

УДК 550.34.034

Модернизация системы сейсмологических наблюдений на территории Азербайджана

© 2022 г. Г.Дж. Етирмишли, С.Э. Казымова, С.С. Исмаилова, Р.Д. Керимова

РЦСС при НАНА, г. Баку, Азербайджан

Поступила в редакцию 24.06.2022 г.

Аннотация. Изучение сейсмичности территорий, выявление потенциальных очагов землетрясений, другие сейсмологические и сеймотектонические исследования в конечном итоге служат оценке сейсмического риска и определению пути его снижения. Согласно схематической карте сейсмического районирования, фоновый уровень сейсмической опасности территории Азербайджана равен 8 баллам. Таким образом, создание системы современного сейсмического мониторинга и системы сигнализации и предупреждения о сейсмической опасности от тектонических землетрясений является актуальным для Азербайджанской Республики. В статье описан исторический процесс замены старых аналоговых приборов на современные цифровые сейсмометры. Начало инструментальных сейсмологических наблюдений в Азербайджане было положено в 1902 году. В 1903 г. были открыты станции «Баку» и «Балаханы», в 1908 г. — станция «Зурнабад». В течение 1980–1986 гг. на территории Азербайджана были организованы семь новых сейсмических станций («Локбатан», «Сумгаит», «Имишли», «Джабраил», «Кельбаджар», «Джалилабад» и «Нардаран»), и число станций достигло 18. Начало 2000-х гг. ознаменовалось новым этапом развития сети сейсмологических наблюдений в Азербайджане. В наблюдательную сеть стали внедряться цифровые станции с телеметрическим каналом связи. На сегодняшний день в РЦСС при НАНА на всей территории Азербайджана функционируют 75 цифровых сейсмических станций.

Ключевые слова: аналоговые сейсмические станции, цифровые сейсмические станции, сейсмометры, акселерометры, землетрясения.

Для цитирования: Етирмишли Г.Дж., Казымова С.Э., Исмаилова С.С., Керимова Р.Д. Модернизация системы сейсмологических наблюдений на территории Азербайджана // Российский сейсмологический журнал. — 2022. — Т. 4, № 3. — С. 25–35. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.3.02>. EDN: EYOWCQ

Введение

Сейсмический мониторинг — неотъемлемая часть жизнеобеспечения населения регионов с выраженной сейсмической активностью и систем обеспечения безопасности ответственных сооружений (электростанций, скважин, шахт, мостов и др.) — относится к технологиям уменьшения риска опасных природных явлений. Мониторинг включает не только регистрацию, но и дальнейшую оперативную обработку и интерпретацию сейсмологических данных с выходом на прогнозные оценки [Хротова, 2015].

В соответствии с Постановлением Совета Министров Азербайджанской ССР и Распоряжением Национальной академии наук Азербайджана в 1979 г. была создана Опытно-методическая геофизическая партия, на базе которой в 1980 г. была организована Опытно-методи-

ческая геофизическая экспедиция (ОМГЭ). В 1999 г. Постановлением Кабинета Министров Азербайджана ОМГЭ была преобразована в Республиканский центр сейсмологической службы при НАН Азербайджана (РЦСС при НАНА).

За период своей научно-производственной деятельности РЦСС при НАНА достиг больших научно значимых результатов. Существенно вырос научный потенциал организации, возрос её авторитет среди геофизиков-сейсмологов в нашей республике и за рубежом. Научно-производственные достижения Центра стали достоянием широкого круга учёных разных стран мира.

Инструментальные сейсмологические наблюдения в Азербайджане

Начало инструментальных сейсмологических наблюдений в Азербайджане непосредственно

связано с открытием сейсмической станции «Шамахи» сразу после катастрофического Шамахинского землетрясения 1902 года.

В 1903 г. были основаны станции «Баку» и «Балаханы», в 1908 г. — станция «Зурнабад», оснащённые сейсмографами с небольшим увеличением (от 15 до 50), что позволяло регистрировать лишь сильные землетрясения.

Новый этап расширения сети сейсмологических наблюдений в республике начался после катастрофического Ашхабадского землетрясения 1948 года. В течение 1949–1951 гг. были открыты сейсмические станции «Ленкорань» (1949 г.), «Гянджа» (1950 г.) и «Нахичевань» (1951 г.). На этих станциях были установлены сейсмометры общего типа системы Д.П. Кириоса, учитывая чувствительность которых, Ф.Т. Кулиев и др. [Кулиев и др., 1974] установили, что, начиная с 1950 г., в восточной части Кавказа и Каспия землетрясения с $K \geq 11$ ($MLH \geq 4.0$) регистрируются без пропуска [Гасанов, 2003].

Следующими периодами развития инструментальных наблюдений в Азербайджане являются 60-е и 70-е гг. XX в., когда открылись новые сейсмические станции: «Чилов», «Мингячевир» и «Пиргулу» (1966–1968 гг.), «Шеки», «Загатала» и «Губа» (1973–1979 гг.). Большинство из этих постоянно действующих станций было оборудовано устаревшей аппаратурой.

В течение 1980–1986 гг. на территории Азербайджана были организованы семь новых сейсмических станций («Локбатан», «Сумгаит», «Имишли», «Джабраил», «Кельбаджар», «Джалилабад» и «Нардаран»), и число станций достигло 18. Кроме них были открыты ещё пять временных станций. Все станции, в зависимости от классности, были оснащены одним, двумя или тремя комплектами лучших для того времени короткопериодных и широкополосных сейсмометров, а также оборудованы для записи сильных движений. Это привело к расширению частотного диапазона регистрируемых землетрясений.

