

УДК 550.344

## НОВАЯ МЕТОДИКА ОЦИФРОВКИ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Великанова А.А., Узбеков А.Н., Алещенко И.Б.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Впервые в РГП ИГИ внедрена новая методика, позволяющая оцифровывать аналоговые сейсмограммы с дугообразными записями от приборов РВЗТ и КСЭ. В новой методике использовано программно-математическое обеспечение DEARC, разработанное в ИГИ совместно с Ламонт-Дохерской обсерваторией Колумбийского университета США. Оно позволяет корректировать дугообразные сейсмограммы и приводить их к стандартному прямолинейному виду. Создана база данных оцифрованных сейсмограмм ядерных взрывов, содержащая около 7500 записей, в том числе 700 записей с помощью новой методики оцифровки. В настоящее время записи оцифрованных сейсмограмм используются как для различных задач сейсмического мониторинга, так и для современного мониторинга ядерных испытаний. С их помощью решаются задачи обнаружения, распознавания типа источника, а также определения и оценки параметров сейсмических событий.

### ВВЕДЕНИЕ

Непрерывные сейсмологические наблюдения в Казахстане начали проводиться с 1927 года. С целью детального изучения сейсмичности территории Центральной Азии с 1951 г. прошлого века была образована стационарная сеть станций, расположенная на территории Северного Тянь-Шаня. Кроме стационарных, устанавливались временные станции специально для регистрации ядерных взрывов на региональных расстояниях. Все станции имели аналоговую форму записи. В сейсмологических архивах разных организаций Казахстана имеются записи двух видов: с прямолинейной регистрацией на фотобумагу – приборы СКМ (сейсмометр Кирноса механический) и СКД (сейсмометр Кирноса длиннопериодный) и регистрацией пером с дугообразной записью чернилами на обычную бумагу приборы РВЗТ (регистратор видимой записи трёхкомпонентный) и КСЭ (регистратор, созданный в комплексной сейсмологической экспедиции). Кроме записей станций, расположенных на территории Казахстана и прилегающих территориях Центральной Азии, архивы содержат большое количество сейсмограмм станций, расположенных на Кавказе, Урале, в Сибири, на Дальнем Востоке. Сейсмограммы, накопленные в казахстанских архивах, уникальны и являются бесценным материалом для научных исследований. Однако, сейсмограммы на обычной бумаге и фотобумаге, пролежавшие много лет в архиве, со временем темнеют и становятся хрупкими, чернильные записи выцветают. Кроме того, аналоговая форма записи

является препятствием для дальнейшего использования при решении задач, где предусмотрена цифровая математическая обработка. Поэтому задача оцифровки аналоговых сейсмограмм и сохранение их в современных цифровых форматах является чрезвычайно актуальной.

### ПАРАМЕТРЫ АНАЛОГОВОЙ АППАРАТУРЫ И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ПРОГРАММНО- МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В РГП ИГИ, начиная с 2005 года, стартовала бюджетная программа «Создание электронного архива исторических сейсмограмм ядерных взрывов и землетрясений, зарегистрированных станциями специального контроля» (2005 - 2011 гг.). Большое количество сейсмограмм с прямолинейной записью было оцифровано при помощи программного комплекса NXSCAN [2]. Однако значительная часть материала так и осталась не оцифрованной, ввиду отсутствия подходящего математического обеспечения. Это записи станций, на которых регистрация сейсмических колебаний производилась с помощью приборов РВЗТ и КСЭ с дугообразным перописцем (таблица 1).

В силу особенности регистрации эти сейсмограммы имеют дугообразные искривления, которые не могут быть оцифрованы и откорректированы при помощи программы NXSCAN. Эти станции были расположены в Западном, Центральном и Северном Казахстане, где отсутствовали другие виды регистрации (рисунок 1).

