

УДК 550.34

ИСТОРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И АРХИВНЫЕ СЕЙСМОГРАММЫ КАК ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Соколова И.Н., Михайлова Н.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Проведенными в последние годы исследованиями и анализом архивных данных показано, что на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и в его окрестностях, которые согласно картам общего сейсмического районирования Республики Казахстан (2003 считаются асейсмичными, происходили и происходят тектонические и техногенные землетрясения. Для оценки сейсмичности района СИП проведен анализ мировых сейсмологических бюллетеней, данных по исторической сейсмичности из литературных источников, уточнены параметры землетрясений по собранным, начиная с 1925 г., историческим аналоговым записям. Показано, что на исследуемой территории в период до 1994 г., еще задолго до начала ядерных испытаний, наблюдались довольно сильные местные землетрясения.

ВВЕДЕНИЕ

До последнего времени территория бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и его ближайшего окружения считалась асейсмичной. Это нашло отражение в карте сейсмической опасности – карте общего сейсмического районирования территории Казахстана 2003 г., вошедшей в СНиП РК «Строительные нормы и правила», 2006 г. [1], где для рассматриваемой территории не показаны сейсмогенерирующие зоны и области с возможной интенсивностью сотрясений более 5 баллов. В Институте геофизических исследований после создания Центра данных в 1999 г. ведется планомерное исследование этого вопроса с использованием как исторических данных, так и современных инструментальных наблюдений. Почему вопрос о реальной сейсмической опасности этого района так важен? В настоящее время здесь находится несколько ответственных объектов: 3 исследовательских реакторных установки, штольни и скважины, в которых ранее проводились испытания ядерного оружия и ряд других инфраструктурных объектов. Кроме того, район города Курчатов рассматривается как одно из потенциальных мест строительства в Казахстане атомной электростанции. В связи с этим оценка сейсмической опасности района приобретает особую актуальность.

Срок инструментальных сейсмических наблюдений на СИП не так велик. Вблизи полигона установлена сейсмическая группа (СГ) Курчатов-Крест, построенная в советское время и начавшая работу в 70-х годах прошлого столетия как станция Службы Специального Контроля МО СССР (данные ее были недоступны для гражданской сейсмологии), в 90-х годах СГ Курчатов-Крест вошла в состав сети Института геофизических исследований, была модернизирована и с 2006 г. вошла в состав Международной системы мониторинга по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) в качестве вспомогательной станции. Имеется трёхкомпонентная широкополосная сейсмическая станция KURK, установленная в 1994 г. и входящая в гло-

бальную систему наблюдений Консорциума сейсмологических университетов США IRIS IDA. Продолжает работу сейсмическая станция Семипалатинск, входящая в сеть наблюдений Сейсмологической опытно-методической экспедиции (СОМЭ) МОН РК. Для оценки сейсмической опасности района СИП важно изучить сейсмические события как можно за более длительный срок до начала здесь постоянных инструментальных наблюдений и, особенно, до начала проведения ядерных испытаний и в период функционирования полигона. Эти данные позволят оценить масштаб непрерывного техногенного воздействия от ядерных взрывов на геодинамику района.

В период функционирования Семипалатинского ядерного испытательного полигона (1949–1989 гг.), если на территории полигона и его окрестностей происходило какое-либо сейсмическое событие, сейсмические службы СССР, как правило, не обрабатывали полученные записи и не сообщали о нем в Международные сейсмологические Центры. На окраине полигона в 1947 г. был основан небольшой городок ученых, строителей полигона, разработчиков и испытателей ядерного оружия, в настоящее время – г. Курчатов. Жители городка, ощущавшие сейсмические колебания, воспринимали их как последствия подземных ядерных взрывов и небольшое количество тектонических землетрясений воспринималось ими также как антропогенные события. 26.03.1996 г. на территории бывшего СИП произошло ощутимое тектоническое землетрясение. В г. Курчатов землетрясение ощущалось с интенсивностью $I=3-4$ балла. По сейсмическим записям станций Института геофизических исследований этого события были выделены сигналы от землетрясения с магнитудой 4,3. Его эпицентр находился в непосредственной близости от массива Дегелен. Географически эта местность относится к северным склонам хребта Муржик, району глубинного Главного Чингизского разлома. Землетрясение вызвало большой резонанс у сейсмологов, в частности, у специалистов Ламонт-Дохертской обсерватории Колумбийского Университета США, ра-

ботавших в области мониторинга ядерных испытаний, поскольку его эпицентр близок к эпицентрам проводившихся на полигоне ядерных испытаний [2]. Детальный анализ записей позволил зарубежным специалистам убедиться, что это событие является землетрясением, обусловленным глубинными тектоническими процессами в земной коре.

