

УДК 550.344: 621.039.9

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАПИСЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ОЧАГАМИ В РАЙОНЕ ЯДЕРНЫХ ПОЛИГОНОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮЖНОЙ АЗИИ

Великанова А.А., Узбеков А.Н.

*РГП Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Приведены результаты анализа геолого-тектонических характеристик и сейсмичности районов испытательных ядерных полигонов СИП, Лобнор, Чагай и Похаран, расположенных в Центральной и Южной Азии. Для изучения волновой картины землетрясений и решения задачи распознавания ядерных взрывов и землетрясений использованы исторические оцифрованные и современные цифровые сейсмограммы, зарегистрированные станциями, расположенными в Центральной Азии.

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение землетрясений из районов испытательных ядерных полигонов является в настоящее время актуальной задачей для исследователей в области мониторинга. Это обусловлено несколькими аспектами: во-первых, в связи с задачей сейсмического распознавания ядерных взрывов и землетрясений; во-вторых, с изучением сейсмической опасности районов испытательных полигонов, так как на этой территории могут находиться ответственные объекты, связанные с инфраструктурой полигона, и объекты радиационного заражения; в третьих, с целью изучения геодинамических процессов, связанных с поствзрывными эффектами.

### ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПОЛИГОНОВ СИП, ЛОБНОР, ЧАГАЙ, ПОХАРАН

*Семипалатинский испытательный полигон* расположен в Казахстане на территории трех областей (Восточно-Казахстанской, Павлодарской и Карагандинской) с общими размерами 180 км по длине и 140 км по ширине. Площадь полигона - 18450 км<sup>2</sup>. Географические координаты центра территории 50° с.ш. 78° в.д. В топографическом плане территория СИП представляет собой совокупность различных типов рельефа – равнинного в пределах площадок Балапан, Опытного поля и горного в пределах площадок Дегелен, Муржик. В геологическом отношении территория полигона представлена большим разнообразием горных пород от осадочных и эффузивно-осадочных (глинами, песчаниками, сланцами, туфами и т.д.) до эффузивных и интрузивных образований (липарито-дацитов, гранитов, диоритов, сиенитов и т.д.) различного возраста от четвертичного и триас-юрского до каменноугольного [1]. На территории СИП в период 1949-1989 гг. было проведено 456 ядерных испытаний, в том числе 116 атмосферных и 340 подземных. Испытания проводились в различных технических условиях (в атмосфере, в вертикальных скважинах, в горизонтальных штольнях и т.д.). Глубина проведения ПЯВ для скважин участка Балапан находилась в пределах от 150 до 700 м. Мощность ядерных зарядов изменялась в

пределах от 0,001 до 1500 кт [2]. Район территории СИП характеризуется сложной тектонической обстановкой. Через территорию СИП проходят мощные региональные разломы северо-западного простирания. Один из них – Главный Чингизский разлом (самый сейсмоактивный) простирается далеко на юго-восток, на границе с Китаем он соединяется с Джунгарским сейсмоактивным разломом северо-западного простирания и далее эта активная тектоническая структура (разлом) проходит через полигон Лобнор (рисунок 1, таблица 1).

*Полигон Лобнор* (Северно-Западный Китай) расположен в провинции Синьцзян, приблизительно в 600 км к юго-востоку от Казахстанско-Китайской границы. Географические координаты: 41°30' с.ш. 88°30' в.д. Полигон расположен в пустыне Такла-Макан в восточной части Таримской впадины, которая относится к бессточной области или области внутреннего стока воды. Поверхность впадины сложена рыхлыми песками, на окраинах – пролювиальными и аллювиальными отложениями (рисунок 1, таблица 1). Коренные породы в районе полигона выходят в виде небольших холмов, гребней и представлены в основном конгломератами, песчаниками и небольшими проявлениями гранитов. В период 1964-1996 гг. на ядерном полигоне Лобнор проведено 47 ядерных испытаний, в том числе 23 атмосферных и 24 подземных. Мощность ядерных зарядов для поверхностных испытаний находится в пределах от 8 до 4000 кт, для подземных испытаний от 1 до 660 кт [3]. Подземные ядерные испытания выполнялись в скважинах и горизонтальных штольнях. Информация о глубине заложения заряда отсутствует. Район полигона Лобнор характеризуется сложной тектонической обстановкой. Через участок полигона кроме отмеченного выше Джунгарского разлома проходят региональные тектонические разломы субширотного простирания согласно орогенным структурам Восточного Тянь-Шаня. Все эти разломы сейсмоактивны, включая и Джунгарский разлом, который подходит со стороны СИП (рисунок 1, таблица 1).