Таблица 1. Характеристики аналоговой аппаратуры сейсмических станций

Прибор	Собственный период $T_0$ , с	Увеличение	Развертка по времени, мм/мин	Тип регистрации	Количество каналов
СКД	20	1.0К-1.5К	60 или 30	фотобумага	3
СКМ	1.5, 2	25К-80К	120 или 60	фотобумага	3
УСФ	1.5	50К-80К	240 или 120	фотобумага	3
РВЗТ	1.25, 1.5	100К-300К	120	чернильный перописец	3
КСЭ	1.25, 1.5	300К-1000К	120	чернильный перописец	1

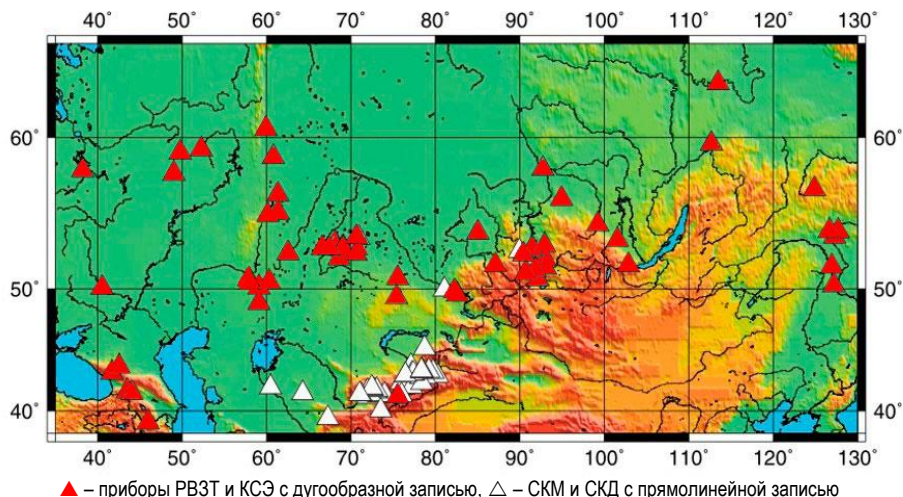


Рисунок 1. Карта расположения аналоговых станций КСЭ

Приборы на этих станциях имели увеличение, в десятки раз превышающие увеличение стандартных сейсмических станций, расположенных на Северном Тянь-Шане, что позволяло регистрировать даже самые слабые ядерные взрывы на удаленных расстояниях. Это видно по кривым амплитудно-частотных характеристик аналоговых приборов с прямолинейной (СКМ, СКД) и криволинейной (РВЗТ и КСЭ) записью, представленных на рисунке 2. В архивах содержатся несколько тысяч записей приборов РВЗТ и КСЭ с источниками на полигонах СИЯП, Новая Земля, в местах проведения мирных ядерных взрывов на территории СССР, а также на ядерных полигонах Лобнор, Невада и др.

Как пример, на рисунке 3 представлены фрагменты аналоговых сейсмограмм подземного ядерного взрыва на полигоне Новая Земля 16 октября 1969 г.,  $t_0=07-00-06.6$ , 73.38 с.ш., 54.796 в.д., зарегистрированных станцией Талгар TLG, приборами СКМ с прямолинейной записью и РВЗТ с криволинейной записью.