В данной статье сейсмичность района СИП описана по макросейсмическим, литературным данным, представлены исторические аналоговые сейсмограммы с давних времен до 1994 г. с учетом того, что начиная с 1994 г. в Казахстане заработала сеть цифровых станций Института геофизических исследований.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СИП

Первые инструментальные сейсмические наблюдения в Российской империи начались только с конца 19 – начала 20 века, когда начали устанавливаться первые сейсмографы для записи сейсмических колебаний. В связи с этим сведения об исторических землетрясениях 17–19 веков основаны на данных макросейсмических описаний из разных источников. Самый полный обзор сейсмичности Семипалатинской губернии с 18 до начала 20 века представлен в исторической справке Чеканинского И.В. [3]. В его работе представлен подробный обзор землетрясений, которые ощущались на территории Семипалатинской области, а также Семипалатинской губернии. Поскольку Чеканинским И.В. описан обширный район, для анализа выбрана информация по нескольким населенным пунктам: г. Семипалатинск, п. Каркаралы, п. Шульбинское, п. Старо-Семипалатинский. В [3] дата события была приведена по-новому и старому стилю, а время – местное, при этом не указывалась интенсивность в баллах, хотя на то время уже существовала десятибалльная шкала сейсмической интенсивности Росси-Фореля. В [3] описаны как местные землетрясения, так и сильные удаленные, например, из районов Алтая, северного Тянь-Шаня, Китая. В связи с этим для интерпретации событий потребовались каталоги землетрясений международных центров данных [4, 5], каталог внутриконтинентальной сейсмичности Л. Сайкса [6], а также «Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР» [7] и каталог из работы «Сейсмическое районирование Казахстана» [8].

Анализ исторической справки [3] показал, что большая часть событий, которые ощущались на исследуемой территории, были удаленными сильными землетрясениями из районов Алтая и Северного Тянь-Шаня. Самым сильным из таких удаленных землетрясений было Кеминское землетрясение, которое ощущалось в г. Каркаралы с интенсивностью $I=3$ балла, и в г. Семипалатинск (где по описанию в домах появились трещины). Кроме удаленных сильных землетрясений, на территории губернии ощущались и местные землетрясения, например,

17.01.1783 г. в г. Семипалатинск ощущали местное землетрясение, после которого наблюдались трещины в стенах многих каменных строений, оседание печей. Другое сильное, близкое землетрясение произошло 28.09.1925 г., недалеко от п. Каркаралы, которое описано как землетрясение значительной силы, «...сопровождавшееся гулом, качанием висячих предметов, звоном посуды в шкафах, движением кроватей на роликах...».

Таким образом, начиная с 18 века было известно о том, что на территории Семипалатинской губернии, а в частности, на территории будущего Семипалатинского полигона и его окрестностей происходили ощутимые землетрясения слабой и средней силы, а также ощущались сильные землетрясения из районов Алтая, Китая и Северного Тянь-Шаня. Максимальная интенсивность $I=6$ баллов наблюдалась у землетрясений 1783 г. (местное) и 1911 г. (удаленное) в г. Семипалатинск.

СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ

В [3] приводится высказывание профессора П.Л. Даверта: «Профессор П.Л. Даверт вполне правильно отметил, что землетрясения на обширной площади Казахстана должны быть более частыми, чем это представляется из обзора скудных литературных данных. Тоже следует сказать и в отношении обширной по территории и разнообразной по своему физическому строению Семипалатинской губернии, составляющей значительную часть Казахстана и подверженной время от времени сейсмическим явлениям. Однако, эти явления, за отсутствием о них более или менее подробных литературных указаний, частных, а иногда и официальных записей и сообщений, не могут дать строго объективного материала для соответствующих практических выводов. К этому следует прибавить основной и весьма существенный недостаток – отсутствие в г. Семипалатинск сейсмической станции, которая имела бы, несомненно, важное значение для края, ввиду географического положения губернии, лежащей, очевидно, в сфере действия тектонических волн, по которым происходит перемещение масс в земной коре, и которые являются угрожаемыми в отношении возможных сейсмических катастроф.».

В 18–19 веках, когда вблизи города Семипалатинск произошли ощутимые землетрясения, на территории Российской империи действительно инструментальных сейсмических наблюдений не было. Станции стали организовываться на рубеже 19–20-х веков. На рисунке 1 приведена карта расположения самых ранних сейсмических станций PUL (1906), TIF (1899), TAS (1901), IRK (1901), SVE (1906), AAA (1927), FRU (1927), CHM (1932), SEM (1934). Регулярные сейсмические наблюдения на территории Средней Азии и Казахстана были начаты в 1901 г. с открытием в Узбекистане сейсмической станции Ташкент, в 1913 г. была открыта сейсмическая станция Самарканд (Узбекистан), в 1927 г. – сейсмиче-

ские станции Алма-Ата (Казахстан), Фрунзе (Киргизия), в 1929 г. – сейсмическая станция Андижан (Узбекистан), в 1932 г. – сейсмическая станция Чимкент (Казахстан), в 1934 г. – сейсмическая станция Семипалатинск (Казахстан), в 1939 г. – сейсмическая станция Душанбе (Таджикистан). Все эти станции были расположены в городах, с достаточно высоким уровнем антропогенных помех, на них устанавливалась аппаратура (Никифоров, СКД и др.) с небольшим увеличением. В будущем эти станции вошли в состав Единой сети сейсмических наблюдений (ЕССН) СССР. Кроме станции Семипалатинск, все сейсмические станции, работавшие в то время, были расположены на большом расстоянии от территории СИП. Учитывая, что аппаратура была с небольшим увеличением, имелась возможность зарегистрировать с территории будущего полигона только самые сильные землетрясения с магнитудой более 4,5.

