

УДК 550.34

Алтынбек уулу Т.¹, Муралиев А. М.², Иманалиева П. А.¹¹Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ), г. Бишкек, Кыргызстан²Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

РАЗВИТИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СТАНЦИЙ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ СЕТИ ACROSS В КЫРГЫЗСТАНЕ

Аннотация. В статье приведены основные сведения о функционировании станций сильных движений сети ACROSS (Advanced Remote Sensing – Ground Truth Demo and Test Facilities): её конфигурация, техническое оснащение, методика обработки полученных записей землетрясений, а также основные результаты её работы. Для оценки сейсмической опасности и, как следствие, для снижения высокого сейсмического риска в регионах Кыргызстана, необходимы записи сильных колебаний грунта (акселерограммы). Доступность этих данных в режиме реального времени позволяет включить систему раннего предупреждения (СРП), которая является ценной процедурой быстрого реагирования. СРП о землетрясениях считается практичным и развивающим инструментом снижения сейсмического риска в больших городах с соответствующим уровнем сейсмической опасности. Для этих целей была установлена сеть ACROSS. По настоящее время она технически поддерживается и работает в штатном режиме. Надо отметить, что данная сеть оснащена акселерографами, регистрирующими только ощутимые землетрясения с магнитудой выше 4.0. Сеть сильных движений ACROSS даёт возможность разрабатывать, тестировать и внедрять новые методологии для анализа данных о сильных движениях грунта при ощутимых землетрясениях, а также проводить быструю оценку сотрясения грунта при землетрясении.

Ключевые слова: станции сильных движений, землетрясения, каталог землетрясений, сейсмические приборы, система раннего предупреждения, акселерометр, акселерограмма, пиковые ускорения грунта (PGA).

КЫРГЫЗСТАНДАГЫ ACROSS ТАРМАГЫНЫН КҮЧТҮҮ КЫЙМЫЛ СТАНЦИЯЛАРЫНЫН ӨНҮГҮҮСҮ ЖАНА ИШТЕШИ

Кыскача мазмуну. Бул макалада ACROSS (Advanced Remote Sensing – Ground Truth Demo and Test Facilities) күчтүү кыймыл станцияларынын сейсмикалык тармагы: анын конфигурациясы, техникалык жабдуулары, жер титирөөнү иштетүү методологиясы жана негизги иштөө натыйжалары. Күчтүү жер кыймылдарын жазуу (акселерограммалар) сейсмикалык коркунучту баалоо, Кыргызстандын жана ага жакын аймактардын жер титирөө картасы жана анын иштөөсүнүн негизги натыйжалары сунушталат. Кыргызстандын аймактарында жогорку кооптуу сейсмикалык тобокелдикти азайтуу үчүн акселерограмма түрүндөгү күчтүү жер кыймылынын ишенимдүү сейсмикалык маалыматтары талап кылынат. Реалдуу убакыттагы сейсмикалык маалыматтардын болушу баалуу жана натыйжалуу тез жооп кайтаруу процедурасы болгон эрте эскертүү системасын (ЭЭС) ишке ашырууга мүмкүндүк берет. Жер титирөөлөр боюнча ЭЭС сейсмикалык коркунучу бар ири шаарларда сейсмикалык тобокелдикти азайтуунун натыйжалуу, практикалык жана прогрессивдүү куралы деп эсептелет. ACROSS тармагы ушул максаттар үчүн курулган. Учурда ал кадимкидей тейленип жана иштеп жатат, Кыргыз Республикасынын жана анын чек ара аймактарынын ичиндеги бардык сейсмикалык окуяларды жазып алат. Белгилей кетүүчү нерсе, ал магнитудасы 4,0дон жогору болгон сезилүүчү жер титирөөлөрдү гана жазып

алган акселерографтар менен жабдылган. ACROSS күчтүү кыймыл тармагы Борбордук Азиядагы реалдуу убакыттагы акселерометр тармагын жайылтуу менен ишке ашырылды, бул сезилүүчү жер титирөөлөрдөн алынган күчтүү жер кыймылынын маалыматтарын талдоо үчүн жаңы методологияларды иштеп чыгууга, сыноого жана ишке ашырууга, ошондой эле жер титирөөнү тез баалоого мүмкүндүк берди.

Негизги сөздөр: күчтүү кыймыл станциялары, жер титирөөлөр, жер титирөө каталогу, сейсмикалык аспаптар, эрте эскертүү системасы (ЭЭС), акселерометр, акселерограмма, сейсмикалык толкундардын ылдамдануусу (PGA).

DEVELOPMENT AND OPERATION OF STRONG MOTION STATIONS OF THE ACROSS NETWORK IN KYRGYZSTAN

Abstract. Details of operation of the seismic network of strong motion stations ACROSS (Advanced Remote Sensing – Ground Truth Demo and Test Facilities) are presented in this article, including: its configuration, technical equipment, the methodology for processing the obtained earthquake records, and the main results of its operation. Records of strong ground motions (accelerograms) are required for seismic hazard assessment and as a result to mitigate high-hazard seismic risk in Kyrgyzstan's regions. The availability of this data in real time enables the implementation of an early warning system (EWS), a valuable rapid response procedure. An EWS on earthquakes is considered a practical and progressive tool for seismic risk reduction in large cities with an appropriate level of seismic hazard. The ACROSS network was established for these purposes. It is currently maintained and operating normally. It should be noted that the network is equipped with accelerographs that record only felt earthquakes with a magnitude greater than 4.0. The ACROSS strong motion network enables the development, testing, and implementation of new methodologies for analyzing strong motion data from felt earthquakes, as well as for rapid assessment of ground shaking during an earthquake.

Keywords: strong motion stations, earthquakes, catalog of earthquakes, seismic instruments, early warning system, accelerometer, accelerogram, peak ground acceleration (PGA).

ВВЕДЕНИЕ

Станции сильных движений (ССД) представляют собой особый класс сейсмических приборов (акселерометров), предназначенных для записи без искажений колебаний земной поверхности, возникающих от сильнейших, катастрофических землетрясений [Gusev et al., 1998]. Задачей данной сети является получение локальных данных о сильных движениях грунта и предоставления данных в реальном времени для систем раннего оповещения и быстрого реагирования, а также для оценки сейсмической опасности территории Кыргызстана.