*Полигон Похаран* (Индия) расположен в северо-западной части страны. Географические координаты

ты: 27°04' с.ш. и 71°46' в.д. Район полигона Похаран характеризуется равнинным типом рельефа и приурочен к Индо-Гангской равнине в месте глубокой впадины у южного подножья Гималаев. В геологическом плане район представлен мощными четвертичными и неогеновыми осадочными отложениями (аллювиальными глинами, песками и конгломератами) (рисунок 1, таблица 1). В 1974 и 1998 годах на полигоне Похаран было проведено три ядерных испытания, в которых было взорвано шесть ядерных устройств. Заряды ядерных устройств располагались в скважинах, мощность зарядов находится в интервале от 12 до 46 кт [4]. Район Полигона Похаран характеризуется более спокойной тектонической обстановкой, так как он находится в северо-западной части Индийской платформы. Через территорию полигона проходят редкие тектонические разломы северо-восточного простирания. Территория полигона в сейсмическом отношении малоактивна.

Полигон Чагай (Пакистан) расположен в западной части страны. Географические координаты:

28°54' с.ш. и 64°54' в.д. Полигон Чагай находится в пустынной равнине Харан южнее горного хребта Чагай. Сама равнина сложена мощной толщей речных аллювиальных отложений. Коренные породы хребта сложены эффузивно-осадочными породами кайнозойского возраста (рисунок 1, таблица 1). На полигоне Чагай 28.05 и 30.05.1998 г. было проведено два подземных ядерных испытания, в которых было взорвано от трех до шести ядерных устройств. Мощность зарядов находится в интервале от 15 до 45 кт [4]. В районе полигона Чагай наблюдается довольно сложная тектоническая обстановка. Через полигон проходят мощные региональные сейсмоактивные тектонические разломы ССВ простирания. Эти тектонические структуры, уходя далее на северо-восток, пересекают активную в сейсмическом отношении горную систему Гиндукуш. В южной части полигона Чагай к региональным тектоническим разломам СВ простирания с западной стороны примыкает система субширотных тектонических разломов (рисунок 1).

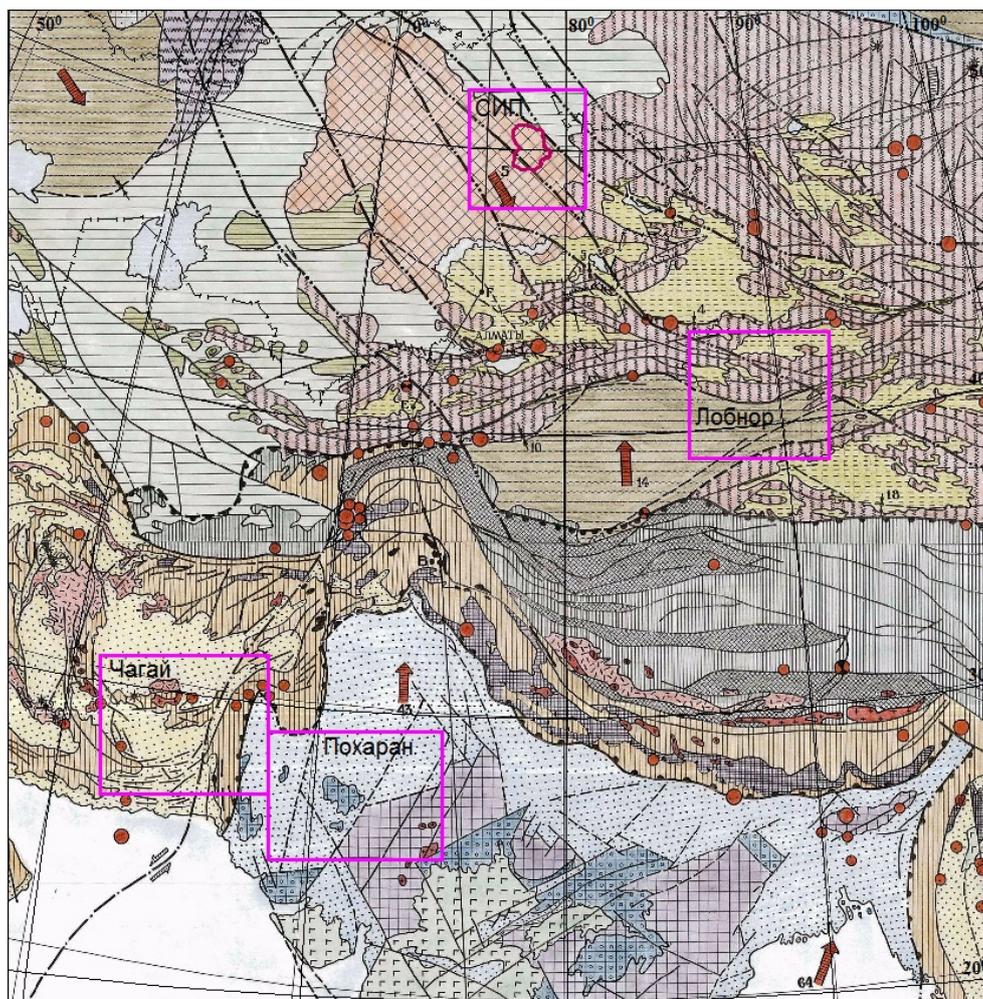


Рисунок 1 – Положение исследуемых полигонов на карте Альпийской геодинамики Северной и Центральной Азии (составленной А. В. Тимушем, Институт сейсмологии Республики Казахстан) 1996 г.