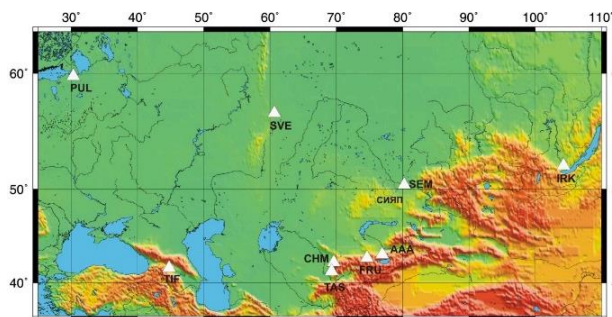


Рисунок 1. Сеть сейсмических станций, созданная до 1935 г.

Начиная с 50-х годов прошлого столетия, были начаты сейсмические наблюдения в районе Северного Тянь-Шаня для задач оценки сейсмической опасности юга и юго-востока Казахской ССР и севера Киргизской ССР. В качестве аппаратуры на сейсмических станциях ИФЗ АН СССР в основном использовались сейсмометры СКМ-3, с большим увеличением, однако параметры сейсмических событий определялись только для сейсмически активных регионов Тянь-Шаня. Бюллетень событий для территории Северо-Восточного, Северного, Центрального и Западного Казахстана не составлялся.

В 1961 г. ИФЗ АН СССР создал Комплексную сейсмологическую экспедицию (КСЭ) в г. Талгар. Основными задачами КСЭ стали изучение строения литосферы, мониторинг ядерных испытаний сейсмическими методами и др. КСЭ было открыто большое количество сейсмических станций на территории бывшего Советского Союза, как стационарных, так и временных. Все станции были оснащены чувствительными приборами типа СКМ-3, УСФ, КСЭ и РВЗТ с увеличением V от 40 000 до 120 000. В 1961–1963 гг. КСЭ установила станции профиля Памир-Байкал [9]. Общая протяженность профиля высокочувствительных сейсмических станций Памир-Байкал составила около 3500 км, общее количество стан-

ций на профиле достигало 54, средний интервал расстояний между станциями составил 70–120 км [9] (рисунок 2).

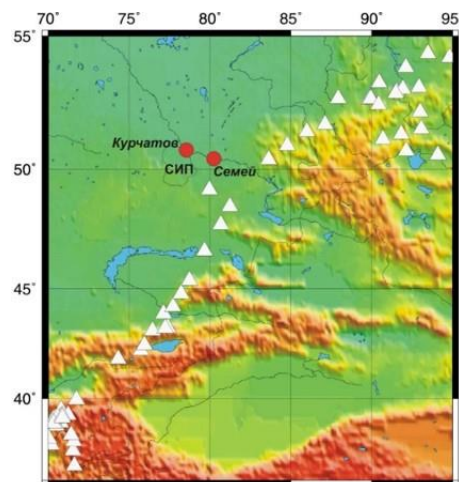


Рисунок 2. Расположение сейсмических станций КСЭ ИФЗ АН СССР 1961–1963 гг.

Профиль пересекал Среднюю Азию, Казахстан, Алтай, Саяны и Прибайкалье. Некоторые станции были расположены вблизи СИП, ими было зарегистрировано 19 землетрясений в исследуемом районе с энергетическими классами $K=7-9$. После 1969 г. КСЭ передала большую часть северо-тянь-шаньских станций, расположенных на территории Казахстана, Институту геологических наук АН КазССР. С 1976 г. станции перешли к вновь созданному Институту сейсмологии АН КазССР. С 1969 г. КСЭ перестала составлять бюллетени сейсмических событий для Центральной Азии. В Институте сейсмологии бюллетени для этой территории также не создавались. В связи с этим для исследования сейсмичности СИП за период 1969–1991 г. в данных исследованиях использованы ежегодные сборники «Землетрясения в СССР» [10], в которых публиковались каталоги Алтае-Саянской экспедиции (рисунок 3).