Организация новых сейсмических станций проводилась с расчётом достижения наибольшей эффективности сети, которая определяется минимальной величиной землетрясений, регистрируемых без пропуска, и погрешностью в оценке координат очагов. Однако достижение большей эффективности сети требует её оптимизации, когда получение требуемой сейсмической информации достигается при минимальных затратах (число станций) [Гасанов, 2003].

Учитывая, что наиболее сейсмически активной частью территории Азербайджана является восточная часть Большого Кавказа, большинство

сейсмических станций было установлено в пунктах на южном склоне Большого Кавказа с благоприятными техническими и географическими условиями. Благодаря этому, на территории республики стало возможным регистрировать без пропуска землетрясения с энергетическим классом $K \geq 9$ ($MLH \geq 3.0$), а на азербайджанской части Большого Кавказа — с $K \geq 8$ ($MLH \geq 2.0$) [Мамедов, 1989]. Погрешность в определении координат эпицентров в большинстве случаев уменьшилась до $\delta \Delta = 10$ км. Только в морской части территории Азербайджана, где, за исключением сейсмической станции «о. Чилов» (с небольшим увеличением $V = 3000$), по объективным причинам отсутствует сеть станций, точность определения координат эпицентров несколько ниже (15–20 км). В отличие от предыдущих лет, стало возможным определение глубины очагов не только сильных, но и множества слабых и средней силы землетрясений [Гасанов, 2003].

Если до конца 80-х гг. прошлого столетия сеть сейсмических наблюдений в Азербайджане развивалась достаточно высокими темпами, то в начале 90-х гг. этот темп упал. Сейсмические станции «Кельбаджар», «Джебраил», а также только что открытая станция «Агдам» приостановили свою деятельность (рис. 1).

Вследствие социально-экономического кризиса, имевшего место в республике в начале 1990-х гг., закрылись станции «Джалилабад» и «Газах». Потеря этих сейсмических станций резко сказалась на качестве определения параметров очагов землетрясений в юг–юго-западной части Азербайджана, и несколько снизилась точность определения координат. 14 аналоговых сейсмических станций проработали до 2014 г. (рис. 2).

Сеть цифровых телеметрических станций Азербайджана

Начало 2000-х гг. ознаменовалось новым этапом развития сети сейсмологических наблюдений в Азербайджане. Увеличилось число сейсмических станций, была проведена модернизация их технического оснащения. В наблюдательную сеть стали внедряться цифровые станции с телеметрическими каналами связи. Всё это стало возможным благодаря помощи со стороны правительства республики и лично Президента Азербайджана — господина Г.А. Алиева.

В начале 2000 г. в шести пунктах («Баку», «Пиргулу», «Мингячевир», «Шеки», «Гянджа» и «Шамкир») были установлены цифровые телеметрические сейсмические станции производства компании ISMES Spa (Италия) с широким

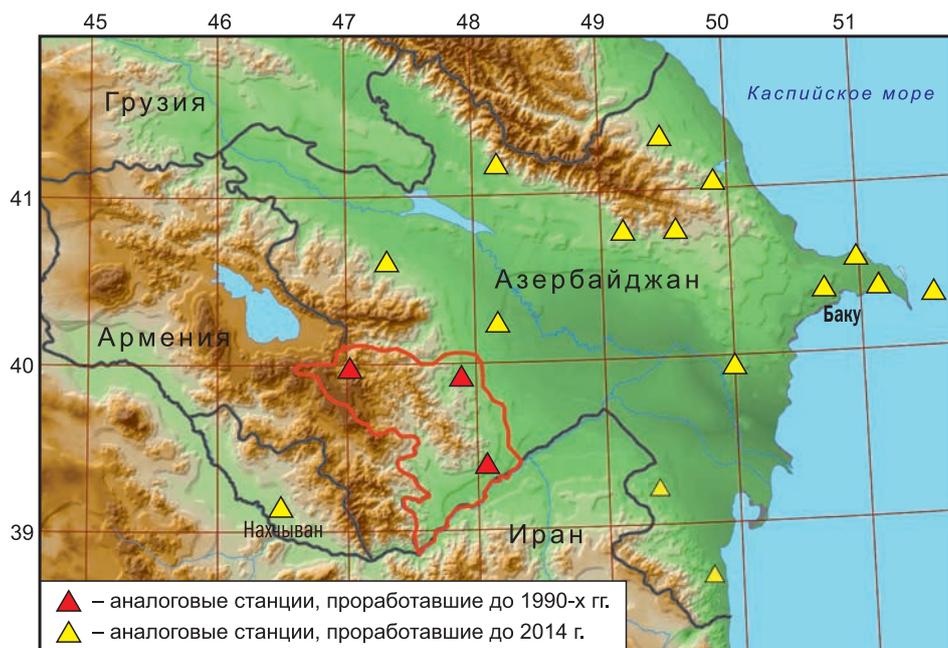


Рис. 1. Сеть аналоговых сейсмических станций РЦСС при НАНА в период 1993–2003 гг.