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАПИСЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ОЧАГАМИ В РАЙОНЕ ЯДЕРНЫХ ПОЛИГОНОВ  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮЖНОЙ АЗИИ**

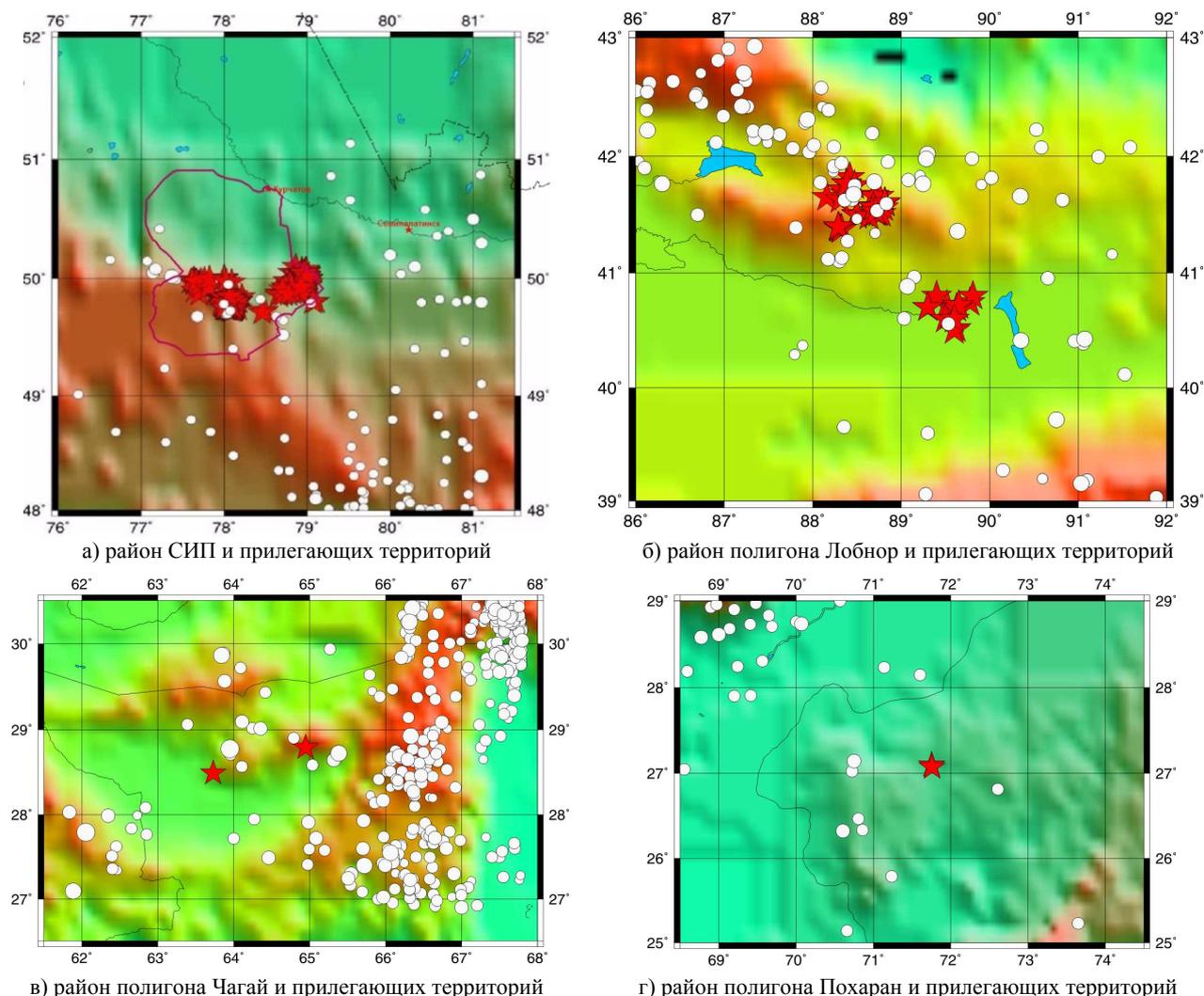
*Таблица 1 – Характеристика сейсмичности полигонов Центральной и Южной Азии*

Название полигонов	Географическое положение	Кол-во ядерных испытаний	Характеристика сейсмичности с 1960 г.	Геологические условия
СИП (Казахстан)	СВ часть Казахстана	456	Слабосейсмичный район, максимальная магнитуда $m_b=5.1$	Все типы горных пород (интрузивные, эффузивные, осадочные и т.д.)
Лобнор (Китай)	СЗ часть Китая	47	Район со средним уровнем сейсмичности, максимальная магнитуда $m_b=5.7$	В основном отложения осадочных образований
Похаран (Индия)	СЗ часть Индии	3	Район со средним уровнем сейсмичности, максимальная магнитуда $m_b=5.9$	В основном отложения осадочных аллювиальных образований
Чагай (Пакистан)	Западная часть Пакистана	2	Сейсмически активный район, максимальная магнитуда $m_b=7.2$	В основном отложения осадочных аллювиальных образований

**СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Для исследуемых ядерных полигонов были использованы данные сейсмичности с 1960 года, когда началась непрерывная сейсмическая регистрация событий по территориям Центральной и Южной Азии. Расширение площади исследуемых районов было выбрано в связи с тем, что точность локализации в

60е - 70е годы прошлого столетия была низкая, кроме того, сильные землетрясения на расстояниях 100-200 км могут представлять сейсмическую опасность для объектов инфраструктуры полигона. Для полигона Лобнор был выбран район, ограниченный координатами 39-43 с.ш. 86-92 в.д., для Похарана 25-29 с.ш. 68,5-75 в.д., для Чагая 26,9-30,9 с.ш. 61,8-67,8 в.д., для СИП 48-52 с.ш. 75-81.1 в.д. (рисунок 1).



*Рисунок 2 – Карты расположения эпицентров землетрясений (кружки) и ядерных взрывов (звездочки), проведенных на испытательных полигонах Центральной и Южной Азии*

Для характеристики сейсмичности полигонов были использованы данные сейсмических каталогов, составленных Геологической службой США (USGS) с 1960 г. по 2013 г. [5]. После выборки из полученных каталогов сейсмических событий были удалены данные ядерных и химических взрывов согласно опубликованным литературным данным [2, 3, 4, 6]. Для территории СИП дополнительно использовались данные сейсмических служб бывшего Советского Союза [7, 8, 9, 10, 11]. Использовались и различные литературные источники, из которых наиболее существенными оказались данные, полученные в работе В. Халтурина [12]. Начиная с 1996 – 2013 гг. для территории СИП использовались данные из сейсмических бюллетеней ЦСОССИ РГП ИГИ, а также данные сети полевых наблюдений, развернутой на территории испытательных площадок Балапан, Дегелен и Сары-Узень 2005-2010 гг. [13]. На рисунке 2а-г представлены карты расположения эпицентров землетрясений и ядерных взрывов, проведенных на испытательных полигонах Центральной и Южной Азии.

Для детального изучения волновой картины землетрясений из районов полигонов из различных сейсмологических архивов Центральной Азии (КСЭ ИФЗ РАН, РГП ИГИ, СОМЭ МОН РК, ИС НАН КР) выбраны и оцифрованы аналоговые исторические сейсмограммы землетрясений. На рисунке 3 показано расположение станций, по которым собраны и оцифрованы записи землетрясений из районов испытательных полигонов Центральной и Южной Азии.

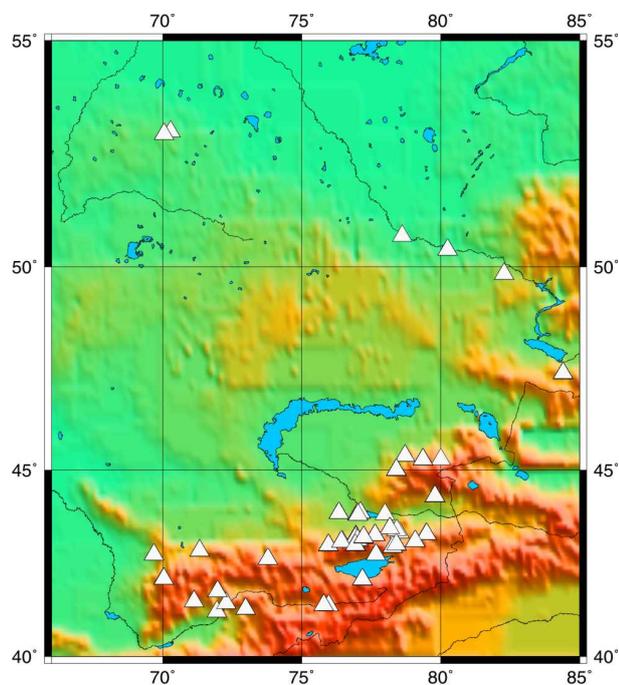


Рисунок 3 – Расположение аналоговых сейсмических станций, записи которых были использованы для оцифровки

### База данных оцифрованных землетрясений из районов полигонов

Аналоговые сейсмограммы сканировались и оцифровывались. В качестве программного обеспечения использован программный комплекс “NXSCAN” [14], который в полуавтоматическом режиме позволяет оцифровывать предварительно отсканированные сейсмограммы. Из оцифрованного материала создана база данных, каждая запись в которой содержит следующие таблицы CSS 3.0 [15]: wfdisc, site, sitechan, assoc, origin. Ниже приведена краткая характеристика оцифрованных записей.