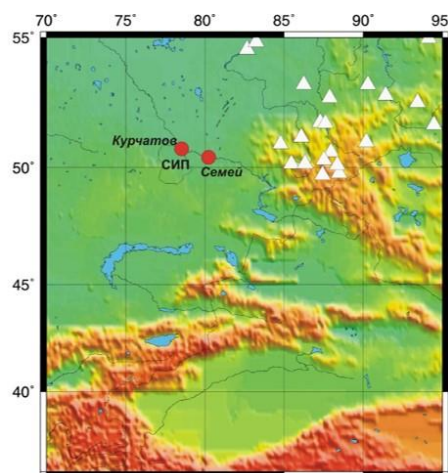


Рисунок 3. Расположение сейсмических станций Алтае-Саянской экспедиции

ОБЗОР СИЛЬНЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СИП

Для исследований сильных исторических землетрясений выбран район, ограниченный координатами: 48–52° с. ш. и 75–81,1° в. д. Для формирования каталога сейсмичности до 1994 г. в районе СИП привлечены такие источники информации, как: 1) сейсмологические бюллетени Международных центров данных [4, 5]; 2) данные по исторической сейсмичности из литературных источников [2, 3, 7, 8, 10]; 3) доступные исторические аналоговые сейсмограммы землетрясений, начиная с 1925 г., по которым проведены уточнения параметров инструментально зарегистрированных землетрясений. На рисунках 4, 5 представлены сейсмограммы наиболее сильных землетрясений с эпицентрами вблизи СИП, найденные в процессе работы в различных архивах.

28 сентября 1925 г.

Землетрясение произошло задолго до начала ядерных испытаний. На рисунке 4-а приведена сейсмическая запись этого землетрясения по данным станции Иркутск из архива Байкальского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», эпицентральное расстояние ~1 915 км. Землетрясение ощущалось в г. Каркаралинск с координатами $\varphi=49,496^\circ\text{N}$, $\lambda=75,474^\circ\text{E}$ [3], который находится к западу от СИП. Параметры землетрясения в различных источниках сильно отличаются. Так, в International Seismological Summary (ISS) [4] приводятся следующие данные: 1925/09/28, $t_0=21:42:25$, $\varphi=45,0000^\circ\text{N}$, $\lambda=77,0000^\circ\text{E}$; в каталоге Л. Сайкса [6]: 1925/09/28, $t_0=21:42:40$, $\varphi=50,00^\circ\text{N}$, $\lambda=76,00^\circ\text{E}$, $M=5,6$; в каталоге сильных землетрясений Казахстана и прилегающих территорий с древнейших времен до 1974 г. [8]: 1925/09/28, $t_0=21:42:36\pm 10\text{с}$, $\varphi=49 (\pm 1^\circ)$, $\lambda=75 (\pm 1^\circ)$, $M_{\text{LN}}=5,6\pm 0,3$, $I_0=6-7\pm 1$. Однако, все вышеперечисленные данные о координатах события не подтверждаются современной сейсмичностью, а также не согласуются с макросейсмическим эффектом в г. Каркаралинск. В связи с этим можно предположить, что эпицентр землетрясения находился в другом месте. Из устного сообщения Никонова А. А. (д. г.-м. наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН), следует, что эпицентр расположен в районе Главного Чингизского хребта, $\varphi\sim 50^\circ$, $\lambda\sim 77^\circ$. Такое землетрясение способно вызвать в эпицентральной зоне колебания с интенсивностью в зависимости от глубины очага 7 и даже 8 баллов. По сейсмограмме станции Иркутск магнитуда землетрясения по поверхностным волнам определена как $M=5,8$.

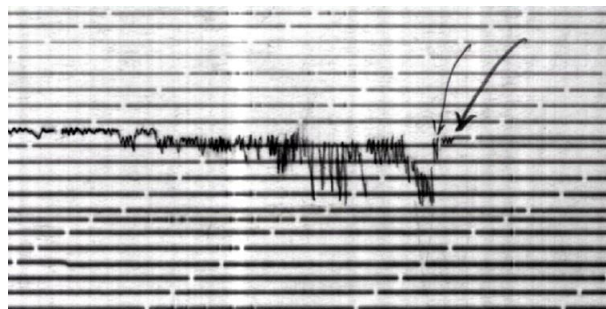
28 октября 1950 г.

В каталоге Л. Сайкса есть информация о землетрясении 28 октября 1950 г., $t_0=16:47:18,0\text{с}$, $\varphi=52,30^\circ$, $\lambda=79,30^\circ$, $M=4,56$. В других каталогах информация об этом землетрясении отсутствует. В под-

тверждении сейсмического события в архиве СОМЭ МОН РК была найдена сейсмограмма станции SEM, расположенной на расстоянии 222 км от эпицентра (рисунок 4-б), на которой имеется сейсмическая запись землетрясения. Следует отметить, что значение $t_s-t_p\sim 30\text{ с}$ соответствует эпицентральному расстоянию ~240 км, что вполне согласуется с данными каталога Л. Сайкса.