На начало 2009 года в Кыргызстане действовало 8 станций по регистрации сильных и ощутимых землетрясений. Они располагались в наиболее сейсмоактивных районах республики на грунтах различной плотности. В основном в советское время в Кыргызстане для регистрации сильных землетрясений применялись сейсмографы малой чувствительности типа СМТР, акселерографы ССРЗ-М и сейсмоскопы СБМ. Данное оборудование находилось в ждущем режиме и позволяло получать записи сильных землетрясений интенсивностью от 3 до 9 баллов в широком частотном и динамическом диапазонах. Пороги срабатывания СМТР - 2-3 балла, ССРЗ-М – с 6 баллов, а СБМ - с 9 и выше [Чебров и др., 2013]. Записи сильных землетрясений после обработки передавались в архив Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР).

На смену вышеупомянутых станций пришли современные цифровые станции сильных движений. В настоящее время в рамках проекта ACROSS на территории Кыргызской

Республики установлено 18 станций (рисунок 1). Сейсмические данные в режиме реального времени собираются в центры сбора данных ЦАИИЗ и GFZ (г. Потсдам, Германия) [Pittore, 2018]. Сеть станций сильных движений используется для раннего оповещения о землетрясениях г. Бишкек и г. Ош. Это новая система, которая должна выдать оперативные предупреждения сразу после начала землетрясения, предоставляя людям ценные секунды для защиты до того, как начнутся сильные подземные толчки. В данной статье описывается процесс установки станций на территории Кыргызстана, обработки этих данных, а также принцип работы системы раннего оповещения [Молдобеков Б., 2017].

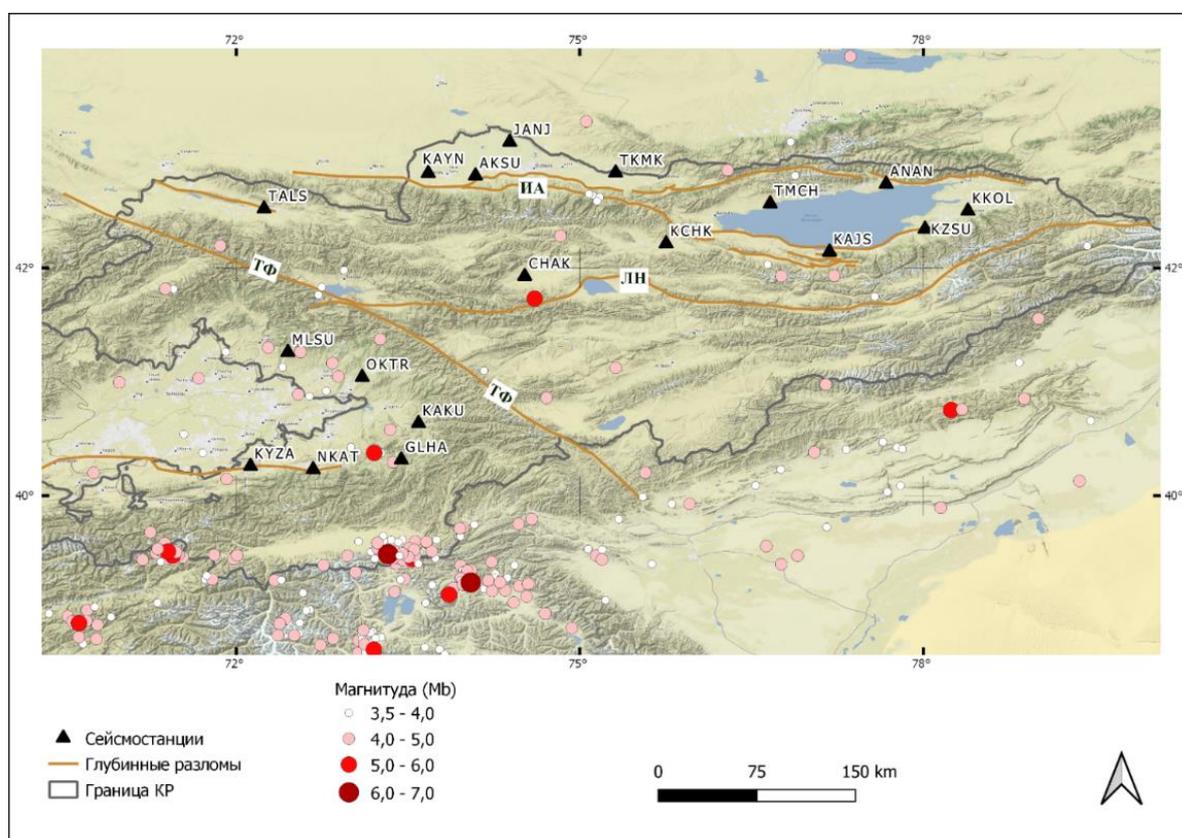


Рисунок 1. Карта эпицентров землетрясений с $M > 4.0$ по данным сети сильных движений ACROSS с 2015 г. по 2025 г.

СЕЙСМОАППАРАТУРА И СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЙ СТАНЦИЙ

Кыргызстан относится к сейсмоопасной зоне, где возможны сейсмические события с интенсивностью (I_0) выше 8 баллов [Иманалиева и др., 2021]. В стране расположены два крупных, густонаселённых города (свыше 1 млн жителей), 29 малых городов, 5 крупных гидроэлектростанций. Поэтому для защиты населения должны соблюдаться меры повышенной сейсмобезопасности [Усупаев и др., 2020].

Сеть ACROSS представляет собой набор из 18 короткопериодных датчиков Titan 4G и 4 скважинных станций, состоящих из акселерометров AC-73-DH (таблица 1). В 2014 году по соглашению о сотрудничестве с Центром исследований Земли им. Гельмгольца (GFZ), г. Потсдам, началась установка станций. Оцифровка данных всех датчиков производится с помощью дигитайзеров Centaur фирмы Nanometrics и многоканальной системой регистрации CR-6 фирмы GeoSIG. Оцифрованные данные передаются в центр обработки с помощью GSM-связи [Молдобеков и др., 2019; Morozov et al., 2025].