### Землетрясения вблизи полигона Лобнор

Оцифровано 204 сейсмограммы 24 землетрясений вблизи полигона Лобнор за 1967 - 1999 гг. На рисунке 4 показано распределение количества оцифрованных записей землетрясений по расстояниям, диапазон эпицентральных расстояний составляет 540-1550 км. На рисунке 5 приведен пример оцифрованной записи землетрясения вблизи полигона Лобнор, 01.21.1990 07-53-31.9,  $\varphi = 41.534^\circ$ ,  $\lambda = 88.728^\circ$ , станция AAA.

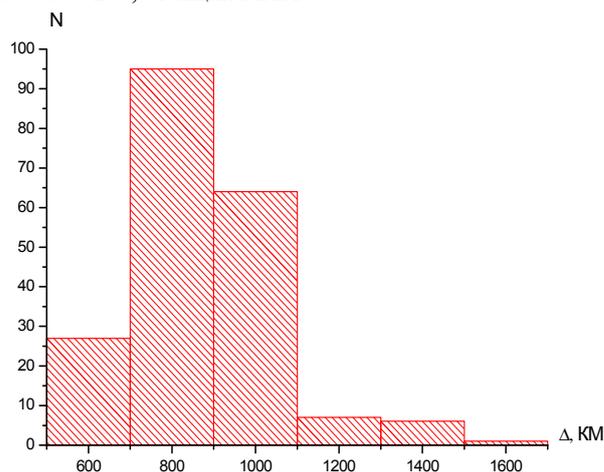


Рисунок 4 – Распределение эпицентральных расстояний для оцифрованных записей землетрясений вблизи полигона Лобнор

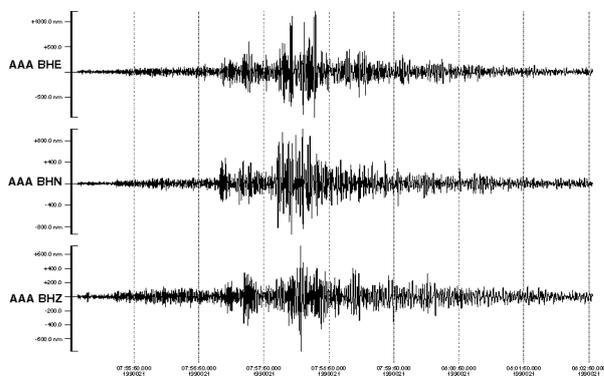


Рисунок 5 – Пример оцифрованной сейсмограммы землетрясения вблизи полигона Лобнор, 01.21.1990 07-53-31.9,  $\varphi = 41.534^\circ$ ,  $\lambda = 88.728^\circ$ , станция AAA

**Землетрясения вблизи Семипалатинского испытательного полигона**

Оцифровано 54 сейсмограммы 6 землетрясений вблизи СИП за 1966 - 1996 гг. На рисунке 6 показано распределение количества оцифрованных записей землетрясений по расстояниям, диапазон эпицентральных расстояний составляет 260-1065 км. На рисунке 7 приведен пример оцифрованной записи землетрясения вблизи СИП, 03.20.1976 04-03-42.5,  $\varphi = 50.04^\circ$ ,  $\lambda = 77.321^\circ$ , станция EKS.

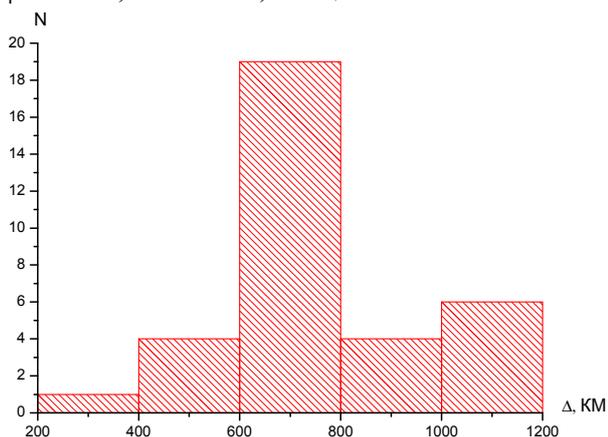


Рисунок 6 – Распределение эпицентральных расстояний для оцифрованных записей землетрясений вблизи СИП

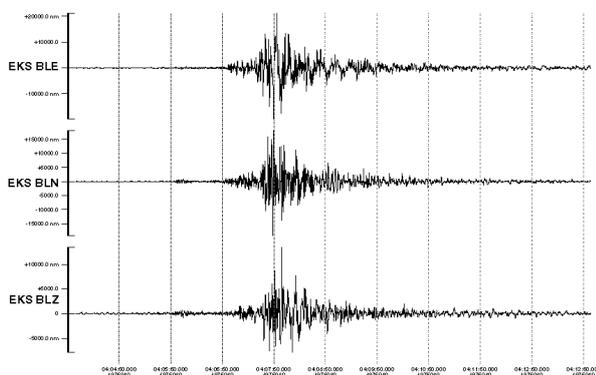


Рисунок 7 – Пример оцифрованной сейсмограммы записи землетрясения вблизи СИП, 03.20.1976 04-03-42.5,  $\varphi = 50.04^\circ$ ,  $\lambda = 77.321^\circ$ , станция EKS

**Землетрясения вблизи полигона Чагай**

Оцифровано 8 сейсмограмм 8 землетрясений вблизи ядерного полигона Чагай за 1980 - 1991 гг. Диапазон эпицентральных расстояний составляет 1695-2745 км. Диапазон магнитуд mb: 4.5-5.4.