а) 28.09.1925 г. ($t_0=21:42:40$, $\varphi=50^\circ$, $\lambda=77^\circ$, $M=5,8$).
Станция IRK (Иркутск)



б) 28.10.1950 г. ($t_0=16:47:18$, $\varphi=52,3^\circ$, $\lambda=79,3^\circ$, $M=5,0$).
Станция SEM (Семипалатинск)

Рисунок 4. Фрагменты исторических аналоговых сейсмограмм землетрясений

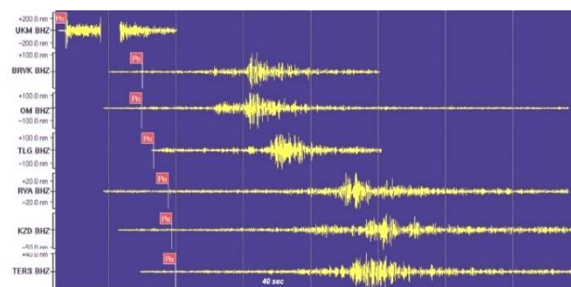
26 декабря 1966 г.

Землетрясение описано в [1] со следующими параметрами: 1966/12/26, $t_0=17:39:38,5$, $\varphi=49,52^\circ$, $\lambda=78,71^\circ$, $K=10,7$, $m_b=4,28$. В других каталогах сведения об этом землетрясении не приводятся, однако удалось найти сейсмические записи станций в архиве КСЭ ИФЗ АН СССР и оцифровать их (рисунок 5-а). Диапазон эпицентральных расстояний для землетрясения от 259 км (станция Усть-Каменогорск) до 1057 км (станция Кызыл-Джар).

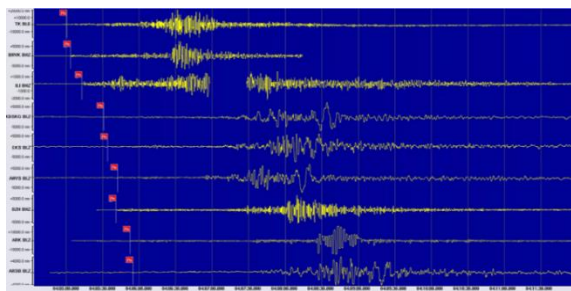
20 марта 1976 г.

Сейсмическое событие 20 марта 1976 г. было одним из самых обсуждаемых сейсмических событий на территории полигона. Различные сейсмологические агентства и авторы в области мониторинга до сих пор не пришли к единому мнению по поводу природы этого события. Так, в каталоге Л. Сайкса и в сборнике «Землетрясения в СССР 1976 г.» событие отсутствует, в каталогах [4, 5] оно приводится как техногенное событие – ядерный взрыв. Однако в литературных источниках [2, 11] событие описано как

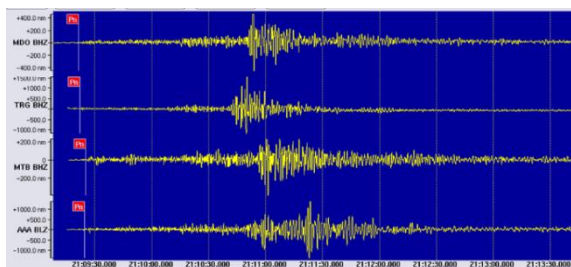
тектоническое землетрясение в районе хр. Муржик. Параметры сейсмического события: 3/20/1976, $t_0=4:03:39.3$, $\varphi=50,02^\circ\text{N}$, $\lambda=77,37^\circ\text{E}$, $h=5$ км, $K=13,8$, $mpv=5,5$. На рисунке 5-б приведены оцифрованные сейсмограммы события 20.03.1976 г. по архивным данным КСЭ ИФЗ АН СССР, СОМЭ МОН РК, Института сейсмологии (ИС) НАН КР. Диапазон эпицентральных расстояний составил от 562 км (станция Талды-Курган) до 1024 км (станция Арсланбоб). Из рисунка 5-б видно, что на сейсмограммах, зарегистрированных приборами СКД, четко выделяются мощные поверхностные волны, которые свидетельствуют о небольшой глубине события. В пользу тектонической природы события свидетельствует форма записи, значение отношения максимальных амплитуд $A_s/A_p > 1$, а также знаки первых вступлений – плюсы и минусы. Кроме того, эпицентр события приурочен к хр. Муржик, где тектонические события происходили до функционирования Семипалатинского полигона.



а) 26.12.1966 г. ($t_0=17:39:38.5$, $\varphi=49,52^\circ\text{N}$, $\lambda=78,71^\circ\text{E}$, $mpv=4,3$). Архив КСЭ ОИФЗ РАН



б) 20.03.1976 г. ($t_0=04:03:39.3$, $\varphi=50,02^\circ\text{N}$, $\lambda=77,37^\circ\text{E}$, $mb=5,1$). Архивы КСЭ ОИФЗ РАН, СОМЭ МОН РК и ИС НАН КР



в) 20.07.1988 г. ($\varphi=48,3^\circ\text{N}$, $\lambda=81,1^\circ\text{E}$, $M_s=5,1$). Архив СОМЭ МОН РК

Рисунок 5. Оцифрованные архивные сейсмограммы землетрясений (Z-компонента)

20 июля 1988 г.