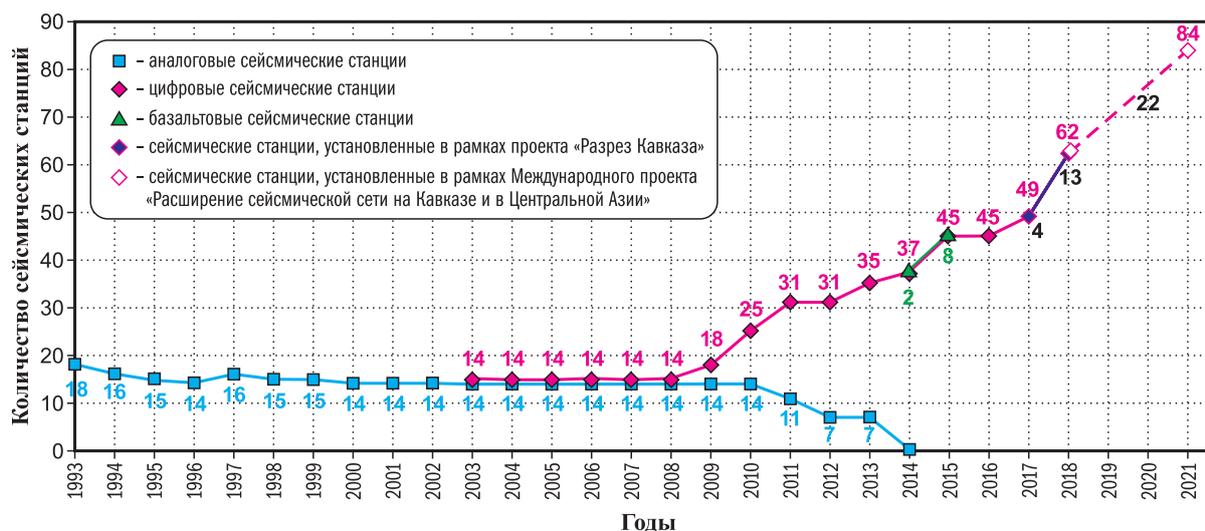


Рис. 2. Развитие сейсмической сети РЦСС при НАНА

частотным диапазоном. После сильного Каспийского (Бакинского) 7-балльного ($MLH=6.2$) землетрясения 25.10.2000 г. по распоряжению Президента Азербайджанской Республики Г.А. Алиева о переоборудовании сейсмических станций страны новыми современными приборами был объявлен тендер и закуплено 14 комплектов современной системы сейсмического мониторинга фирмы «Kinometrics» производства США с телеметрическими (спутниковыми) каналами связи. Это явилось существенным вкладом в дело модернизации сети сейсмических станций республики и вывода их деятельности на уровень международных стандартов.

Места расположения сейсмических станций были выбраны с учётом уровня сейсмичности отдельных частей территории Азербайджана. В итоге они размещены следующим образом: на южном склоне Большого Кавказа – три станции («Пиргулу», «Исмаиллы» и «Шеки»); на северном склоне и в восточной части Большого Кавказа – две станции (соответственно «Губа» и «Сиязань»); на юго-востоке республики – три станции («Алибайрамлы», «Джалилабад» и «Ленкорань», впоследствии переименованная в «Лянкярань»); на западе республики – две станции («Гянджа» и «Барда»); в Нахичевани – одна станция; на Апшеронском полуострове –

три станции («Нардаран», «Гобу» и «Гала»). Телеметрические станции Апшерона совместно контролировали сейсмичность полуострова и акватории Каспия. Близость этих станций позволяет регистрировать на Апшероне даже очень слабые толчки, происходящие здесь, что очень важно при слежении за сейсмичностью Большого Баку. Однако одностороннее расположение станций снижает точность определения координат землетрясений в акватории Каспия.

Центр сбора по спутниковым каналам связи и обработки текущей сейсмологической информации со всех 14 станций фирмы «Kinemetrics» расположен и по сей день в Баку.

В целях обеспечения более высокого уровня комплексных сейсмологических и геофизических исследований, с 2008 по 2013 г. под руководством нынешнего генерального директора РЦСС, члена-корреспондента НАНА, заслуженного деятеля науки, доктора геолого-минералогических наук, профессора Гурбана Джалал оглы Етирмишли общее количество цифровых сейсмостанций достигло 35. Четыре из них расположены в Нахичеванской Автономной Республике. Кроме того, на Апшеронском полуострове действует сеть из десяти стационарных сейсмостанций «Kinemetrics Basalt», регистрирующих сильные колебания грунта (рис. 3).

Современный период развития сети цифровых сейсмических станций

В 2017 г., в рамках совместного Международного проекта «Разрез Кавказа» РЦСС при НАНА, Университета Миссури (США) и Украинского научно-технического центра было установлено 17 новых цифровых сейсмических станций для изучения скоростных неоднородностей земной коры в зоне перехода Куринской впадины и Большого Кавказа методом сейсмической томографии (рис. 3). Кроме того, в центр обработки поступают данные с трёх грузинских и двух турецких сейсмических станций.

В 2021 г., в рамках Международного проекта «Расширение сейсмической сети на Кавказе и в Центральной Азии», реализуемого РЦСС при НАНА при поддержке Украинского научно-технического центра, на территории Азербайджана началась установка новых 22 сейсмических станций производства «Nanometrics» (Канада). Впервые в мире с целью исследования динамики грязевых вулканов 12 таких станций будут установлены вокруг грязевых вулканов Локбатан и Отман-Боздаг. В Товузском (Гаджиларском), Дашкесанском (Хошбулагском) и Исмаиллинском (Зарнавском) районах уже смонтированы и введены в эксплуатацию три скважинных сейсмометра Trillium 120. Кроме того, станции оснащены акселерометрами Titan (рис. 4).