**Землетрясения вблизи полигона Похаран**

Оцифровано 16 сейсмограмм 11 землетрясений вблизи ядерного полигона Похаран за 1966 - 1978 гг. Диапазон эпицентральных расстояний составляет 1360-1755 км. Диапазон магнитуд mb: 4.5-5.1.

На рисунке 8 а, б показано распределение оцифрованных записей землетрясений и ядерных взрывов по полигонам.

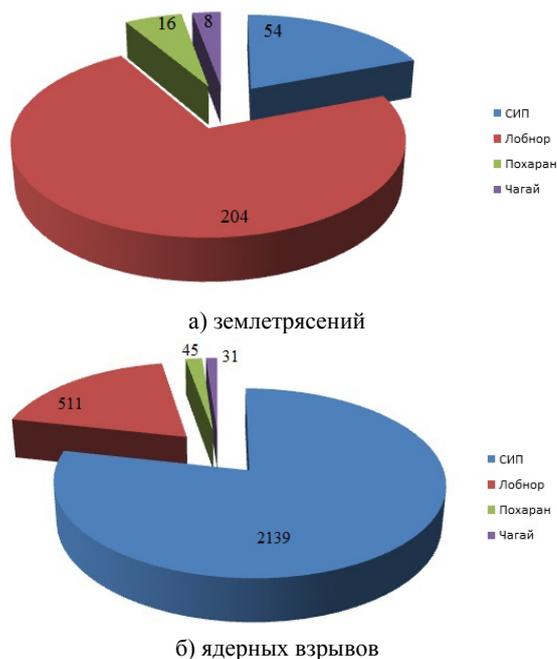


Рисунок 8 – Распределение оцифрованных записей по испытательным полигонам

**КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛНОВОЙ КАРТИНЫ ЗАПИСЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, БЛИЗКИХ К ПОЛИГОНАМ**

Рассматриваемые события из районов, прилегающих к испытательным полигонам, условно можно разделить на 3 зоны: I – зона с эпицентральными расстояниями до 1000 км, II зона - от 1000-2000 км, III зона с эпицентральными расстояниями от 2000 до 3500 км. При взрывах, производимых под землей, регистрируются те же продольные и поперечные волны, связанные со слоями в земной коре, которые наблюдаются на соответствующих эпицентральных расстояниях в данном районе и при мелкофокусных землетрясениях. Основные фазы сейсмических волн, выделяемые на региональных расстояниях в районе Центральной Азии, – это Pn(P), Pg, Sn и Lg [16]. Группы Sn и Pn сформированы соответственно поперечными и продольными волнами, проникающими в верхнюю мантию. Волны Lg и Pg образованы соответственно поперечными и продольными волнами, за пределами отраженными от границ земной коры.

На рисунке 9 приведены сейсмограммы из рассматриваемых районов по сейсмостанции Талгар. Верхняя из них – землетрясение вблизи СИП 12 декабря 1966 г.,  $\Delta=709$  км. Четко выделяются фазы Pn, Sn, Lg. Вторая сейсмограмма – землетрясение вблизи полигона Лобнор 30 января 1999 г.,  $\Delta=937$  км. Четко выделяются фазы Pn, Pg, Sn, Lg. Третья сейсмограмма – землетрясение вблизи индийского полигона Похаран 12 июля 1999 г.,  $\Delta=1620$  км, на ней выделяются фазы Pn, P, S, Lg. Нижняя сейсмограмма – землетрясение вблизи пакистанского полигона

Чагай 2 октября 1984 г.,  $\Delta=2070$  км, выделяются фазы Pn, P, S, фазу Lg выделить очень сложно.

Из рисунка 9 четко видны отличия между сейсмограммами для рассматриваемых районов. Анализ сейсмограмм показывает, что на региональных расстояниях, на короткопериодных записях сейсмостанции Талгар для многих районов Евразии доминирует по интенсивности группа Lg. Такой тип волновых полей наблюдается в первую очередь для регионов, где среднее поглощение поперечных волн сравнительно слабое, такими регионами являются в первую очередь районы полигона Лобнор и СИП. Для района, прилегающего к полигону Чагай, короткопериодная группа Lg отсутствует. Из рисунка видно, что полигон СИП расположен в районе относительно слабого поглощения, трассы на сейсмо-

станцию также характеризуются пониженным поглощением. Отношение Lg/P для событий из этого района должно быть выше 1. Полигон Чагай расположен в области с повышенным поглощением, трассы от эпицентров на сейсмостанцию также проходят через области с сильным поглощением, например Гиндукуш, с этим связано отсутствие группы Lg на сейсмограммах для событий из этого района. Отношения Lg/P, S/P для этого района должно быть существенно ниже 1. Индийский испытательный полигон Похарани Китайский полигон Лобнор находятся в районах промежуточного поглощения поперечных волн, трассы эпицентр - сейсмическая станция проходят также через области промежуточного и пониженного поглощения. Отношение Lg/P для этих районов должно быть около 1.