На рисунке 5-в приведены оцифрованные сейсмограммы землетрясения 20 июля 1988 г., $M_s=5,1$ из архива СОМЭ МОН РК. Диапазон расстояний изменяется от 606 км (станция Тургень) до 679 км (станция Май-Тюбе). Информации о землетрясении нет ни в одном Международном сейсмологическом агентстве, нет также в каталоге Л. Сайкса и в работе [2]. Землетрясение описано в сборнике «Землетрясения в СССР 1988 г.» [10] с параметрами: 1988/07/20, $t_0=21:07:53.0$, $\varphi=48,3^\circ\text{N}$, $\lambda=81,1^\circ\text{E}$, $M_s=5,1$, $K=11,5$.

Сейсмичность территории СИП и прилегающих районов по данным Международных Центров данных

Анализ бюллетеней Международных сейсмологических Центров данных показал отсутствие сведений о тектонических землетрясениях на территории СИП за период времени до 1994 г. Единственное сейсмическое событие, параметры которого приведены в каталогах ISC (International Seismological Centre) и NEIC (National Event Information Center – каталог Геологической службы США) – это событие 1976/03/20 в 04:03, и оно приведено как антропогенное [4, 5]. В каталоге Геологической службы США приводятся следующие параметры этого события: 1976/03/20, $t_0=04:03:39.30$, $\varphi=50,0540^\circ\text{N}$, $\lambda=77,3370^\circ\text{E}$, $h=0$, $mb=5,1$, количество станций, данные которых использованы для обработки, – 96. Природа события описана как ядерный взрыв. В бюллетене ISC по событию приведена следующая информация: 1976/03/20 $t_0=04:03:40.49$, $\varphi=49,9366^\circ\text{N}$, $\lambda=77,3426^\circ\text{E}$, $h=0$, $mb=5,1$, количество станций, данные которых использованы для обработки, равно 128. Самая близкая к эпицентру события станция WRS (Warsak Dam, Пакистан) на расстоянии 1 819 км, самая далекая MDZ (Mendoza, Австралия) на расстоянии 16 643 км. Координаты определены с неплохой точностью, максимальная ось эллипса ошибок $S_{max}=11,54$ км. Природа события описана как антропогенное событие, известный взрыв. В [11, 12] проводится анализ природы сейсмического события на территории СИП 20 марта 1976 г. Отмечено, что для события не было данных наблюдений от станций СССР. Авторы рассмотрели данные сейсмических групп YKA (Yellowknife, Канада), WRA (Warramunga, Австралия), KSRS (Wonju, Южная Корея) – рисунок 6. По записи станции YKA, через 6 с после вступления P, авторы выявили и идентифицировали волну pP, которая свидетельствует о том, что глубина события $h \approx 18$ км. В [11] приведен детальный анализ сейсмического события, в том числе, показано, что источник лучше моделируется как двойная пара сил, чем многоярный взрыв. Мы считаем, что рассматриваемое сейсмическое событие, несмотря на ряд признаков, характерных для взрыва (t_0 похоже на взрывное время ядерных взрывов на СИП, отсутствуют афтершоки, небольшая глубина), все-таки является

ся тектоническим землетрясением, о чем свидетельствует форма записи региональных станций, более похожая на землетрясение (рисунок 5-б), построенный фокальный механизм.

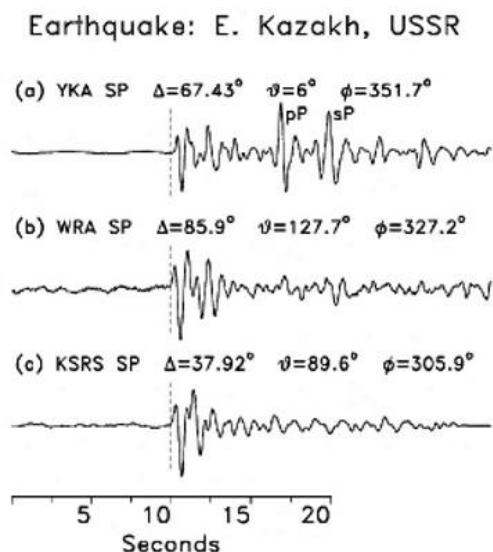


Рисунок 6. Сейсмограммы сейсмического события 20.03.1976 г., зарегистрированные сейсмическими группами YKA, WRA, KSRS [12]

КАТАЛОГ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

На рисунке 7 приведена карта эпицентров землетрясений на территории СИП и его ближайшего окружения с исторических времен до 2019 г. Наиболее сильные землетрясения можно сгруппировать в 2 зоны: вблизи г. Семей и в районе хребта Муржик. Сама территории СИП – слабосейсмична. Эпицентры исторических землетрясений подтверждаются современной сейсмичностью. Однако есть и особенности в исторической и современной сейсмичности. После закрытия полигона увеличилось число регистрируемых слабых землетрясений на территории самого полигона, что связано с двумя причинами: во-первых, с улучшением системы регистрации, во-вторых, с увеличением числа техногенных землетрясений, связанных с геодинамическими процессами в местах проведения подземных ядерных испытаний [13].