Таблица 1 - Параметры станций сети ACROSS.

Код станции	Название станции	Широта в градусах	Долгота в градусах	Абс. высота (м)	Дата установки
AKSU	Ак-Суу	42.81	74.089	781	17.05.2015
ANAN	Ананьево	42.737	77.675	1644	17.05.2015
CHAK	Чаек	41.928	74.518	777	17.05.2015
GLHA	Гулчо	40.317	73.441	1542	01.08.2016
JANJ	Жаны-Жер	43.105	74.388	604	17.05.2015
KAJS	Кажы-Сай	42.141	77.18	1723	17.05.2015
KAKU	Кара-Кулжа	40.636	73.591	1382	01.08.2016
KAYN	Кайынды	42.831	73.676	732	17.05.2015
KCHK	Кочкор	42.213	75.753	1549	17.05.2015
KKOL	Каракол	42.501	78.389	1721	01.07.2015
KYZA	Кызыл-Кия	40.259	72.124	981	01.08.2016
KZSU	Кызыл-Суу	42.342	78.015	1784	17.05.2015
MLSU	Майлы-Суу	41.26	72.451	980	01.08.2016
NKAT	Ноокат	40.232	72.671	1282	01.08.2016
OKTR	Октябрь	41.041	73.1	975	01.08.2016
TALS	Талас	42.52	72.243	1242	17.05.2015
TMCH	Тамчы	42.565	76.662	1617	17.05.2015
TKMK	Токмок	42.836	75.313	766	17.05.2015

Для сохранности оборудования станции сильных движений установлены в пунктах пожарной безопасности при МЧС КР. Для обслуживания станций имеются все необходимые условия, такие как энергообеспечение и охрана территории. Станции оснащены обычной линией электропередачи и в случае отключения электричества питание будет осуществляться при помощи альтернативного источника питания (солнечные батареи и солнечная панель). Сейсмопавильоны для установки станций имеют размер 100 см x 100 см и 150 см в высоту (рисунок 2 (а)).

Для снижения высокочастотных помех и лучшего контакта прибора со скальным основанием на месте установки акселерометра был залит бетонный фундамент, необходимый для монтажа сейсмопавильона с размещением акселерометра. Сейсмопавильон обеспечивает сохранность оборудования и защиту от внешних погодных воздействий. Для поддержания определённой температуры работы акселерометра выполнено термостатирование сейсмопавильона (рисунок 2 (б)).

В качестве датчика используется акселерометр Titan 4G — это трёхкомпонентный акселерометр с балансировкой сил, обеспечивающий исключительную производительность в широком диапазоне частот от постоянного тока до 430 Гц (таблица 2). Он выпущен фирмой Nanometrics в качестве первого акселерометра с цифровым выбором диапазона полной шкалы и возможностью обнуления смещения. Функции акселерометра идеально подходят для труднодоступных или удалённых развертываний, когда необходимо свести к минимуму посещения объектов [Nanometrics Inc., 2014].

Данные акселерометры позволяют регистрировать сейсмические события в диапазоне частот от 1 до 100 Гц.

Для оцифровки аналогового сигнала, получаемого с акселерометра, используется сейсмический регистратор «Centaur» [Разинков и др., 2017], который имеет 24-битное АЦП, характеризующийся низким энергопотреблением, а также широким частотным и динамическим диапазоном. Данные одновременно сохраняются на встроенную flash-память и передаются в центр обработки по протоколу SEEDLink. Синхронизация времени осуществляется при помощи встроенного GPS-приёмника [Федоров и др., 2022]. Основные характеристики регистратора приведены в таблице 3.

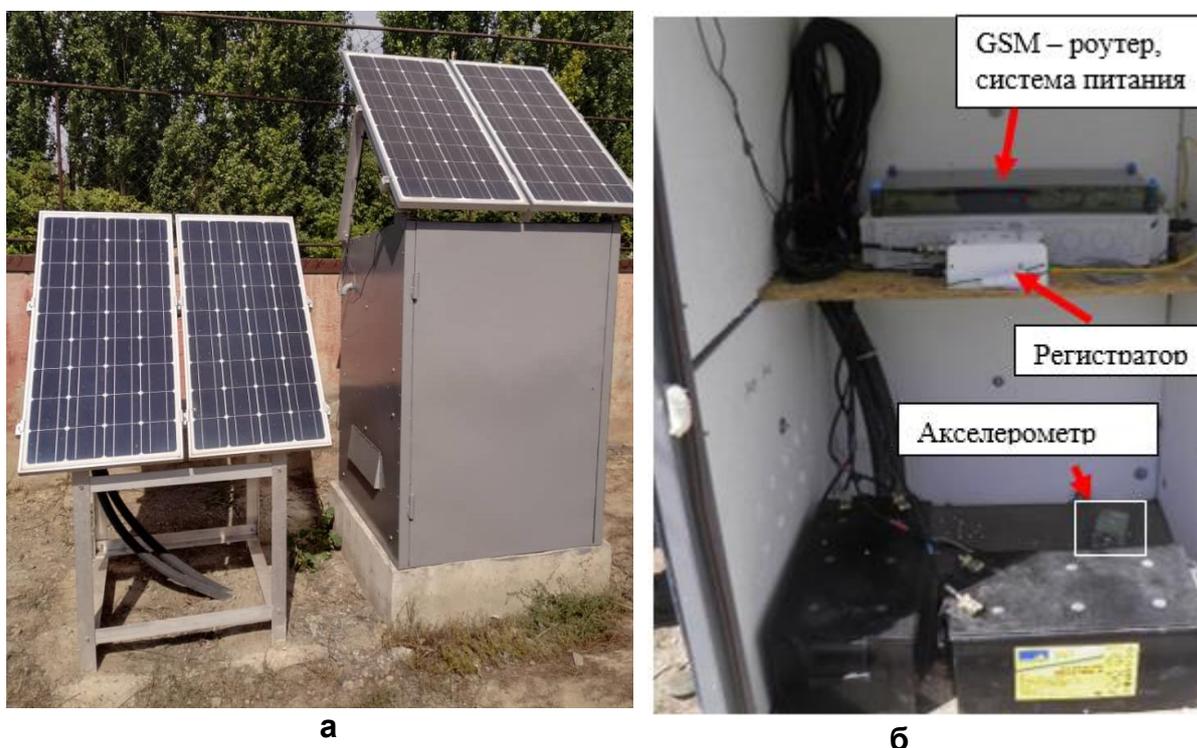


Рисунок 2. (а). Пример станции сильных движений «Кочкор» (КСЧК). (б). Оборудование станции.