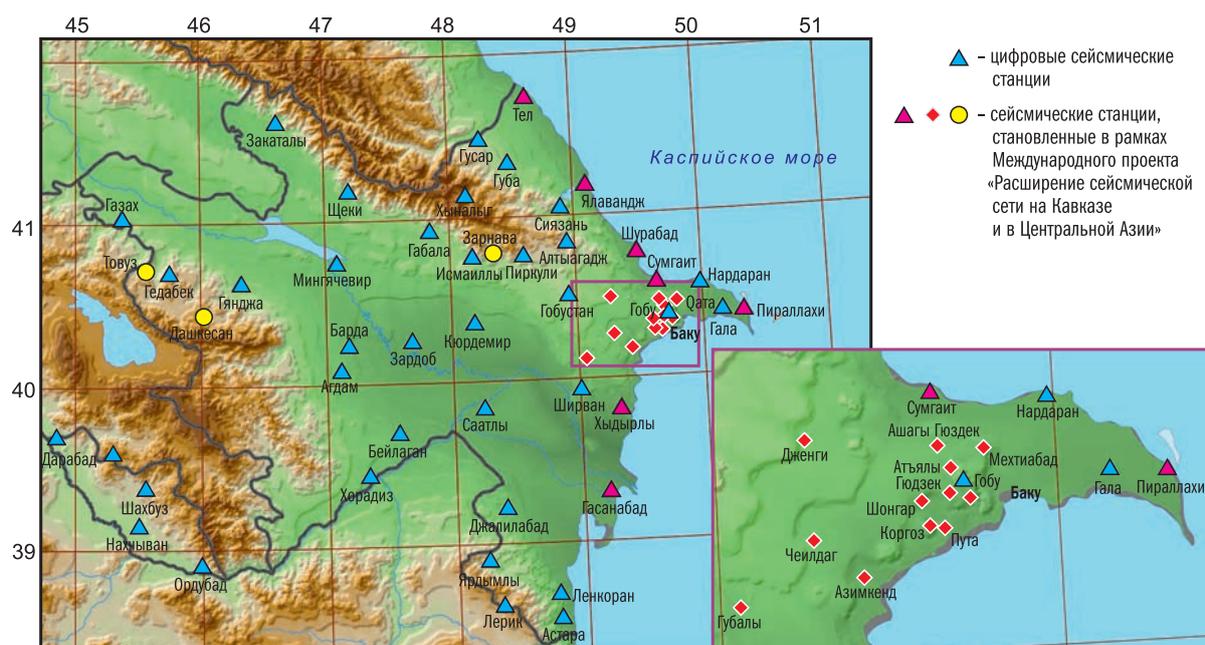


Рис. 3. Сеть сейсмических станций РЦСС при НАНА

В целом за счёт иностранных грантов в стране были закуплены и установлены сейсмические приборы на сумму более 5 млн манатов.

На сегодняшний день в РЦСС при НАНА по всей территории Азербайджана функционируют 75 цифровых сейсмических станций.

Структура цифровой сейсмической станции

Цифровая станция состоит из широкополосного трёхкомпонентного сейсмометра STS-2 (производство компании «Strekeisen», Швейцария), трёхкомпонентного акселерометра Epi Sensor (производство «Kinometrics», США),

24-битного дигитайзера Quanterra-Q330 с GPS-системой (аналого-цифровой преобразователь обеспечивает аналого-цифровую регистрацию колебаний земли в режиме, близком к реальному времени, производства «Kinometrics», США), устройства связи и устройства «Marmot» – Field Processor, которое позволяет сохранять данные за один год (рис. 5, 6).

Дигитайзер Quanterra-Q330 имеет следующие технические характеристики: количество рабочих каналов – 12 (HHZ, HNN, HNE, BHZ, BHN, BHE, LHZ, LHN, LHE – сейсмометр; GHZ, GHN, GHE – акселерометр), динамический диапазон – 135 дБ, частота квантования – 100, 20, 1 (рис. 7).



Рис. 4. Сейсмометры «Trillium 120», акселерометр «Titan», цифровой преобразователь «Centaur»