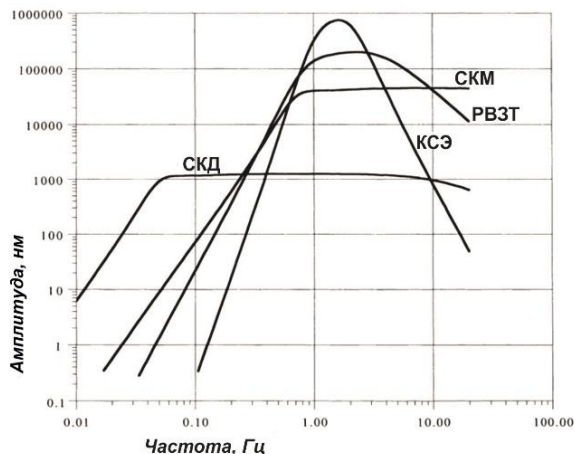


Рисунок 2. Амплитудно-частотные характеристики аналоговых приборов

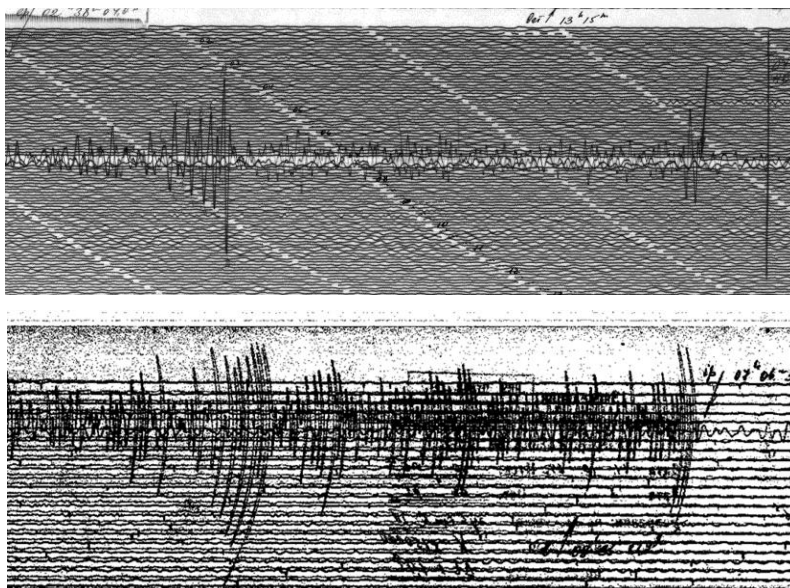
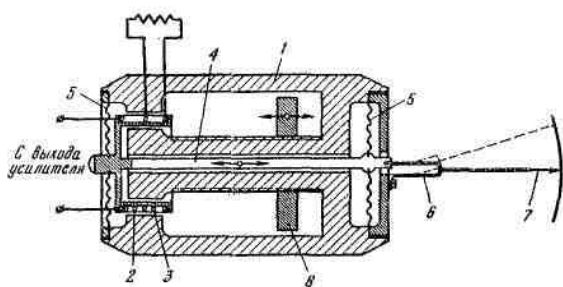


Рисунок 3. Фрагменты аналоговых сейсмограмм 16 октября 1969 г.,  $t_0=07-00-06.6$ , 73.38 с.ш., 54.796 в.д., зарегистрированных станцией Талгар TLG, прибор а) СКМ б) РВЗТ, компонента Z

На рисунке 4 представлен схематический разрез перописующей головки приборов РВЗТ и КСЭ, а на рисунке 5 – механико-математическая схема регистрации дугообразного перописца.



1 – магнитная система, 2, 3 – катушки, 4 – стержень; 5 – дисковые пружины; 6 – п-образная пружина, 7 – перо, 8 – магнитный шунт

Рисунок 4. Схематический разрез перописующей головки приборов РВЗТ и КСЭ

По схеме видно, что сейсмическая запись деформируется, и при оцифровке необходимо исправлять сейсмическую запись за счет кривизны, согласно формуле:

$$t(i) = \frac{60}{d} \left\{ x(i) - r \frac{\arcsin(r^2 + a^2 - R^2 + [y(i) - b]^2)}{2ar} + r \frac{\arcsin(r^2 + a^2 - R^2 + b^2)}{2ar} \right\} \quad (1)$$

Проведен анализ существующих программ оцифровки, позволяющих оцифровывать криволинейные сейсмограммы:

1) TESEO – разработана в INGV (Италия). Платформа LINUX, WINDOWS.

2) DGS – разработана в SYNAPSE (Россия). Платформа UNIX, LINUX, WINDOWS.

Оба программных пакета наряду с преимуществами имеют и ряд недостатков, DGS – лицензионный коммерческий продукт, а оцифровка с помощью TESEO занимает гораздо больше времени, чем

программный комплекс NXSCAN, который используется в РГП ИГИ для оцифровки прямолинейных сейсмограмм.

#### МЕТОДИКА ОЦИФРОВКИ ДУГООБРАЗНЫХ АНАЛОГОВЫХ СЕЙСМОГРАММ

В 2012 году стартовал совместный с Ламонт-Дохертской обсерваторией Колумбийского университета США проект по оцифровке исторических сейсмограмм из архивов Казахстана, предусматривающий оцифровку дугообразных сейсмограмм, зарегистрированных приборами РВЗТ и КСЭ [1], и созданию общей базы данных сейсмограмм ядерных взрывов, оцифрованных в рамках различных проектов. На основе алгоритмов, составленных в ИГИ, сотрудники LDEO создали программно-математическое обеспечение DEARC, которое позволяет корректировать дугообразные сейсмограммы, приводить их к стандартному виду.