Для электропитания всего оборудования используется автономный источник питания, включающий два аккумулятора по 185 А*ч, которые поддерживаются солнечными панелями общей мощностью 100 ватт. Регистратор, источник бесперебойного питания и GSM-роутер для передачи данных расположены внутри сейсмопавильона (рисунки 2 (а, б)).

Таблица 2 - Характеристики трехкомпонентного акселерометра Nanometrics Titan 4G.

Характеристики прибора	Значение
Диапазон рабочих частот (Гц)	до 430 (от постоянного тока)
Диапазон рабочих температур (°C)	от -20 до +60
Динамический диапазон (дБ)	155 (при 3 до 30 Гц)
Масса (кг)	0.96
Напряжение питание (В)	9 – 36 (постоянный ток)
Чувствительность (g)	от $\pm 0.25g$ до $\pm 4g$

Для передачи данных используется роутер фирмы Insys MoRos. В случае потери GSM-связи для обеспечения непрерывной передачи сейсмических записей будет

использоваться альтернативная связь интернет по ADSL¹ каналу, что в свою очередь минимизирует риск потери данных. Для защиты передаваемых данных, а также для получения по необходимости в выделенном IP-адресе на каждую станцию, связь осуществляется путём организации VPN-туннеля между модемом и VPN-сервером ЦАИИЗ (рисунок 3). Такое решение позволяет объединить все станции в единую сеть, что упрощает процесс контроля их работоспособности и получения сейсмических данных [Шаршебаев и др., 2016].

Таблица 3 - Характеристики регистратора Nanometrics Centaur.

Характеристики прибора	Значение
Диапазон рабочих температур (°C)	от -20 до +40
Динамический диапазон (дБ)	142
Количество каналов (шт.)	6
Максимальный объём внутренней памяти (Гб)	32
Масса (кг)	2,2
Напряжение питание (В)	9 – 36 (постоянный ток)
Протоколы обмена данными между IP-адресами	SEEDLink, HTTP, SFTP
Разрядность дигитайзера (бит)	24
Частота дискретизации (Гц)	от 1 до 5000

Сейсмические данные передаются через GSM² канал мобильной сети (рисунок 3) и хранятся на сервере в формате miniSEED, далее по протоколу SEEDLink с регистратора Centaur потоковые данные передаются на SEEDLink-клиент, запущенный на сервере обработки данных. Таким образом, данные, поступающие с сейсмостанции, анализируются в режиме реального времени с помощью программы Presto [Pesaresi, 2017]. Presto производит первичное детектирование событий, предварительную локацию с определением эпицентра землетрясения и формирует электронный бюллетень в текстовом формате. Результаты отображаются в центре данных ЦАИИЗ.

Перед установкой сейсмостанции на обозначенных участках производились исследования уровня сейсмического шума. В результате были выбраны места с минимальными значениями помех естественного и антропогенного происхождения. На рисунке 4 показано сопоставление фонового сейсмического шума по трём компонентам (Z, NS, EW). Использовалась модель низкого NLNM (New Low Noise Model) и высокого NHNM (New High Noise Model) уровня шума [Федоров и др., 2022]. Уровень шума можно выделить по трём интервалам в области средневысотных частот по Z компоненте выше 4 Гц, по компоненте NS выше 6 Гц, по компоненте EW – 5 Гц. На рисунке 4, в качестве примера, представлен результат анализа уровня сейсмического шума станции «Токмок» (ТКМК).

¹ ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) - асимметричная цифровая абонентская линия

² GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальный стандарт мобильной связи

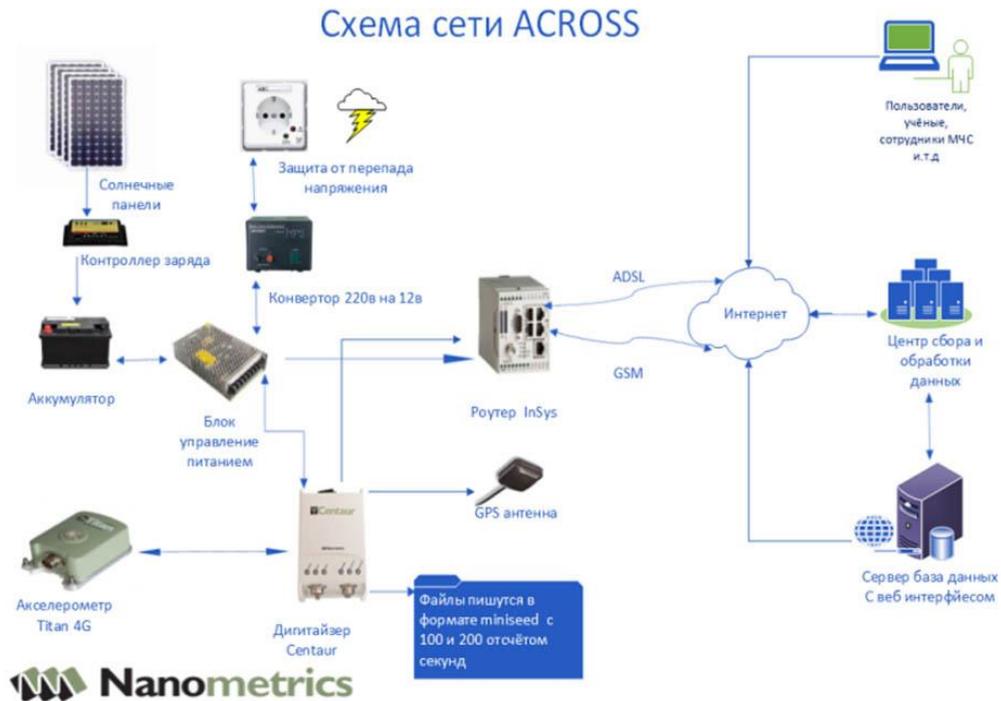


Рисунок 3. Схема передачи данных со станций сети ACROSS на сервер ЦАИИЗ и GFZ [Усупаев и др., 2020].