В разные периоды времени представительная магнитуда была различной, что связано с различной конфигурацией, техническим оснащением сейсмических сетей, проводящих мониторинг. На рисунке 8-а представлены распределения сейсмических событий из района СИП по магнитудам за период времени до 1994 г., когда наибольшее количество зарегистрированных событий имело магнитуды $M=3\div 4$. За период времени 1994–2019 гг. большинство зарегистрированных событий имело магнитуды $mpv=1,5\div 2,5$ (рисунок 8-б). Наблюдается уменьшение числа сильных событий с магнитудой >5 и увеличение слабых событий непосредственно на территории полигона.

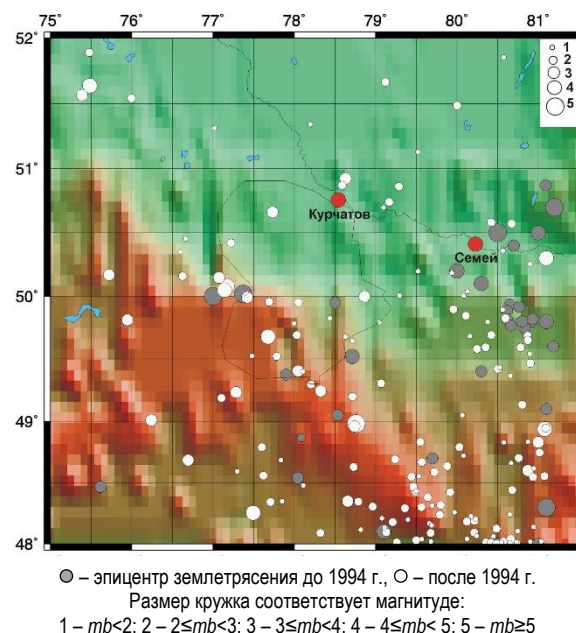


Рисунок 7. Эпицентры землетрясений из района СИП и его окрестностей

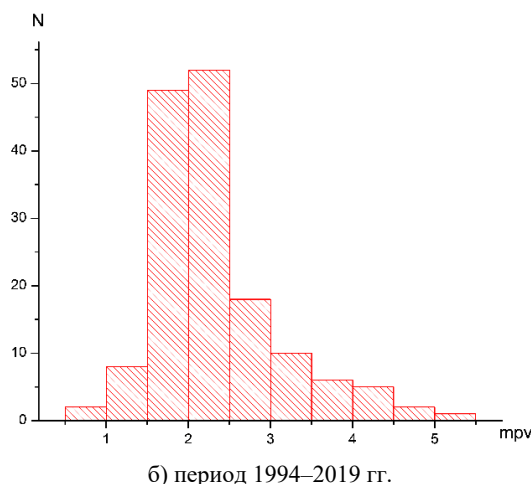
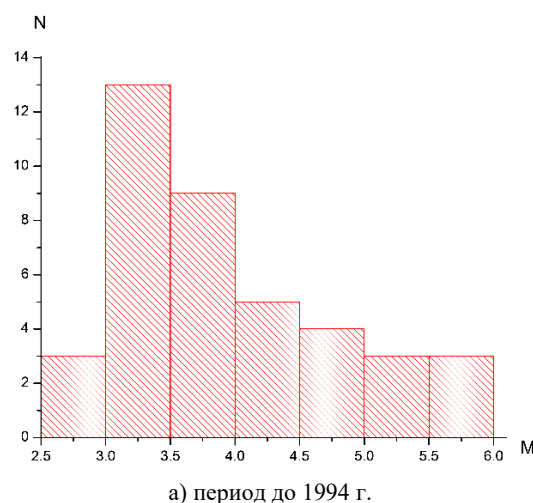


Рисунок 8. Гистограммы сейсмических событий из района СИП по магнитудам

Полевые исследования в районе площадки Дегелен СИП, показали наличие сейсмичности непосредственно в районе штолен, где проводились ядерные испытания [13]. Кроме того, в настоящее время регистрируются природно-техногенные землетрясения в районе угольных карьеров. Например, землетрясение из района месторождения Каражыра: 25.10.2019 г. в 01-09-7.8, $h=10$, 49,9979°N, 78,8628°E, $mpv=3,2$, $K=8,0$. Все эти явления свидетельствуют о геодинамической активности в районе СИП, связанной с техногенными воздействиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Собран уникальный исторический материал по проявлению тектонических землетрясений на территории СИП и его окрестностей в период, предшествующий времени, когда вблизи СИП были размеще-