На рисунке 6 приведена схема – технология оцифровки дугообразных аналоговых сейсмограмм. Сканирование производится при помощи широкоформатного сканера ContexScanPlusIII-400T с разрешением 400 отсчетов/дюйм. При сканировании используется программно-математическое обеспечение CADImage. Далее отсканированные образы дугообразных сейсмограмм приводятся к стандартному прямолинейному виду при помощи программы DEARC, затем данные передаются по ftp на рабочую станцию SUN. Оцифровка проводится в полуавтоматическом режиме при помощи программно-математического обеспечения NXSCAN. Фрагменты аналоговых сейсмограмм, оцифрованные программой NXSCAN, сохраняются в формате SAC (Seismic Analysis Code), после чего преобразуются в формат CSS 3.0 (Center for Seismic Studies v.3.0). Из оцифрованного материала создается база данных, каждая запись в которой содержит следующие таблицы CSS 3.0: wfdisc, site, sitechan, assoc, origin, instrument, sensor.

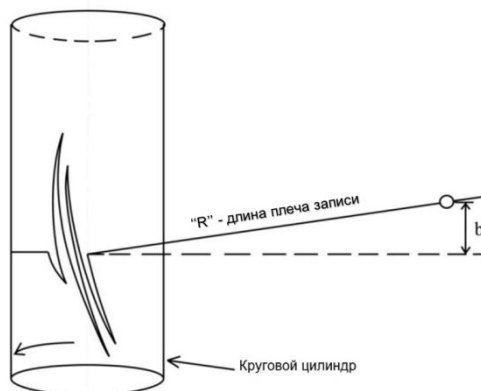
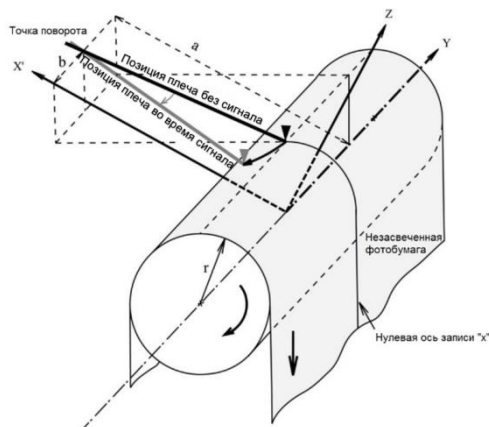
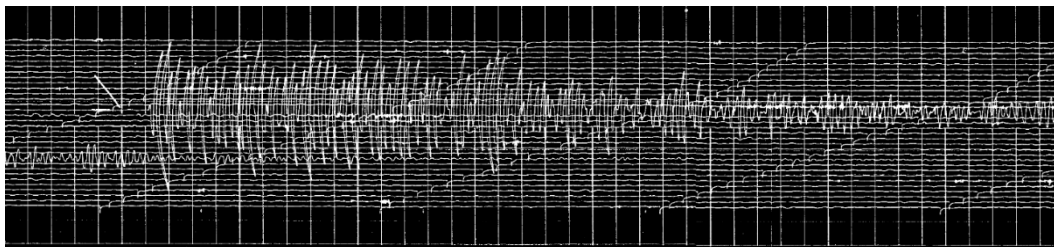


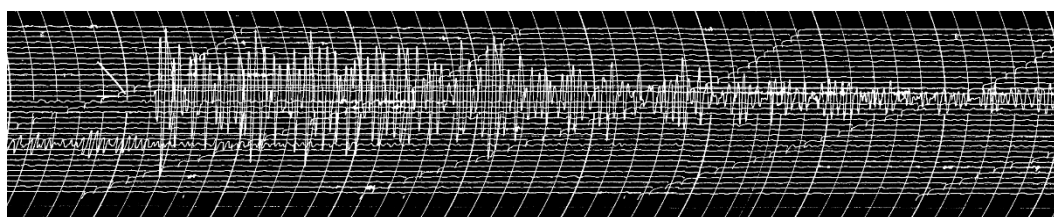
Рисунок 5. Механико-математическая схема регистрации дугообразного перописца по Stefano Pintore [3]