В диапазоне 0.1 – 4.0 Гц интенсивность спектральной плотности сейсмического шума практически одинакова по всем трём компонентам и, исходя из анализа полученных диаграмм, приходим к выводу, что станция установлена в благоприятной геологической среде для регистрации сейсмических событий.

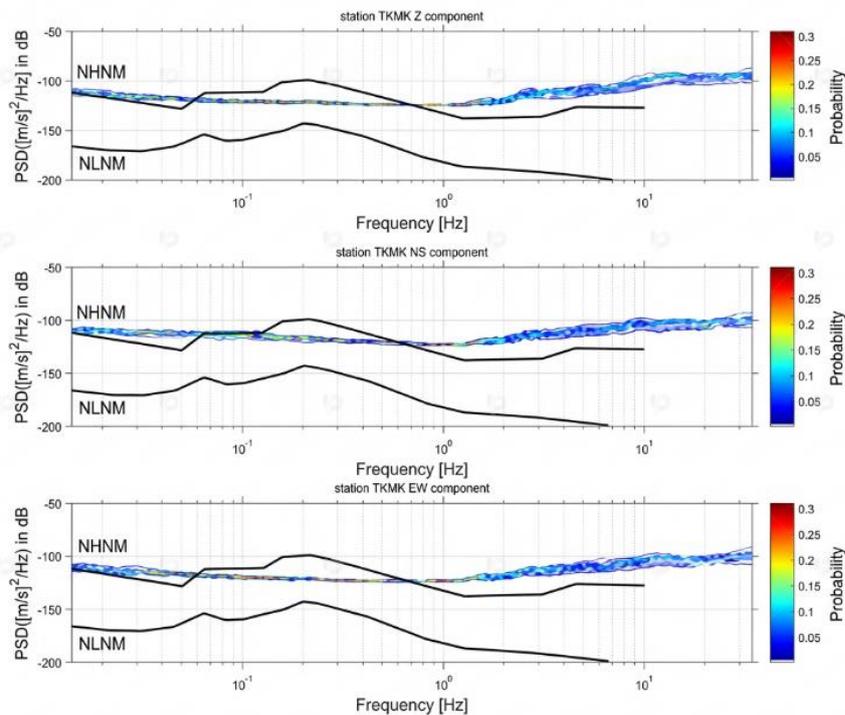


Рисунок 4. Пример анализа уровня сейсмического шума по станции «Токмок» (ТКМК) [Parolai et al., 2017].

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Данная сеть станций сильных движений предназначена для систем раннего предупреждения о землетрясениях (рисунки 5 (а, б)), которые обеспечивают заблаговременное оповещение о предполагаемой сейсмической интенсивности и ожидаемом времени прибытия основного движения при возникновении землетрясения.

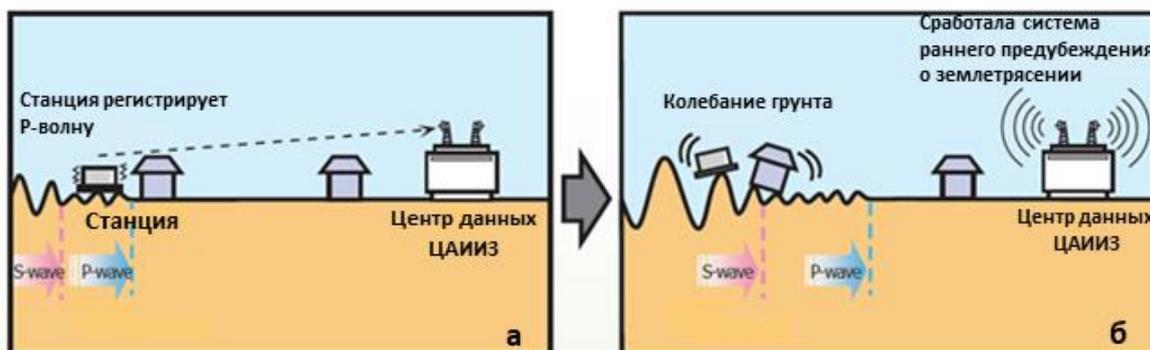


Рисунок 5. (а) Начало регистрации продольной волны (P-wave); (б) схема оповещения о предстоящем сейсмическом событии и прихода поперечной волны (S-wave) [Japan Meteorological Agency. Earthquake Early Warning System, 2007].

Эти оценки основаны на оперативном анализе локации и магнитуды землетрясения с использованием данных волновой формы, полученных с акселерографов вблизи эпицентра (рисунок б), и направлены на исключение или смягчение возможного ущерба, связанного с землетрясением, позволяя принимать контрмеры, такие как быстрое торможение поездов, управление лифтами для избежания опасности, и позволяя людям быстро защитить себя в различных условиях, таких как заводы, офисы, дома вблизи скал [Parolai et al., 2017].