Рис. 5. Цифровая сейсмическая станция



Трехкомпонентный сейсмометр STS-2



Quanterra Q330



Трехкомпонентный акселерометр EpiSensor



Marmot

Рис. 6. Основная аппаратура каждой сейсмической станции

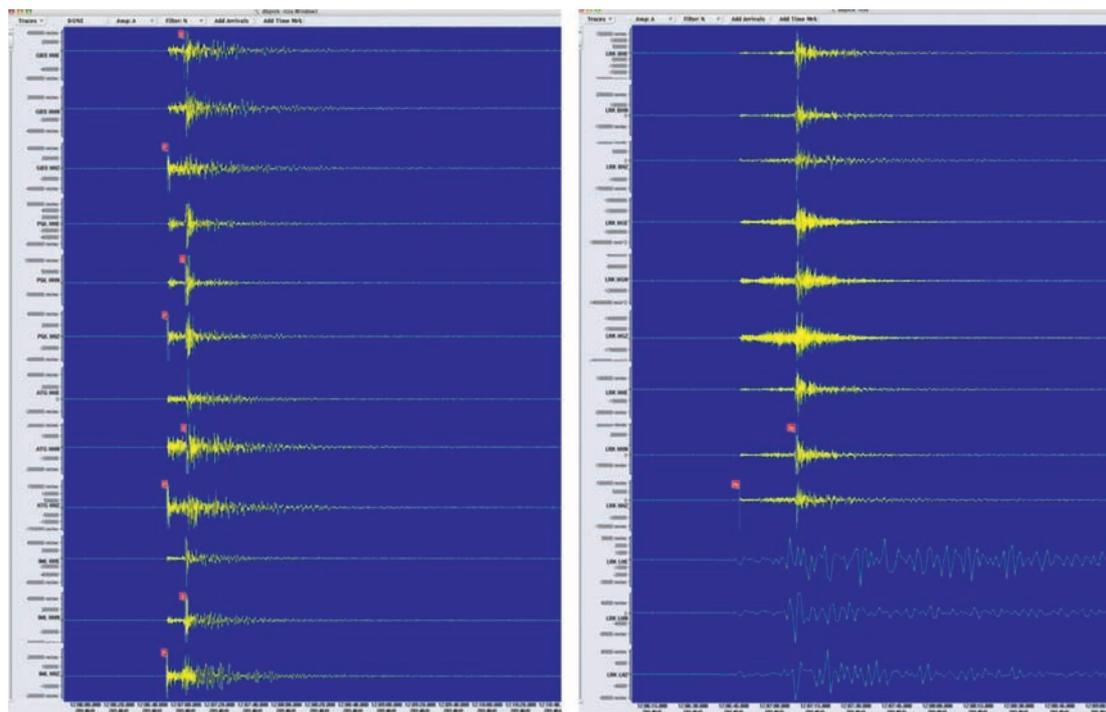


Рис. 7. Примеры волновой 12-канальной записи землетрясения на цифровой сейсмической станции

Отсчёт времени осуществляется по данным GPS. Объём памяти дигитайзера – 8 МБ RAM. Широкополосный сейсмометр STS-2 имеет две горизонтальные (X, Y) и вертикальную (Z) компоненты. Частотный диапазон – 8.3 мГц – 80 Гц,

$T=0.01-120$ с. Акселерометр Epi Sensor имеет частотно-динамический диапазон до 0–200 Гц и 155 дБ. Шкала ускорения имеет диапазоны ± 0.25 , ± 0.5 , ± 1.0 , ± 2.0 , ± 4 g. Рабочая установка акселерометра – ± 2 g.

Регистрируемые колебания Земли с телеметрических станций в режиме, близком к реальному времени, по спутниковой связи передаются в центр сейсмической обработки и анализа землетрясений, где проводятся обработка, архивация и анализ сейсмических данных по программной системе Antelope Real Time System version 5.6 (рис. 8). Сейсмические данные поступают в формате miniSeed [Lindquist, 2016].

Программное обеспечение сбора и обработки данных Antelope работает на восьми компьютерах с операционной системой Mac OS X. Antelope в режиме, близком к реальному времени, обеспечивает графическое отображение и автоматическое определение местоположения, а также вычисление магнитуды (M_L , m_b , M_S , M_w) локального, регионального или телесеизмического землетрясения (рис. 9).

Система «Kinometrics», помимо стационарных станций, включает в себя и мобильные сейсмические станции на основе 24-битного дигитайзера Q330, локального накопителя данных Valer-14, короткопериодного сейсмометра SS-1 («Kinometrics») и акселерометра Epi Sensor [Kinometrics ..., 2006].

Наряду с системой «Kinometrics», в РЦСС при НАНА внедрена новая аппаратура Seistronix (производство США), которая позволяет изучать скоростной разрез в верхних слоях земной коры. Эта информация крайне важна при проведении работ по сейсмомикрорайонированию. Seistronix снабжена 12 каналами с 24-битным разрешением. Динамический диапазон – 117 дБ, частотное разрешение по всем каналам составляет 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2 и 4 мс [RAS-24, 2022].