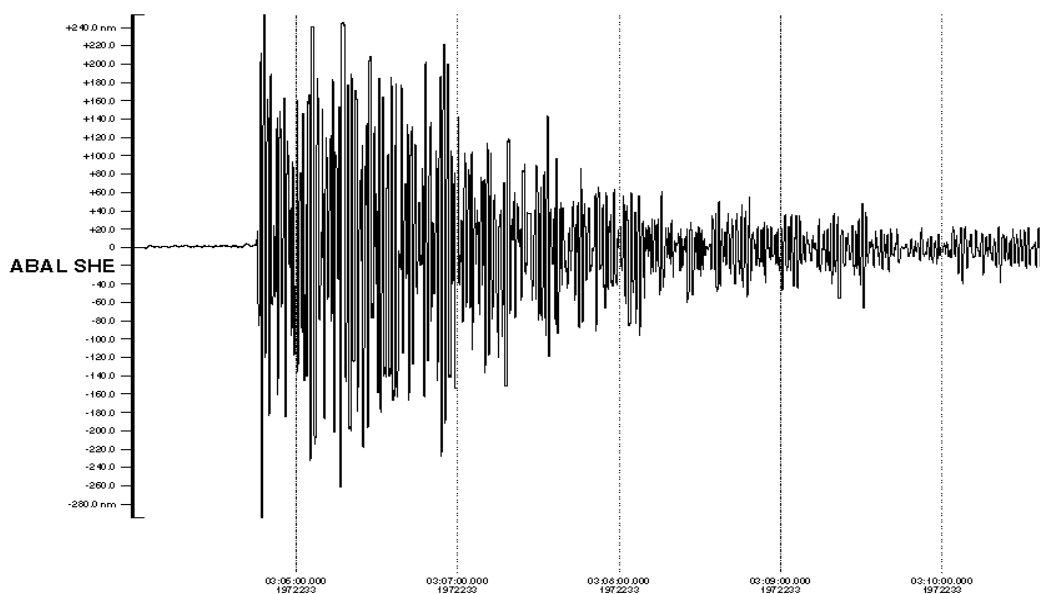
Рисунок 6. Технология оцифровки дугообразных аналоговых сейсмограмм



а) оригинальная сейсмограмма



б) сейсмограмма, преобразованная программой DEARC



в) оцифрованная сейсмограмма

Рисунок 7. Процесс преобразования сейсмограммы с дугообразной записью (а) в прямую с помощью программы Dears (б) и последующей оцифровки записи (в) для мирного ядерного взрыва Регион-3, 20 августа 1972 г.,  $t_0=03:00:00$ , 49.400 с.ш., 48.142 в.д., зарегистрированная станцией Абалаково ABAL, прибор РВЗТ, компонента в-з

На рисунке 7 представлен пример оригинальной дугообразной сейсмограммы мирного ядерного взрыва Регион-3, 20 августа 1972 г., зарегистрированной станцией Абалаково (ABAL), сейсмограммы преобразованной к стандартному виду и оцифрованный фрагмент записи.

Новое программно-математическое обеспечение было протестировано и внедрено в ЦСОССИ, также

проведена стажировка для сотрудников Курчатовской площадки РГП ИГИ. В настоящее время при помощи нового программно-математического обеспечения оцифровано около 700 исторических сейсмограмм, зарегистрированных приборами РВЗТ и КСЭ из архива КСЭ ИФЗ РАН.