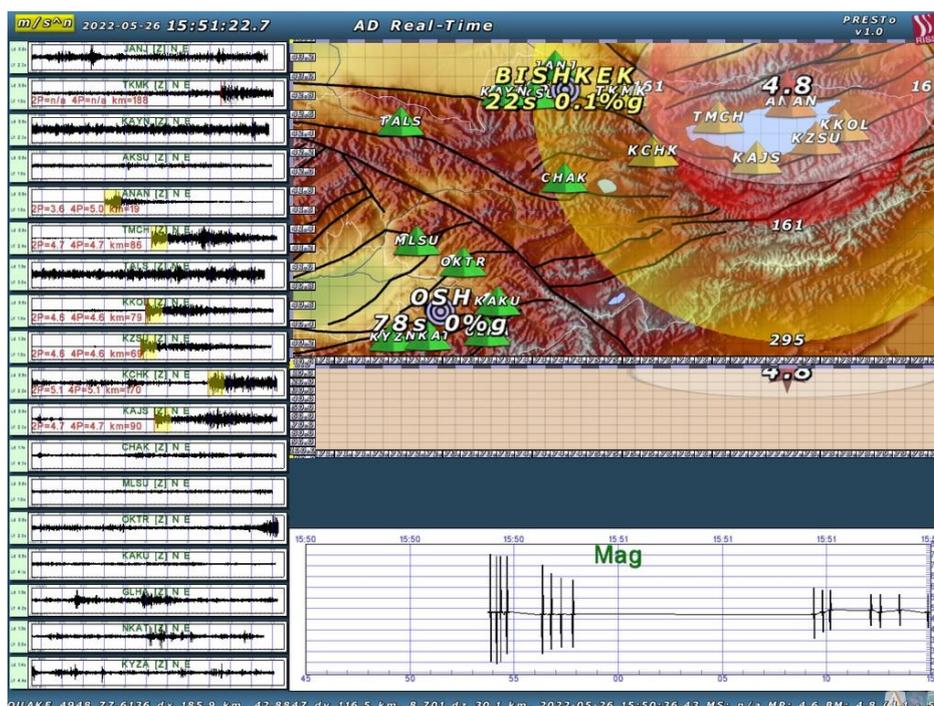


Рисунок 6. Результат обработки сейсмического события 26.05.2022 по сети ACROSS: время в очаге (t_0) 15 ч 50 мин 36.4 сек., глубина(H): 10 км, широта 42.88° , долгота 77.61° , магнитуды: 4.6 (M_{рv}), 4.8 (M_b).

Обработка и интерпретация данных ведётся в автоматическом режиме по программе PRESTo и алгоритм раннего предупреждения по сети ACROSS построен вокруг этой программы. В свою очередь это автономное программное обеспечение обрабатывает акселерограммы станций сети ACROSS в реальном времени для оперативного предоставления динамических параметров сейсмического события и магнитуды обнаруженных землетрясений во время их возникновения, а также составляет электронный бюллетень в формате log-файла, который содержит анализ затухания пиковых ускорений (рисунок 6) в региональном масштабе по данным 18 станций сильных движений.

Совместно с учёными из немецкого Центра исследований Земли им. Гельмгольца, г. Потсдам, были выполнены работы по построению сценариев исторических землетрясений, вызвавших сильные разрушения. Например, Беловодское ($M=6.9$, 1885 г.) и Кеминское ($M=8.2$, 1911 г.) землетрясения [Picozzi et al., 2013], которые произошли поблизости от г. Бишкек. Данная работы предназначена для исключения разброса значений пиковых ускорений и подборки эмпирической модели затухания пикового ускорения грунта для правильного срабатывания СРП. Посредством выполненных работ определено вероятное сейсмическое воздействие исторических сейсмособытий с магнитудой 7 и 8 на расстояние до 100 км.

Метод обработки данных сильных движений для составления каталога землетрясений с магнитудой выше 4.0 ведётся через программу ITACA (Italian ACcelerometric Archive). Данные о сильных движениях представляется в двух вариантах: необработанном и обработанном виде [Massa M. et al., 2010]. В результате обработки записей сейсмических событий получают параметры пиковых ускорениях (PGA), скоростей (PGV) и смещения (PGD) записанных на каждом участке (таблица 4, рисунок 9), где установлены цифровые станции сильных движений сети ACROSS. Процедура обработки включает в себя удалённый доступ с любого компьютера, инструментальную коррекцию, полосовую фильтрацию с помощью некаузальных фильтров, вычисление спектров отклика ускорения и параметров сильного движения. Эта процедура применяется к каждой акселерограмме с сохранением записи для дальнейшего просмотра пользователями [Орунбаев и др., 2021].

Для хранения сейсмических данных используется СУБД MySQL (рисунок 7). Сформированная база данных о сильных движениях доступна на веб-сервисе across.caiag.kg.

На веб-сервисе можно получать уже обработанные данные и скачать архивированные акселерограммы с каждой станции, которые распределены по Кыргызстану [Кальметьева и др., 2016].

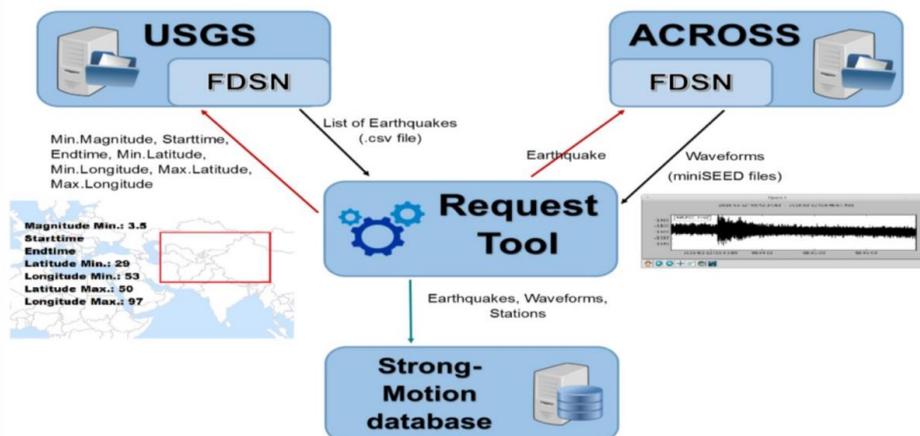


Рисунок 7. Схема формирования база данных о сильных движениях.