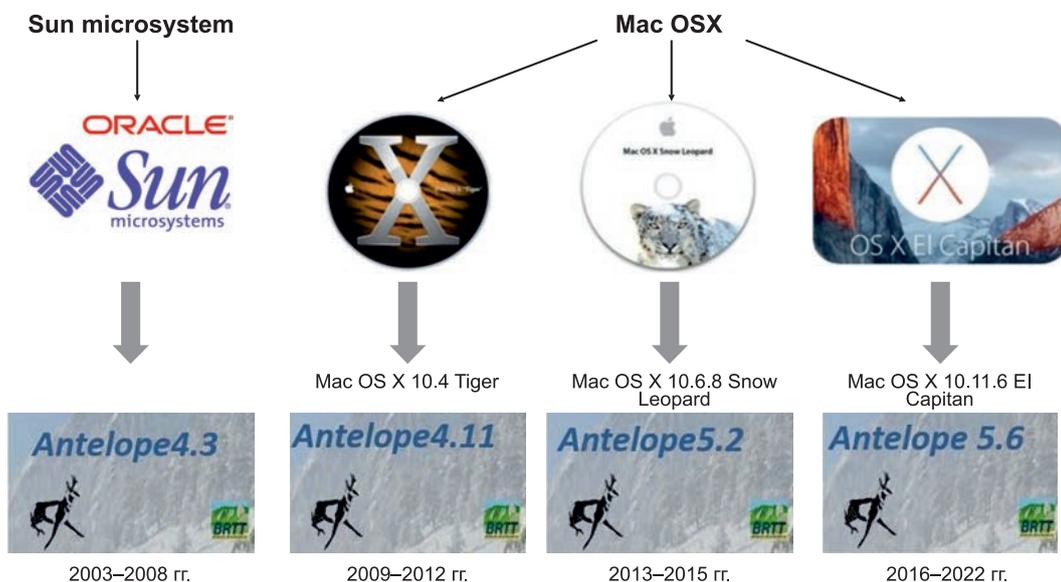


Рис. 8. Модернизация программной системы Antelope Real Time System version 5.6

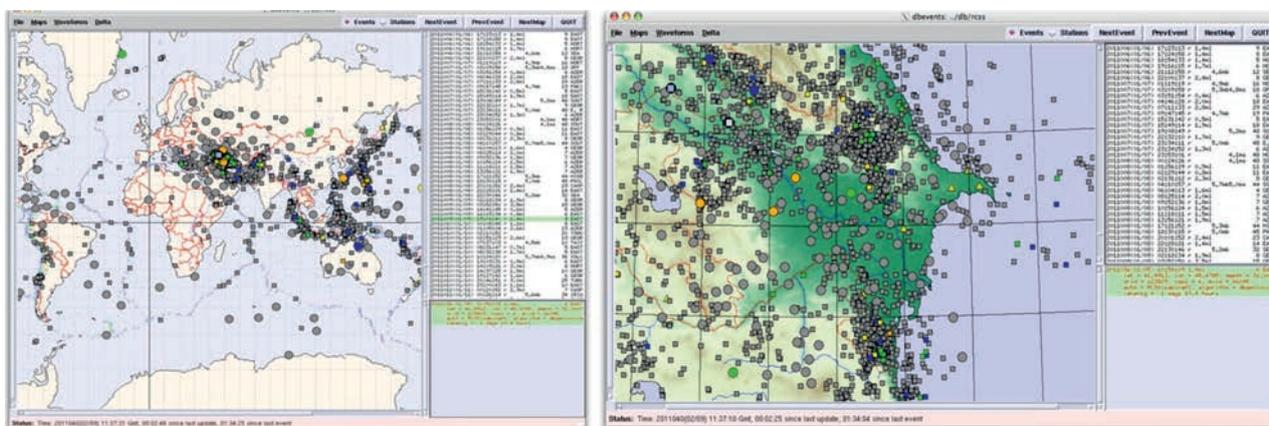


Рис. 9. Карты эпицентров всех зарегистрированных (слева) и локальных (справа) землетрясений за 2021 г.

Благодаря широкому динамическому диапазону (135 дБ) телеметрических сейсмических станций, во многих местах удалось снизить уровень магнитуды представительных землетрясений до $M=2.0$ и повысить точность определения координат землетрясений до $\pm 5-6$ км. Такие данные имеют огромное значение для выявления активных разрывных нарушений в сейсмоактивных регионах республики, оценки их сейсмического потенциала, сейсмического районирования. Кроме этого, благодаря спутниковой связи между станциями и центром сбора и обработки информации, стало возможным исследование динамики сейсмического процесса в реальном масштабе времени, что очень важно для прогноза сейсмической обстановки в той или иной области региона.

Заключение

Созданная уникальная система сейсмического мониторинга для организации сбора, обработки и хранения информации существенно расширила возможности круглосуточного контроля за геодинамической ситуацией региона.

Использование спутниковых каналов связи дало возможность исследовать динамику сейсмических процессов непосредственно при их проявлении и оперативно реагировать на изменение сейсмической обстановки в той или иной части Азербайджанской Республики. Полученные результаты более подробно описаны в работах [Babayev et al., 2020; Kangarli et al., 2018; Kazimova, 2020; Pzaev и др., 2013; Telesca et al., 2017; Tibaldi et al., 2019]. Наряду с этим, появилась возможность сейсмического районирования территории республики по максимальному ускорению и скорости грунтов (PGA, PGV), что имеет большое значение при строительстве крупных инженерных сооружений.

Следует также отметить, что система «Kinometrics», наряду с регистрацией землетрясений, достаточно точно регистрирует время, продолжительность и глубину извержения грязевых вулканов, а также промышленные взрывы.

На основе данных многоканальных телеметрических станций были изучены методы оценки поляризации поперечных волн, траектории точек поперечных волн, проведены анализ изменений направления на разных глубинах и проектирование повышения эффективности идентификации поперечных волн в сложных геологических условиях. Были внесены коррективы во времена вступлений P - и S -волн при определении координат эпицентров землетрясений,

и разработана 1D и 3D скоростная модель Среднекуринской впадины. На основе электронной базы данных проведена комплексная интерпретация параметров геофизических полей, созданы графики результатов, визуализация в формате 3D и программный пакет, который позволяет определять области геофизических сейсмоаномальных эффектов. На основе инструментальных методов сейсмотелеметрических станций был зарегистрирован трёхступенчатый процесс извержения грязевого вулкана в Локбатане. На основе информационных данных сейсмотелеметрических станций создана база данных механизмов очагов землетрясений ($M \geq 2.5$) и обнаружены характерные сеймотектонические деформации в различных сейсмических зонах Азербайджана.

