

УДК 550.344

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА АЛМАТЫ**Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Великанов А.Е., Соколов А.Н.***Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Проведено уточнение современной сеймотектонической обстановки района г. Алматы для целей микросейсмо-районирования. По новым данным о сейсмичности за последние десятилетия установлено, что на территории города Алматы в его новых границах очаги землетрясений зарегистрированы в южной и юго-западной части. Наиболее сильные из них ощущались на территории города с интенсивностью 4-5 баллов. Выявлены разломы на территории города, с которыми связаны эти землетрясения. Даны рекомендации для дальнейшего изучения сейсмогенерирующих разломов на территории города, организации сейсмического мониторинга на ответственных объектах г. Алматы, организация системы раннего оповещения о землетрясениях.

ВВЕДЕНИЕ

Город Алматы является крупнейшим мегаполисом Казахстана. Его население превышает 1.7 млн человек. Город расположен в высокосейсмичном регионе Казахстана, в прошлом он был дважды разрушен сильнейшими землетрясениями – Верненским 1887 г. с магнитудой 7,2 и Кеминским 1911 г. с магнитудой 8,2 (по некоторым новым данным магнитуда этого землетрясения составляет 7,9). [1]. Город неоднократно испытывал на себе и менее сильные воздействия. Из последних таких событий можно назвать Жаланаш-Тюпское землетрясение 1978 г. с магнитудой 6,9 и Суусамырское землетрясение 1992 года с магнитудой 7,3. На территории города в разных его частях они ощущались с интенсивностью 5 и 6 баллов.

Сейсмическую опасность города обычно связывают с сейсмогенерирующими зонами Северного Тянь-Шаня. Главные из этих зон, расположенные наиболее близко к городу, – Алматинская, Заилийская и Чилико-Кеминская. Их сейсмопотенциал достаточно велик – возможные магнитуды сильнейших землетрясений с очагами в этих зонах составляют соответственно от 7,5 до 8,5, а интенсивность сотрясений на территории города может достигать от 8 до 10 баллов. Простираение зон совпадает с простираем хребтов Заилийский и Кунгей Алатау, Чилико-Кеминской зоной разломов.

Учет сеймоопасности этих зон отражен в картах сейсмического районирования разного уровня – общего, детального, микрорайонирования. Так в карте сейсмического микрорайонирования [2], составленной уже более 20 лет назад, оценка исходной сейсмичности на территории города произведена путем учета плавного затухания интенсивности сотрясений от очаговой зоны, расположенной на юге от города Алматы, к северу. На эту изменяющуюся в зависимости от расстояния до очага интенсивность накладываются эффекты инженерно-геологических условий площадок на территории города.

Долгое время существовало твердое убеждение, что очаговых зон землетрясений на территории города нет. Считалось, что существующие на террито-

рии города разломы, выделенные и указанные на карте сейсмического микрорайонирования, могут усиливать или ослаблять эффект от проходящих сейсмических волн землетрясений с очагами в других сейсмогенерирующих зонах за пределами города. Проходящие волны могут приводить к вторичным движениям в зонах разломов, провоцировать появление трещин, разрывов и т.д.

В последние годы территория города значительно увеличилась за счет присоединения к нему земель на западе, юге от города. Сейсмологи стали отмечать, что часто жителями мегаполиса ощущаются совсем небольшие по силе землетрясения с интенсивностью 2-3 балла с эпицентрами вблизи границ города или даже в его пределах. Целью настоящего исследования было изучить вопрос, имеются ли очаги землетрясений непосредственно на территории города Алматы в ее новых границах? Существовала ли такая сейсмичность и в прошлом? Каковы главные разломы на территории города, с которыми может быть связана такая сейсмичность? Посмотреть, каковы сейсмические воздействия от таких локальных землетрясений?

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Изучение сейсмического режима Северного Тянь-Шаня нашло отражение в большом количестве публикаций, однако исследователей больше интересовали источники и проявления сильных землетрясений, способные вызвать масштабные разрушения на большой территории, сейсмический режим зон, в которых могут происходить такие землетрясения [3]. Изучение сейсмичности территории самого города и ближайших его окрестностей на протяжении многих лет оставалось нерешенной проблемой. Это было связано с тем, что для детального изучения сейсмичности и геодинамических процессов в пределах города и его окрестностей необходим высокочувствительный непрерывный сейсмический мониторинг, который должен учитывать специфические особенности регистрации сейсмических событий на фоне высокого уровня техногенных помех. Использование аналоговой аппаратуры без возможности применения частотной фильтрации было затрудни-

тельно для решения этой задачи.

Первая попытка провести такие исследования была предпринята в 70-х – 80-х годах прошлого века. В те годы вблизи города Алматы сотрудниками Комплексной сейсмологической экспедиции Института Физики Земли АН СССР была создана и успешно функционировала сеть из 8 высокочувствительных радиотелеметрических станций, часть из которых находилась в глубоких скважинах [4] (рисунок 1, таблица 1). Погружение сейсмодатчиков в скважины позволило снизить уровень сейсмических шумов большого города. Многолетние исследования показали высокую эффективность аппаратуры и выбранной конфигурации сети, а также использования скважинных станций совместно с наземными станциями. Это позволило не только значительно повысить чувствительность наблюдений, но и добиться высокой для того времени точности определения эпицентров, которая составила ± 2 км, точность определения глубины 3-5 км.