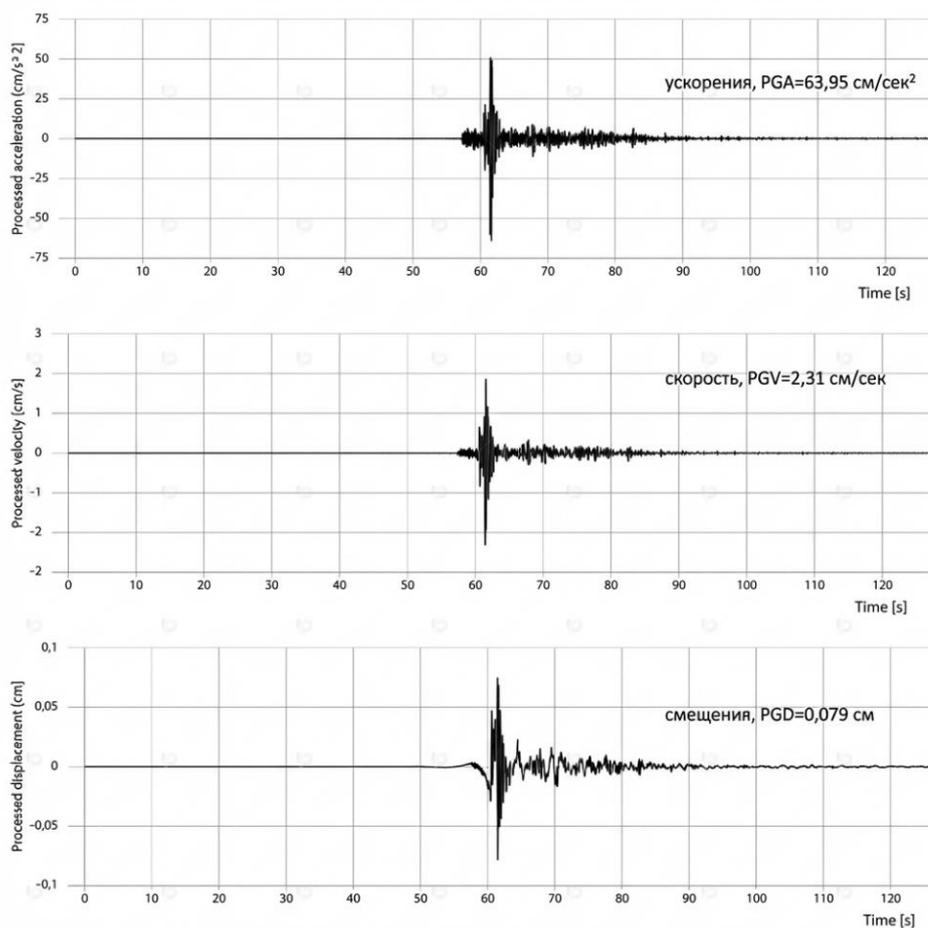
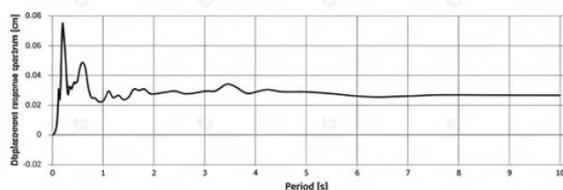


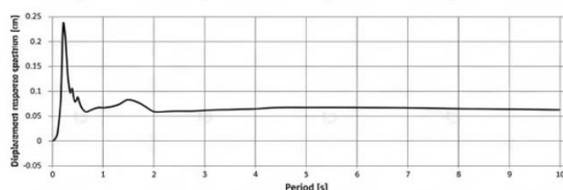
Рисунок 8. Примеры записи ускорения, скорости и смещения сейсмического события 07.08.2018 г., магнитудой (M) 4.7. Время в очаге – 17 ч 17 мин 25 сек (по Гринвичу), глубина 15 км, станция «Майлуу-Суу» (MLSU), которая является ближайшей станцией к эпицентру (8 км). Компонента EW. Остальные параметры землетрясения указаны в таблице 4 и на рисунке 9.

Таблица 4 - После обработки сейсмособытия ИТАСА оценивает PGA, PGV и PGD по всем имеющимся станциям сети ACROSS.

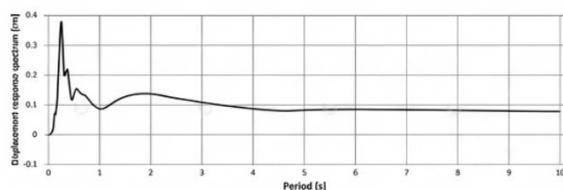
Код станции	Расстояние км.	PGA см/сек ² .	PGV см/сек.	PGD см.
MLSU	8	63.95	2.31	0.079
KYZA	117	7.30	0.13	0.006
TALS	142	3.99	0.12	0.010
CHAK	179	1.17	0.08	0.006
KAYN	197	1.67	0.08	0.009
AKSU	216	0.56	0.04	0.005
JANJ	254	1.35	0.07	0.006
TKMK	285	0.23	0.02	0.003
KCHK	286	0.60	0.03	0.005
TMCH	370	0.16	0.01	0.002
KAJS	397	0.49	0.00	0.001
ANAN	454	0.82	0.00	0.002
KZSU	469	0.11	0.00	0.001
KKOL	503	1.12	0.01	0.002

Спектр реакции на смещения
грунта (см.)

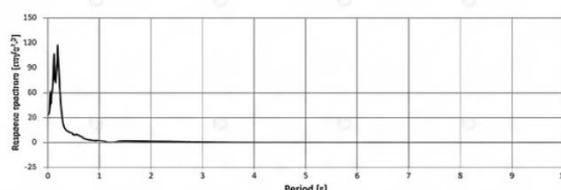
Z-составляющий



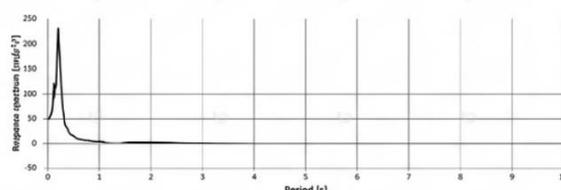
NS-составляющий



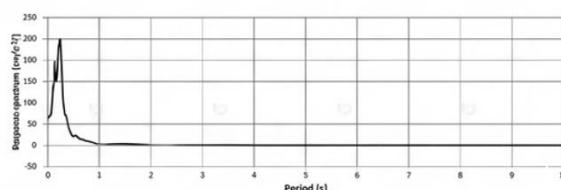
EW-составляющий

Спектр реакции на ускорения грунта
(см/сек².)