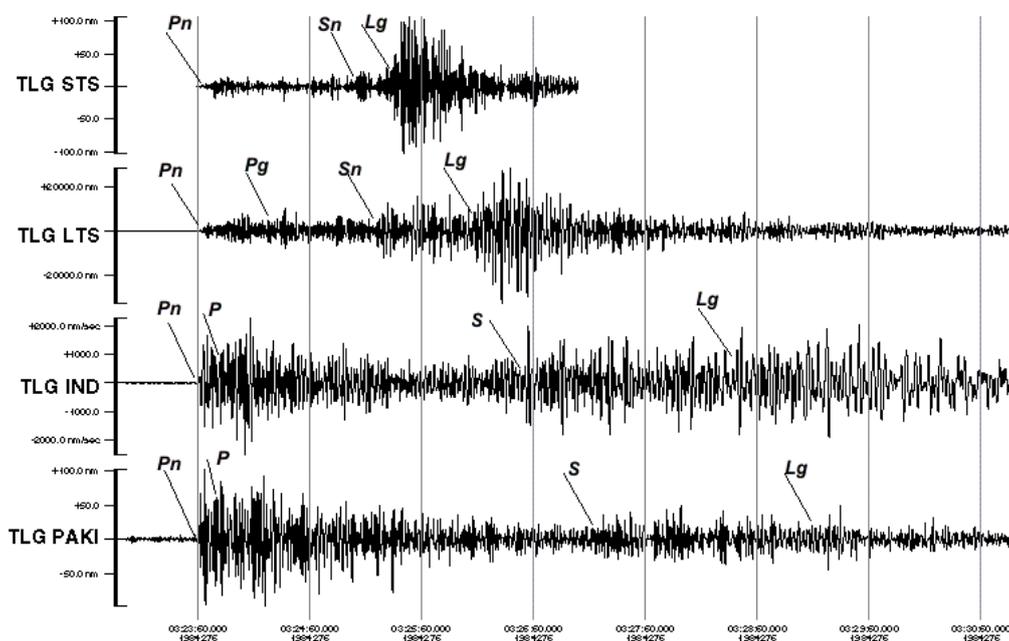


Рисунок 9 – Сейсмограммы землетрясений, близких к испытательным полигонам. Сейсмостанция Талгар, фильтр СКМ, вертикальная компонента

#### ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ЗАПИСЕЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА

Полученная база данных записей землетрясений из районов испытательных полигонов Центральной и Южной Азии в настоящее время широко используется в ряде задач мониторинга:

1. Для уточнения параметров исторических землетрясений из районов полигонов.
2. Для построения фокальных механизмов очага.
3. Для изучения сейсмической опасности районов испытательных полигонов.
4. Для изучения геодинамических процессов, на территории полигонов, связанных с поствзрывными эффектами.
5. Для сейсмического распознавания ядерных взрывов и землетрясений.

Ниже приведен пример распознавания ПЯВ и землетрясений на СИП по станции Талгар, расположенной на Северном Тянь-Шане.

По станции Талгар было обработано 133 события из района СИП с эпицентрными расстояниями от 502 до 1065 км и магнитудами  $m_b$  3.8-6.5, из них 9 землетрясений и 124 подземных ядерных взрыва. Проводились измерения максимума амплитуд по волновым фазам: Pn, Pg, Sn, Lg, а также замерялся максимум между Sn и Lg (Sm). Использовались фильтры с центральными частотами 0.6, 1.25, 2.5, 5 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы на уровне 3 Дб от максимума.

На рисунке 10 представлены основные результаты замеров отношений Sm/Pg на вертикальной компоненте. Разделение параметров наблюдается на частоте 5 Гц.

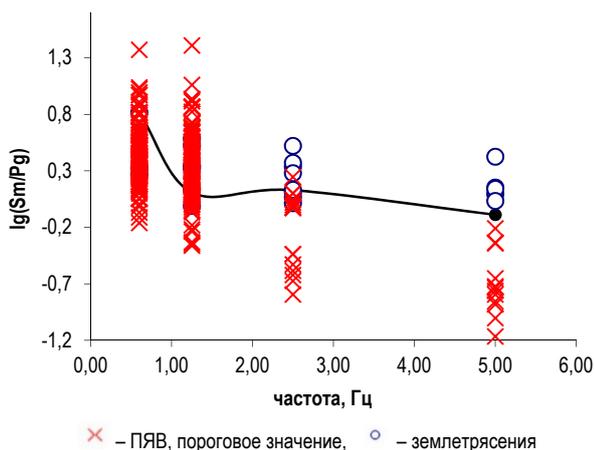


Рисунок 10 – Распределение значений  $Sm/Pg$  для подземных ядерных взрывов и землетрясений, станция TLG, канал Z

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ геолого-тектонической обстановки районов расположения испытательных полигонов, а также уровня сейсмичности испытательных полигонов Лобнор, Семипалатинский испытательный полигон, Чагай и Похаран.