Литература

- Гасанов А.Г. Каталог сейсмопрогностических наблюдений на территории Азербайджана в 2002 г. — Баку: Элм, 2003. — С. 12–20.
- Кулиев Ф.Т., Каспаров В.А. Исходные данные и оценка их представительности для изучения сейсмичности Восточного Кавказа и акватории Каспия // Материалы конференции по изучению сейсмичности и глубинного строения Азербайджана. — Баку: Элм, 1974. — С. 32–39.
- Мамедов Т.Я. Отражение геологических структур южного склона Большого Кавказа в параметрах сейсмического режима : автореферат дисс. на соиск. уч. ст. канд. геол.-мин. наук. — М.: ИФЗ АН СССР, 1989. — 140 с.
- Рзаев А.Г., Етирмишли К.Дж., Казымова С.Э. Отражение геодинамического режима в вариациях напряжённости геомагнитного поля (на примере южного склона Большого Кавказа) // ANAS Transactions. Earth Sciences. — 2013. — N 4. — P. 3–15.
- Хритова М.А. Информационно-аналитическая система для мониторинга землетрясений Прибайкалья и Забайкалья : дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. — Иркутск: ИЗК СО РАН, 2015. — 124 с.
- Babayev G.V., Yetirmishli G.J., Kazimova S.E., Kadirov F.A., Telesca L. Stress field pattern in the northeastern part of Azerbaijan // Pure and Applied Geophysics. — 2020. — V. 177. — P. 2739–2751. doi: 10.1007/s00024-019-02371-5
- Kangarli T.N., Kadirov F.A., Yetirmishli G.J., Aliyev F.A., Kazimova S.E., Aliyev A.M., et al. Recent geodynamics, active faults and earthquake focal mechanisms of the zone of pseudosubduction interaction between the Northern and Southern Caucasus microplates in the southern slope of the Greater Caucasus (Azerbaijan) // Geodynamics & Tectonophysics. — 2018. — V. 9, N 4. — P. 1099–1126. doi: 10.5800/GT-2018-9-4-0385. — EDN: YPVQLJ

- Kazimova S.E.* Redefinition of earthquake hypocenters by the double difference method // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – V. 10, N 4. – P. 41–52. doi: 10.46698/VNC.2020.36.81.003. – EDN: ZTLZGY
- Kinematics MitiGator Seismic Switch*. Document 302700 Revision K. – USA: Kinematics Inc, December 2006. – URL: <https://eqmet.com/eng/302700k.pdf>
- Lindquist K.* What's New in Antelope 5.6. – USA: Boulder Real Time Technologies & Kinematics Inc., 2016. – 58 p. – URL: https://aug2016.units.it/sites/aug2016.units.it/files/download/AUG18_Lindquist.pdf
- RAS-24 Exploration Seismograph* // Seistronix [Site]. – URL: http://www.seistronix.com/ras_g.htm (дата обращения 15.06.2022).
- Telesca L., Kadirov F., Yetirmishli G., Safarov R., Babayev G., Ismaylova S.* Statistical analysis of the 2003–2016 seismicity of Azerbaijan and surrounding areas // *Journal of Seismology*. – 2017. – V. 1467. – P. 14–85. doi: 10.1007/s10950-017-9677-x
- Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A., et al.* Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2019. – V. 188. – P. 1–18. doi: 10.1016/j.jseaes.2019.104108

Сведения об авторах

Етирмишли Гурбан Джалал оглы, член-корреспондент НАНА, д-р геол.-мин. наук, профессор, генеральный директор Республиканского центра сейсмологической службы при Национальной академии наук Азербайджана (РЦСС при НАНА), г. Баку, Азербайджанская Республика. E-mail: gyetirmishli@gmail.com

Казымова Сабина Эльдар, д-р филос. геол.-мин. наук, доцент, нач. отдела РЦСС при НАНА, г. Баку, Азербайджанская Республика. E-mail: sabina.k@mail.ru

Исмаилова Саида Сирадж, д-р филос. наук о земле, руководитель Бюро исследований землетрясений в РЦСС при НАНА, г. Баку, Азербайджанская Республика. E-mail: ismailovasaida@gmail.com

Керимова Ругия Даниеловна, зам. руководителя Бюро исследований землетрясений РЦСС при НАНА, г. Баку, Азербайджанская Республика. E-mail: rugijak@gmail.com

Modernization of the system of seismological observations in the territory of Azerbaijan

© 2022 G.J. Etirmishli, S.E. Kazimova, S.S. Ismailova, R.D. Kerimova

RSSC at ANAS, Baku, Azerbaijan

Received June 24, 2022

Abstract The study of the seismicity of territories, the identification of potential sources of earthquakes and other seismological, seismotectonic studies ultimately serve to assess the seismic risk and determine ways to reduce it. According to the schematic map of seismic zoning, the background level of seismic hazard in the territory of Azerbaijan is 8 points. Thus, the creation of modern seismic monitoring, an alarm system and warning of seismic danger from tectonic earthquakes, is relevant for the territory of the republic. The article describes the historical process of upgrading old analog instruments to modern digital seismometers. The beginning of instrumental seismological observations in Azerbaijan began in 1902. In 1903, the stations “Baku” and “Balakhani” were founded, in 1908 the station “Zurnabad”. During 1980–1986 seven new seismic stations (“Lokbatan”, “Sumgayit”, “Imishli”, “Jabrayil”, “Kalbajar”, “Jalilabad” and “Nardaran”) were organized on the territory of Azerbaijan, and the number of stations reached 18. The beginning of the 2000s is marked by a new stage in the development of the seismological observation network in Azerbaijan. Digital stations with a telemetric communication channel began to be introduced into the observation network. In order to ensure a higher level of integrated seismological and geophysical research, from 2008 to 2022, the total number of digital seismic stations reached 84. Four of these stations were located in the Nakhchivan Autonomous Republic. In addition, there is a network of 10 stationary basalt seismic stations on the Absheron Peninsula, which record strong ground vibrations. Recorded earth vibrations from telemetry stations are transmitting in real time via satellite to the seismic processing and earthquake analysis center, where processing, archiving and analysis of seismic data is carried out using the Antelope Real Time System version 5.6 software system. The Antelope data acquisition and processing software runs on Mac OS X computers. Along with the “Kinometrics” system, new equipment “Seistronix” (made in the USA) has been introduced into the RSSC at ANAS, which allows studying the velocity section in the upper layers of the earth’s crust. This information is extremely important when carrying out seismic microzoning.

