке 3 показано компьютерное решение фокального механизма землетрясения ($K_R=11.0$) 1 августа 2016 года - в виде стереограммы. Это землетрясение имеет географические координаты $\phi=41^{\circ}43'$; $\lambda=72^{\circ}57'$, время в очаге $t_0=08^h-00^m-10^s$, энергетический класс $K_R=11.0$, глубина $h=20$ км. Ось напряжения сжатия в очаге направлена на северо-восток, азимут 61° и угол составляет 11° . Ось напряжения растяжения направлена на юго-восток, азимут 154° и угол - 15° . Ось промежуточного напряжения ориентирована на северо-запад, азимут 300° и угол - 72° . Азимут простираения первой нодальной плоскости $STK1=288^{\circ}$, угол падения $DP1=87^{\circ}$, угол скольжения $SLIP1=18^{\circ}$. Азимут простираения второй нодальной плоскости $STK2=197^{\circ}$, угол падения $DP2=72^{\circ}$, угол скольжения $SLIP2=177^{\circ}$. Подвижка в очаге землетрясения - «сдвиг» (таблица 2).

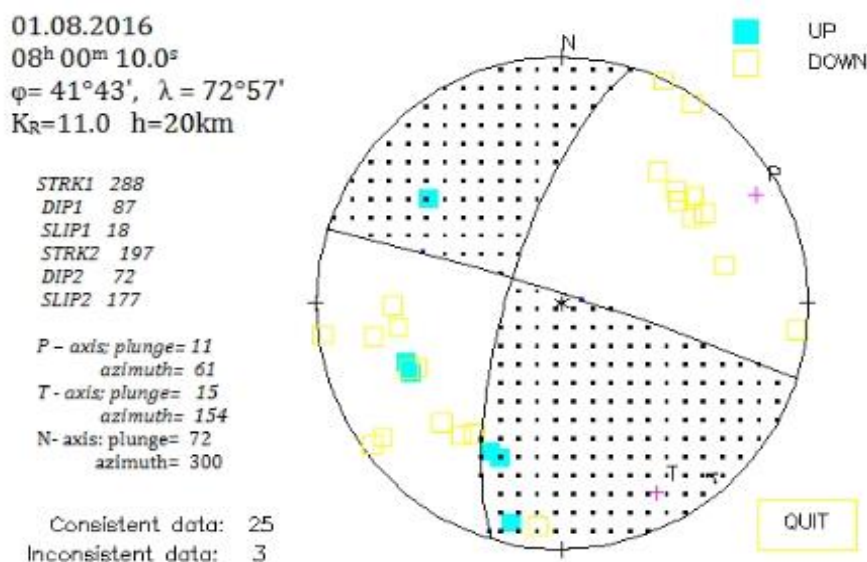


Рисунок 3. Стереограмма механизма очага землетрясения 1 августа 2016 года в проекции нижней полусферы.

Дата и время возникновения, а также параметры фокальных механизмов этого землетрясения приведены в таблице 2. Данные об осях главных напряжений и нодальные плоскости введены в градусах.

Таблица 2. Параметры механизма очага землетрясения 1 августа 2016 г.

дата	время	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
		T		N		P		NP1			NP2		
д м г	ч м	PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
01.08.2016	08-00	15	154	72	300	11	61	288	87	18	197	72	177

На рисунке 4 представлена стереограмма фокального механизма землетрясения 16 мая 2017 г. Это землетрясение произошло в районе Таласо-Ферганского разлома (рисунок 10). Координаты эпицентра: $\varphi=42^{\circ}05'$; $\lambda=71^{\circ}57'$, время в очаге $t_0=09^h-07^m-15^s$, энергетический класс $K_R=12.2$, глубина $h=15$ км. Ось напряжения сжатия в очаге направлена на северо-запад, азимут 318° и угол составляет 32° , ось напряжения растяжения направлена на северо-восток, азимут 78° и угол - 43° . Ось промежуточного напряжения ориентирована на юго-запад, азимут 200° и угол - 30° . Азимут простираения первой нодальной плоскости $STK1=57^{\circ}$, угол падения $DP1=84^{\circ}$, угол скольжения $SLIP1=60^{\circ}$. Азимут простираения второй нодальной плоскости $STK2=97^{\circ}$, угол падения $DP2=30^{\circ}$, угол скольжения $SLIP2=168^{\circ}$. Подвижка в очаге землетрясения - «взброс по крутой плоскости или сдвиг по пологой» (таблица 3).