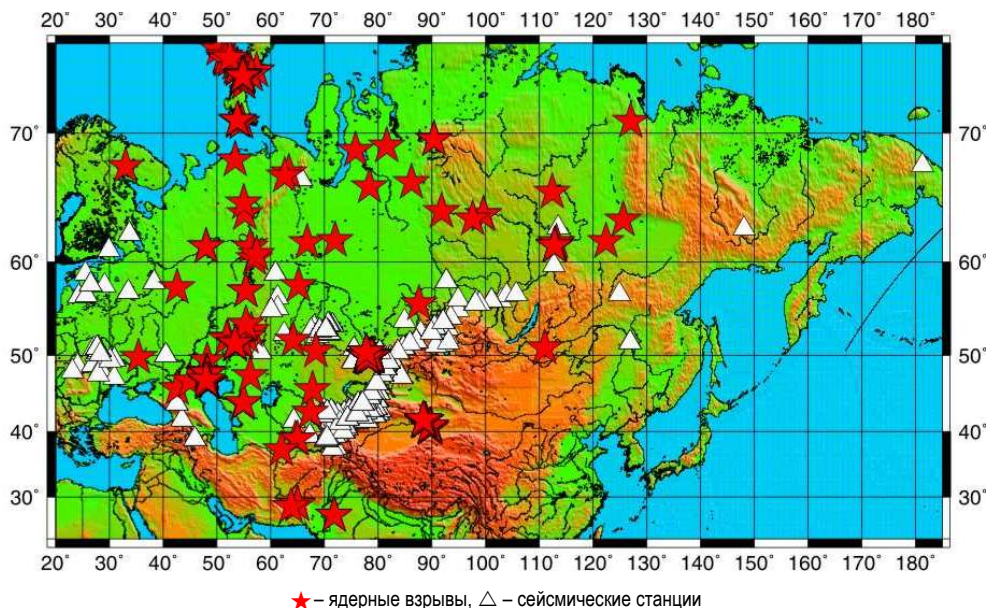


Рисунок 8. Карта расположения эпицентров ядерных взрывов и сейсмических станций на территории Евразии, сейсмограммы которых были оцифрованы в РГП ИГИ

**ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗЫ ДАННЫХ  
ОЦИФРОВАННЫХ СЕЙСМОГРАММ**

База данных оцифрованных сейсмограмм ядерных взрывов в данный момент включает более 7500 записей из районов испытательных полигонов: Семипалатинский испытательный полигон, Новая Земля, Лобнор, Похаран, Чагай, Муруроа, Невада, Амчитка, Ин-Эккер, а также в местах проведения мирных ядерных взрывов на территории СССР и мощных химических взрывов на территории Центральной Азии. На рисунке 8 представлена карта расположения эпицентров ядерных взрывов и сейсмических станций на территории Евразии, сейсмограммы которых были оцифрованы в РГП ИГИ.

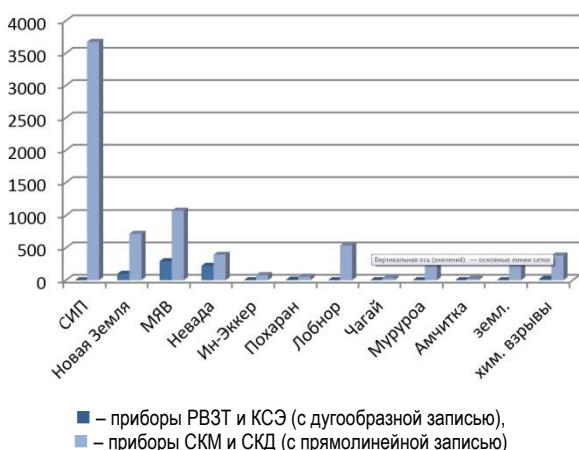


Рисунок 9. Распределение оцифрованных записей взрывов по испытательным полигонам мира

Работы по оцифровке исторических аналоговых сейсмограмм продолжаются. В настоящее время база данных оцифрованных сейсмограмм ядерных

взрывов используется в ряде задач мониторинга, таких как сейсмическое распознавание, калибровка станций, построение региональных годографов и др. [4-6].

На рисунке 9 показана диаграмма распределения оцифрованных сейсмограмм по полигонам.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Впервые в РГП ИГИ совместно с Ламонт-Дохерской обсерваторией Колумбийского университета США, разработана и внедрена новая методика, позволяющая оцифровывать аналоговые сейсмограммы с дугообразными записями от приборов РВЗТ и КСЭ, которые доступны для мирового сообщества.

2. В настоящее время создана и постоянно пополняется уникальная база данных сейсмограмм ядерных взрывов в формате CSS3.0, с использованием архивных записей. В базе данных содержится более 7500 сейсмограмм ядерных взрывов, землетрясений и мощных химических взрывов из районов испытательных полигонов. Из них 700 записей, зарегистрированных приборами РВЗТ и КСЭ.