ны и начали вести непрерывные инструментальные сейсмические наблюдения станции, входящие в глобальные сети. Очень важно, что найденные в различных архивах аналоговые сейсмограммы, удалось оцифровать, что позволяет сохранить эти записи и применить к ним современные методы обработки. Создан каталог сейсмических событий на СИП и в его окрестностях за период до 1994 г. Анализ полученных данных позволяет с уверенностью утверждать, что еще задолго до начала ядерных испытаний на СИП на исследуемой территории наблюдались довольно сильные местные землетрясения. Те же активные зоны природной сейсмичности проявляются и в настоящее время. Полученные новые данные помогут с большей надежностью оценить сейсмическую опасность на исследуемой территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП РК 2.03-30-2006. Строительство в сейсмических районах. – Алматы: ТОО «Издательство LEM». – 2006. – 80 с.
2. Khalturin, V. A Study of Small Magnitude Seismic Events During 1961 - 1989 on and near the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan / V. Khalturin, T. Rautian, P. Richards // Pure appl. geophys. – 2001. – 158. – P. 143 - 171.
3. Чеканинский, И.В. Материалы о сейсмических явлениях в Семипалатинской губернии с 1760 по 1927 г. / И.В. Чеканинский // Записки Семипалатинского отдела ИРГО. - 1927. – Вып. XVI. – С. 14–73.
4. International Seismological Centre [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.isc.ac.uk>, свободный.
5. Earthquake search [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic>, свободный.
6. Triep, E. Frequency of occurrence of moderate to great earthquakes in intracontinental regions: Implications for changes in stress, earthquake prediction, and hazards assessments / E. Triep, L. Sykes // Journal of Geophysical Research Atmospheres. – 1997. – 102(B5). – P. 9923–9948.
7. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебакин. – М.: наука, 1977 г. – 536 с.
8. Сейсмическое районирование Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1979. – С. 140.
9. Нерсесов, И.Л. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км от эпицентра / И.Л. Нерсесов, Т.Г. Раутиан // Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗ АН СССР. – М.: Наука. – 1964. – С. 63–87.
10. Землетрясения в СССР. Ежегодные сборники за 1962–1991 гг. – М.: Наука.
11. Pooley, C.I. The seismic disturbance of 1976 March 20 / C.I. Pooley, A. Douglas, R.G. Pearce // Geophys. J. R. – 1983. – Soc. 74. – P. 621–631.
12. Douglas, A. Forensic Seismology and Nuclear Test Bans Alan Douglas / A. Douglas // Atomic Weapons Establishment Blacknest, Brimpton, UK. Publisher: Cambridge University Press. – 2013. – DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139524001>.
13. Соколова, И.Н. Техногенная сейсмичность на территории Казахстана / И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова, А.Е. Великанов, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК. – 2017. – Вып. 2. – С. 47–57.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫ АУМАҒЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫН РАСТАУ РЕТІНДЕ ТАРИХИ ДЕРЕКТЕР МЕН МҰРАҒАТТЫҚ СЕЙСМОГРАММАЛАР

И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Соңғы жылдары өткізілген зерттеулер мен мұрағаттық деректерді талдау, Семей сынау полигонында (ССП) және оның маңында тектоникалық және техногенді жерсілкінулер болып тұратындығын және болатындығын көрсетті, ал бұл аймақ Қазақстан Республикасының жалпы сейсмикалық аудандау карталарына сәйкес (2003) сейсмикалық емес болып есептеледі. ССП ауданындағы сейсмикалықты бағалау үшін әдебиеттік көздерден тарихи сейсмикалықтың әлемдік сейсмологиялық бюллетеньдерін талдау жүргізілді, 1925 жылдан бастап жиналған тарихи ұқсас жазбалар бойынша жерсілкінулердің паратмерлері нақтыланды. Зерттелетін аумақта 1994 жылға дейінгі кезеңде, тіпті ядролық сынаулар басталмай тұрып ССП-да күші қатты жергілікті жерсілкінулер болғандығы байқалған. Алынған деректер ССП-ның заманауи сейсмикалық режимімен салыстырылды.

**HISTORICAL DATA AND ARCHIVE SEISMOGRAMS AS CONFIRMATION
OF SEMIPALATINSK TEST SITE SEISMICITY**

I.N. Sokolova, N.N. Mikhailova

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Research and analyses of archive data conducted during the recent years have shown that tectonic and technogenic earthquakes have been occurring in the area of Semipalatinsk Test Site (STS) and its adjacent territories, which according to the maps of general seismic zoning of the Republic of Kazakhstan (2003) is considered aseismic. In order to assess the seismicity of the STS area, world seismological bulletins, data on historical seismicity from literature references were analyzed; parameters of earthquakes were clarified based on collected historical analog records, starting from 1925. It was shown that in this researched area during the period prior to 1994, long before the start of nuclear tests, rather strong local earthquakes were observed at STS. The obtained data were compared with the STS contemporary seismic regime.