Keywords Analog seismic stations, digital seismic stations, seismometers, accelerometers, earthquakes.

For citation Etirmishli, G.J., Kazimova, S.E., Ismailova, S.S., & Kerimova, R.D. (2022). [Modernization of the system of seismological observations in the territory of Azerbaijan]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 4(3), 25–35. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2022.3.02>. EDN: EYOWCQ

References

- Babayev, G.V., Yetirmishli, G.J., Kazimova, S.E., Kadirov, F.A., & Telesca, L. (2020). Stress field pattern in the northeastern part of Azerbaijan. *Pure and Applied Geophysics*, 177, 2739–2751. doi: [10.1007/s00024-019-02371-5](https://doi.org/10.1007/s00024-019-02371-5)
- Gasarov, A.G. (2003). *Katalog seismoprognozticheskikh nabludeni na territorii Azerbaidzhana v 2002 g.* [Catalog of seismic prediction observations on the territory of Azerbaijan in 2002] (pp. 12–20). Baku, Azerbaijan: Elm Publ. (In Russ.).
- Kangarli, T.N., Kadirov, F.A., Yetirmishli, G.J., Aliyev, F.A., Kazimova, S.E., Aliyev, A.M., et al. (2018). Recent geodynamics, active faults and earthquake focal mechanisms of the zone of pseudosubduction interaction between the Northern and Southern Caucasus microplates in the southern slope of the Greater Caucasus (Azerbaijan). *Geodynamics & Tectonophysics*, 9(4), 1099–1126. doi: [10.5800/GT-2018-9-4-0385](https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-4-0385). EDN: YPVQLJ
- Kazimova, S.E. (2020). Redefinition of earthquake hypocenters by the double difference method. *Geology and Geophysics of the South of Russia*, 10(4), 41–52. doi: [10.46698/VNC.2020.36.81.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.36.81.003). EDN: ZTLZGY
- Khritova, M.A. (2015). [Information-analytical system for monitoring earthquakes in the Baikal and Transbaikalia: PhD tech. sci. diss.]. Irkutsk, Russia: IEC SB RAS Publ, 124 p. (In Russ.).
- Kinometrics MitiGator Seismic Switch. Document 302700 Revision K.* (2006). USA: Kinometrics Inc. Available at: <https://eqmet.com/eng/302700k.pdf>

- Kuliev, F.T., & Kasparov, V.A. (1974). [Initial data and assessment of their representativeness for studying the seismicity of the Eastern Caucasus and the Caspian Sea]. In *Materialy konferentsii po izucheniiu seismichnosti i glubinnogo stroeniia Azerbaidzhana* [Materials of the conference on the study of seismicity and the deep structure of Azerbaijan] (pp. 32-39). Baku, Azerbaijan: Elm Publ. (In Russ.).
- Lindquist, K. (2016). *What's New in Antelope 5.6*. USA: Boulder Real Time Technologies & Kinematics Inc., 58 p. Available at: https://aug2016.units.it/sites/aug2016.units.it/files/download/AUG18_Lindquist.pdf
- Mamedov, T.Ya. (1989). [Reflection of the geological structures of the southern slope of the Greater Caucasus in the parameters of the seismic regime: Abstract of the PhD sci. diss.]. Moscow, Russia: IPE AS USSR Publ., 140 p. (In Russ.).
- Rzayev A.G., Etirmishli G.J., & Kazymova, S.E. (2013). [Reflection of the geodynamic regime in variations in the intensity of the geomagnetic field (on the example of the southern slope of the Greater Caucasus)]. *ANAS Transactions. Earth Sciences*, 4, 3-15 (In Russ.).
- Seistronix. (2022). RAS-24 Exploration Seismograph. Retrieved from http://www.seistronix.com/ras_g.htm
- Telesca, L., Kadirov, F., Yetirmishli, G., Safarov, R., Babayev, G., & Ismaylova, S. (2017). Statistical analysis of the 2003-2016 seismicity of Azerbaijan and surrounding areas. *Journal of Seismology*, 1467, 14-85. doi: 10.1007/s10950-017-9677-x
- Tibaldi, A., Tsereteli, N., Varazanashvili, O., Babayev, G., Barth, A., et al. (2019). Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. *Journal of Asian Earth Sciences*, 188, 1-18. doi: 10.1016/j.jseaes.2019.104108

Information about authors

Yetirmishli Gurban Jalal, Corresponding Member of ANAS, Dr., Professor, Director of the Republican Seismic Survey Center of Azerbaijan National Academy of Sciences (RSSC of ANAS), Baku, Azerbaijan. E-mail: gyetirmishli@gmail.com

Kazimova Sabina Eldar, PhD, Associate Professor, Head of Department of the RSSC of ANAS, Baku, Azerbaijan. E-mail: sabina.k@mail.ru

Ismailova Saida Siraj, PhD, Head of the Bureau of Earthquake Research at the RSSC of ANAS. E-mail: ismailovasaida@gmail.com

Kerimova Rugiya Daniel, Deputy Head of the Bureau of Earthquake Research of RSSC under ANAS. E-mail: rugijak@gmail.com