Z-составляющий



NS-составляющий



EW-составляющий

Рисунок 9. Спектры реакции на смещения и ускорения грунта для двух значений периодов ($T=1$ сек. и $T=2$ сек.) по каждой компоненты станции MLSU.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сеть станций сильных движений ACROSS с 18 пунктами наблюдения позволила зарегистрировать более 700 землетрясений с магнитудой 4.0 и выше. Используя анализ обработки полученных записей, ЦАИИЗ в сотрудничестве с Немецким центром исследования Земли имени Гельмгольца, г. Потсдам (Германия) работает над созданием системы раннего предупреждения для Кыргызстана. Данная система, которая в настоящее время находится в стадии разработки, предназначена для охвата г. Бишкек и г. Ош и их прилегающих территорий. Следует отметить, что станциями сильных движений сети ACROSS покрыта северная и юго-западная часть территории Кыргызстана и для полного охвата территории нашей республики необходима установка большего количества стационарных наблюдательных пунктов, что позволит расширить возможности функционирования системы раннего предупреждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иманалиева П.А., Алтынбек уулу Т., Зубович А.В., Молдобеков Б.Д., Шаршебаев А.К., Абдыбачаев У.А. Развитие Каракечинского оползня 2020 г. по данным дистанционного зондирования Земли и анализ факторов, повлиявших на обрушение склона. ГеоРиск, 2021, Том XV, № 3, с. 24–38. DOI: 10.25296/1997-8669-2021-15-3-24-38
2. Кальметьева З.А., Жусупова К.Ж., Шаршебаев А.К. Анализ результатов обработки записей землетрясений программным комплексом SeisComp-3. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – стр. 147-149.

3. Молдобеков Б. Д. ЦАИИЗ в прикладных исследованиях георисков Центральной Азии. Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии. Материал международной конференции «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии». 8-9 сентября 2014г. ЦАИИЗ. г. Бишкек. стр. 29-38.
4. Молдобеков Б. Д., Лаутерюнг Й. Основные результаты научной деятельности Центрально-азиатского института прикладных исследований Земли за 2014-2019 годы. Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии. Материал международной конференции. 17-18 сентября 2019г. ЦАИИЗ. г. Бишкек. стр. 8-17.
5. Орунбаев С. Ж., Усупаев Ш.Э., Шаршебаев А. К., Алтынбек уулу Т., Зубович А. В., Молдобеков Б. Д. Система мониторинга сейсмической опасности, опыт Кыргызской Республики // Геодинамические процессы и природные катастрофы: тезисы докладов IV Всероссийской научной конференции с международным участием, г. Южно-Сахалинск, 6–10 сентября 2021 г. / Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2021. - С. 69.
6. Разинков О. Г. Сидоров-Бирюков Д. Д., В. Townsend, Т. Parker, G. Bainbridge, R. Greiss Преимущества и области применения сейсмических приборов для прямой установки в грунт // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. – 2017. – С. 371-375.
7. Усупаев Ш., Молдобеков Б., Орунбаев С. Инженерная сейсмогеология раннего оповещения георисков для населения городов и угрозы от прорывов плотин ГЭС Кыргызстане. Горный журнал, КГГУ им. У. Асаналиева. Бишкек, 2020г., стр. 60-69.
8. Федоров И.С., Асминг С.В., Гоев А.Г., Волосов С.Г. Расширение сети сейсмических наблюдений на Кольском полуострове // Российский сейсмологический журнал. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 63–72. DOI:10.35540/2686-7907.2022.1.05
9. Чебров, В. Н., Дроздин, Д. В., Кугаенко, Ю. А., Левина, В. И., Сеньюков, С. Л., Сергеев, В. А., Шевченко Ю. В., Ящук, В. В. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г // Вулканология и сейсмология. – 2013. – №. 1. – С. 18-40. DOI: 10.7868/S0203030613010021
10. Шаршебаев А.К., Касымбекова Г.Н., Паролай С., Зубович А.В., Болотов Р.С., Боксбергер Т., Молдобеков Б.Д., Лаутерюнг Й., Пилц М. Сеть станций сильных движений в реальном режиме времени ACROSS: создание базы данных сильных движений по территории Центральной Азии. Материалы XI Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – стр. 361-365
11. Gusev, A. A., Guseva, E. M., Petukhin, A. G., Gordeev, E. I., & Chebrov, V. N. (1998). from Data of Strong Motion Instruments. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 34(4), pp. 283-290.
12. Japan Meteorological Agency. Earthquake Early Warning System. Tokyo, Japan. 2007. <https://www.jma.go.jp/jma/en/Activities/earthquake.html>
13. Massa M. et al. The ITalian ACcelerometric Archive (ITACA): processing of strong-motion data // *Bulletin of Earthquake Engineering*. – 2010. – V. 8. – # 5. – Pp. 1175-1187.
14. Morozov A. N., Vaganova N. V., Asming V. E., Fedorov I. S., Peretokin S. A., Altynbek uulu T. Seismicity of the Eastern Sector of the Russian Arctic During the Instrumental Period of Observations // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2025. no. 6. pp. -. DOI: <https://doi.org/10.2205/2025ES001067> (Date of access 29.01.2026). ES6011
15. Nanometrics Inc., “Technical specifications Titan accelerometer” 1002.15.08 datasheet. 2014.
16. Parolai S. et al. On-site early warning and rapid damage forecasting using single stations: Outcomes from the REAKT project // *Seismological Research Letters*. – 2015. – V. 86. – #5. – Pp. 1393-1404. DOI:10.1785/0220140205

17. Parolai S. et. al. Assessing earthquake early warning using sparse networks in developing countries: Case study of the Kyrgyz Republic //Frontiers in Earth Science. – 2017. – V. 5. – P. 74. DOI:10.3389/feart.2017.00074
18. Pesaresi D., Picozzi M., Živčić M., Lenhardt W., Mucciarelli M., Elia L., Aldo Z., Gosar A. A cross-border regional earthquake early warning system: PRESTo@ CE3RN. Natural Hazards – 2017. 86 -№2, С.431-440. DOI: 10.1007/s11069-016-2695-0
19. Picozzi, M., Bindi, D., Pittore, M., Kieling, K., Parolai, S. Real-time risk assessment in seismic early warning and rapid response: a feasibility study in Bishkek (Kyrgyzstan) //Journal of seismology. – 2013. – Т. 17. – №. 2. – С. 485-505. DOI: 10.1007/s10950-012-9332-
20. Pittore M. The role of Sensors (network) in Earthquake Early Warning and Rapid Response applications. Conference “Geospatial Sensor Webs – Sensor Data Analytics. Muenster, Germany, September 3-5, 2018. Pp. 1-26.

Рецензент: к.т.н. Дж.А.Исмаилов