2. Из различных сейсмологических архивов Казахстана выбраны и оцифрованы около 300 аналоговых исторических сейсмограмм землетрясений. Создана база данных в формате CSS3.0, которая используется в настоящее время для различных задач ядерного мониторинга.

3. Проведен детальный анализ волновой картины записей землетрясений из районов ядерных полигонов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов, В.Е. Геологическое строение и полезные ископаемые территории Семипалатинского испытательного полигона / В.Е. Коновалов, Е.Ю. Пестов, Л.А. Русинова [и др.] // Курчатова, НЯЦ РК, 1996.
2. Mikhailov, V.N., USSR Nuclear weapon tests and peaceful nuclear explosions, 1949 through 1990 / V.N. Mikhailov (editor), RFNC-VNIIEF, Sarov, 1996. - 96 p.
3. Terry C. Wallace. The last nuclear weapons test? A brief review of the Chinese nuclear weapons program / C. Terry Wallace, Mark A. Tinker – University of Arizona (USA), 1996. - IRIS newsletter - Vol. 2.
4. Волков А. Интернет-ресурс «Nuclearweapons» /www.nuclear-weapons.nm.ru.
5. Интернет-ресурс <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic>.
6. Халтурин, В.И. Химические взрывы периода 1961-1988 гг. на Семипалатинском испытательном полигоне / В.И. Халтурин, Т.Г. Раутиан, П.Г. Ричардс // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2000. - вып.2. - С. 41-43.
7. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. - М., 1977.
8. Карта сейсмического районирования СССР. Масштаб 1:5 000 000. Объяснительная записка. - М.: Наука, 1984. - С. 32.
9. Сейсмическое районирование Казахстана. - Алма-Ата, Наука, 1979. - С. 140.
10. Землетрясения в СССР. - М.: Наука. Ежегодные сборники за 1962-1991 гг.
11. Землетрясения Северной Евразии. Обнинск: ГС РАН. Ежегодные сборники за 1992-1998 гг.
12. Khalturin, V. A Study of Small Magnitude Seismic Events During 1961-1989 on and near the Semipalatinsk Test Site / V. Khalturin, T. Rautian, P. Richards, - Kazakhstan // Pure appl. geophys. 158, 2001. – P. 143-171.
13. Изучение локальной сейсмичности Семипалатинского испытательного полигона / М.К. Морговская, А.И. Неделков, Г.С. Султанова, Е.Н. Казаков // Вестник НЯЦ РК, 2006. - Вып. 3. – С. 62-69.
14. NXSCAN. Manual. IRIS, 1992.
15. J. Anderson, W.E. Center for seismic studies. Version 3 Database: Schema reference manual. / J. Anderson, W.E. Farrell [et al.] // Technical Report, Arlington. - 1990. – С. 90-91.
16. Нерсесов, И.Л. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км от эпицентра / И.Л. Нерсесов, Т.Г. Раутиан / В кн. Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗАН СССР // М: Наука, 1964. - С. 63-87.

### ОШАҚТАРЫ ОРТАЛЫҚ ЖӘНЕ ОНТҮСТІК АЗИЯНЫҢ ЯДРОЛЫҚ ПОЛИГОНДАРЫ АУДАНЫНДАҒЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРДІҢ ЖАЗБАЛАРЫН ЗЕРДЕЛЕУ

Великанова А.А., Узбеков А.Н.

Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатова, Қазақстан

Орталық және Оңтүстік Азияда орналасқан ССП, Лобнор, Шағай және Похаран сынау ядролық полигондары аудандарының геология-тектоникалық сипаттамалары мен сейсмикалығын талдау нәтижелері келтірілген. Жерсілкінудің толқындық көрінісін зерделеу және ядролық жарылыстар мен жерсілкінулерді тану міндеттерін шешу үшін Орталық Азияда орналасқан станциялармен тіркелген цифрланған тарихи және қазіргі кездегі сейсмограммалары пайдаланылған.

**STUDY OF EARTHQUAKES RECORDS WITH FOCALS  
AT CENTRAL AND SOUTH ASIA TEST SITE REGIONS**

A.A. Velikanova, A.N. Uzbekov

*RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The work provides analysis of geological and tectonic characteristics and seismicity of the STS, Lop Nor, Chagay and Pokharan Test Sites regions located in Central and South Asia. Detailed analysis of earthquakes records wave pattern was conducted using historical and modern digital seismograms from the Test Sites regions recorded by the stations located in Central Asia that allows to solve tasks on nuclear explosions and earthquakes discriminating.