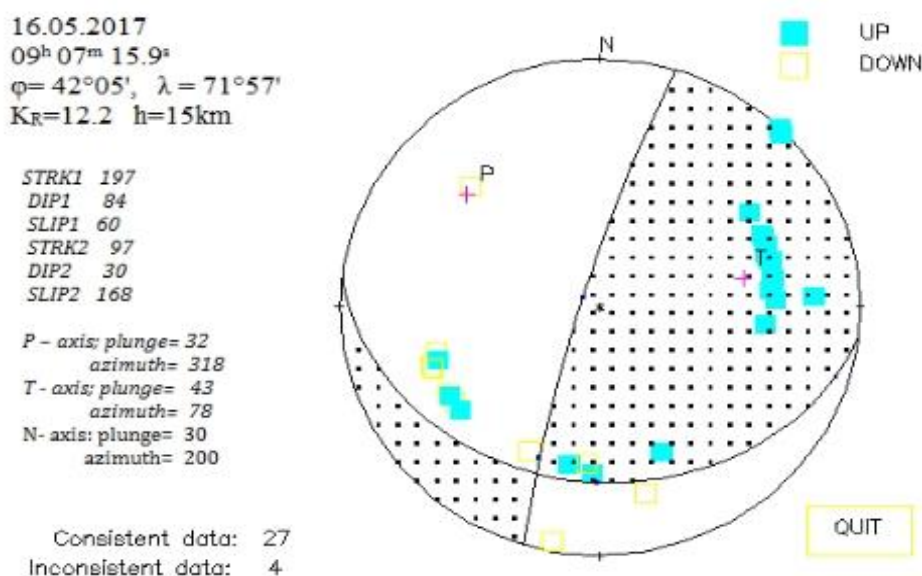


Рисунок 4. Стереограмма механизма очага землетрясения 16 мая 2017 года в проекции нижней полусферы.

Таблица 3. Параметры механизма очага землетрясения 16 мая 2017 г.

дата	время	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
		T		N		P		NP1			NP2		
д м г	ч м	PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
16.05.2017	09-07	43	78	30	200	32	318	197	84	60	97	30	168

Подчеркивая важность научно-практической стороны определения и составления каталога фокальных механизмов землетрясений региона, можно сделать следующие выводы

1. Каталог механизмов очагов Кыргызстана и Центрально-Азиатского региона за 2016-2017 гг. дополнен новыми определениями для 162 землетрясений ($K_R \geq 9.6$). Более 90% землетрясений, очаги которых расположены на территории Кыргызстана имеют механизмы очагов (рисунок 1).
2. Положение нодальных плоскостей в очагах исследованных землетрясений совпадает с положениями основных геологических структур (разломов, хребтов и др.). В очагах исследованных землетрясений Кыргызстана и прилегающих районов в 2016-2017 гг. преобладают «сдвига-надвиговые» типы деформации.
3. Оси напряжения сжатия в очагах исследованных землетрясений ориентированы в близгоризонтальном и близмеридиональном направлении.

Литература

1. Лукк А.А., Юнга С.Л., Шкляр Г.П., Соболева О.В., Леонова В.Г., Абдукадыров А.А., Беленович Т.Я., Власова А.А., Матасова Л.М., Муралиев А.А., Филина Т.А. Сеймотектоническая деформация Средней Азии и Казахстана// Землетрясения Средней Азии и Казахстана, 1979. Изд-во «Дониш», Душанбе. 1981. С.67-99.

2. Муралиев А.М. (отв. составитель), Малдыбаева М.Б., Абдыраева Б.С.(составители) Механизмы очагов землетрясений Кыргызстана за 2016-2017гг.// Землетрясения Северной Евразии – 2016-2017 гг. –Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. Приложение в СД ROM.
3. Каталог землетрясений Центральной Азии за 2016-2017гг. // Землетрясения Северной Евразии. - 2016-2017 гг. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, - Приложение на CD_ROM.
4. Введенская А.В. Определение полей смещений при землетрясениях с помощью теории дислокаций.\\ Изв. Ан СССР. Сер.геофиз. –1956-№3. С.277-284.
5. 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. -192 с.
6. Suetsugu D. Source Mechanism. ISEE, Tsukuba, Japan. 1998. -103 с.
7. The Global CMT Project (GCMT). – New-York, USA. –URL: www.global.cmt.org/CMTsearch.html
8. National Earthquake Information Centre. - URL: <http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>
9. Bulletin of the International Seismological Centre for 2016-2017. – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2015. www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin
10. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2016-2017гг. / Отв. ред. О.Е. Старовойт.Обнинск: ГСРАН,2016- 2017. –URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2016-2017/.

Рецензент: д. ф.-м. н. Токтосопиев А.М.