3. Созданная база данных оцифрованных сейсмограмм активно используется для решения различных исследовательских задач сейсмологии: для сейсмического распознавания ядерных взрывов и землетрясений, изучения пространственно-временных вариаций поля поглощения поперечных волн, построения региональных годографов сейсмических волн, оценки сейсмической опасности и др.

**Благодарности:** авторы выражают признательность сотруднику Ламонт-Дохертской Обсерватории Колумбийского университета США профессору В.-Я. Киму за разработку программного пакета DEARC, обучение сотрудников РГП ИГИ.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Основные типы сейсмометрических приборов. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. З.И. /Аранович [и др.] - М.: Наука, 1974. – 43 – 117 с.
2. NXSCAN. Manual. Incorporated research institutions for seismology (IRIS), - Washington, - USA, 1992.
3. Stefano Pintore. Teseo User Manual / Stefano Pintore, Matteo Quintiliani / Istituto Nazionale de Geofisica e Vulcanologia. – Roma. – Italy, 2007.
4. Sokolova, I.N. Study of Historical Seismic Records in Kazakhstan / I.N. Sokolova, I.B. Aleschenko, A. A. Velikanova, A.N. Uzbekov // European Seismological Commission 33rd General Assembly. - Moscow, - 2012. – 19 - 24 August.
5. Соколова, И.Н. Уточнение параметров слабых ядерных взрывов на семипалатинском испытательном полигоне на основе изучения исторических сейсмограмм / И.Н. Соколова., А.Е. Великанов // Вестник НЯЦ РК, 2013. - Вып. 2. - С. 49-56.
6. Узбекиков, А. Н. Особенности волновой картины взрывов разных типов, произведённых на Семипалатинском испытательном полигоне / А. Н. Узбекиков., А. А. Великанова / Актуальные вопросы мирного использования атомной энергии // Международная конференция молодых учёных и специалистов. – 2012. – 6 - 8 июня. - С. 198-205.

**ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ТАРИХИ ЖАЗБАЛАРЫН  
ЦИФРЛАУДЫҢ ЖАҢА ӘДІСТЕМЕСІ**

**Великанова А.А., Узбекиков А.Н., Алещенко И.Б.**

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

ГЗИ РМК алғашқы рет, РВЗТ және КСЭ аспаптардан имек жазбаларымен аналогты сейсмограммаларды цифрлауына мүмкіншілік беретін, жаңа әдістемсін іске енгізген. Жаңа әдістемде, АҚШ Колумбия университетінің Ламонт-Дохер обсерваториясымен бірлесіп ГЗИ-да әзірленген, DEARC жаңа программалық-математикалық жасауы қолданылған. Ол имек сейсмограммаларды түзетуіне және оларды стандартты түзусызықты түріне келтіруіне мүмкіншілік береді. Шамасы 7500 жазбалары бар, соның ішінде цифрлаудың жаңа әдістемесімен 700 жазбалар, ядролық жарылыстардың цифрланған сейсмограммаларының деректер базасы жасалған. Қазіргі кезде цифрланған сейсмограммалардың жазбалары сейсмикалық мониторингтің әр түрлі міндеттері үшін сонымен қатар ядролық жарылыстардың қазіргі кездегі монгиторингісі үшін пайдаланылады. Олардың көмегімен көздерді табу, түрін тану, сондай-ақ сейсмикалық оқиғаның параметрлерін анықтау және бағалау міндеттері шешіледі.

**NEW TECHNIQUE FOR DIGITIZATION OF HISTORICAL RECORDS  
OF NUCLEAR EXPLOSIONS**

**Velikanova A.A., Uzbekov A.N., Aleshenko I.B.**

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

For the first time the RSE IGR has introduced a new technique allowing to digitize analogue seismograms with curvilinear records from instruments RVZT and KSE. The new technique applies DEARC software developed by IGR in cooperation with Lamont-Doherty Observatory of the Columbian University, USA. It allows to correct the curvilinear seismograms and make standard linear form. The database of the digitized seismograms of nuclear explosions containing about 7500 records including 700 records digitized using a new technique was created. Currently, the records of digitized seismograms are used for different tasks of seismic monitoring and for contemporary monitoring of nuclear tests. These help to solve the tasks of detection and discrimination of a source type and to identify and assess the parameters of seismic events.