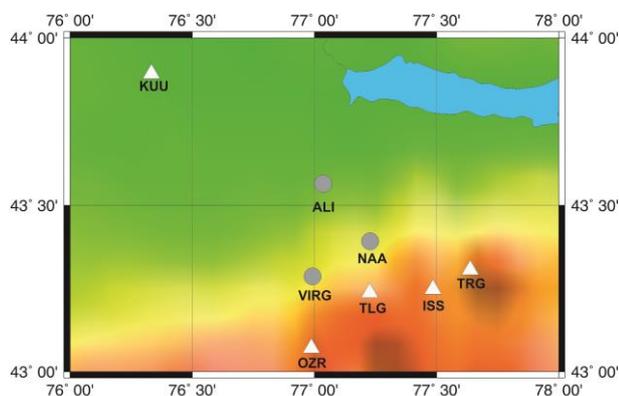


Рисунок 1. Карта расположения скважинных (●) и наземных (△) сейсмических станций ИФЗ РАН [4]

Таблица 1. Параметры сейсмических станций ИФЗ РАН [4]

Название станции	Код станции	Широта	Долгота	h, м	Глубина, м
Талгар	TLG	43,2375	77,22583	1200	
Озеро	OZR	43,07083	76,9875	2960	
Алма-Ата (ВИРГ)	VIRG	43,28717	76,9925	800	1000
Али	ALI	43,56533	77,0355	550	800
Ново-Алексеевка	NAA	43,393	77,22733	700	1200
Тургень	TRG	43,307	77,6375	1500	
Иссык	ISS	43,24833	77,485	1760	
Курты	KUU	43,89333	76,33333	550	

К сожалению, после 1983 г. сеть скважинных станций была законсервирована из-за отсутствия финансовых средств и больше не использовалась для систематической текущей обработки близких землетрясений.

В начале 2000-х годов была модернизирована сеть сейсмических станций, относящихся к СОМЭ МОН РК, находящихся вблизи г. Алматы. На них была установлена цифровая чувствительная аппаратура (таблица 2, рисунок 2), передающая данные в Центр обработки в реальном режиме времени, что позволило провести детальный анализ сейсмического режима города за последние 10 лет. Дополнительно к этой сети начали работу станции Института геофизических исследований НЯЦ РК (сейчас ИГИ КАЭ РК). В настоящее время на территории города действуют три стационарных сейсмических станции – Центральная сейсмическая станция «Алматы» (пр.Аль-Фараби), станция Казахстанского национального центра данных ИГИ – станция KNDC (пр. Достык-ул. Чайкиной), станция Медео. Для локализации гипоцентров и их энергетической параметризации используются и другие станции Казахстана двух организаций, а также станции Кыргызстана.

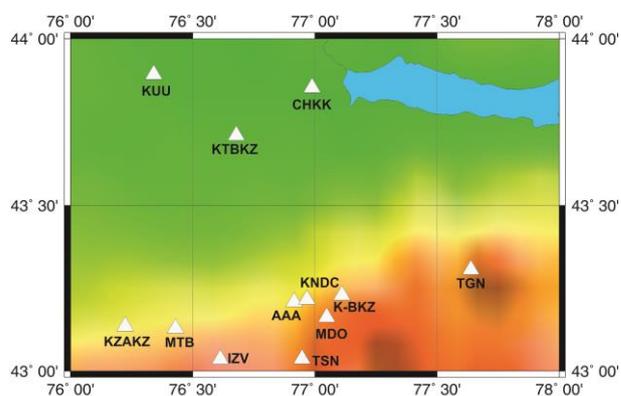


Рисунок 2. Карта расположения современных цифровых станций вблизи г. Алматы

Для выявления новых и уточнения местоположения уже известных разломов проведено дешифрирование космических снимков в пределах площади исследований 100×100 км. При дешифрировании в первую очередь использован материал многоспектральных сканирующих космических съёмок LANDSAT TM с 1989 г. и ETM с 1999 г., скомпонованных для 1990 г. (осень) и для 2000 г. (весна) в единые по геометрической и цветовой коррекции спутниковые изображения с разрешением 28 м на местности. Они представляют собой цветные трехканальные (используется RGB комбинация каналов 7-4-2 GeoCover) мозаики из сцен Landsat TM/ETM+. Цветовая комбинация RGB каналов 7-4-2 GeoCover спутниковых изображений Landsat TM/ETM+ близка к естественному природному визуальному восприятию цветовой гаммы земной поверхности.

Таблица 2. Параметры цифровых сейсмических станций вблизи г. Алматы (СОМЭ МОН РК, РГП ИГИ)

Название станции	Код станции	Открытие цифровой станции	Широта	Долгота	h, км
Алматы	AAA	2004279	43,209	76,915	920
Чушкалы	СНKK	2003218	43,854	76,988	540
Известковый	IZV	1996097	43,036	76,613	1720
Котур-Булак	К-ВКZ	2000001	43,23	77,111	1600
KNDC	KNDC	2004134	43,2171	76,9671	1006
Каратобе	КТВКZ	2000275	43,71	76,678	760
Курты	KUU	2004063	43,893	76,34	540
Кзыласкер	KZAKZ	2004127	43,136	76,224	1085
Медео	MDO	2004106	43,163	77,048	1590
Майтубе	MTB	2004007	43,13	76,429	1050
Тянь-Шань	TNS	2005349	43,037	76,947	3480
Тургень	TGN	2004106	43,307	77,638	1410

Также использована одна сцена 36×42 км много-спектрального изображения территории г. Алматы ориентировочно за 1995 г., включающая видимые и инфракрасные каналы спектра, с разрешением на местности 6 м. Она была использована для выделения и уточнения местоположения тектонических разломов в ситуации, когда город ещё не был подвержен современной интенсивной застройке. Для детального дешифрирования в сложных тектонических узлах в пределах исследуемой площади также использовались спутниковые изображения с высоким разрешением до 5 и до 1 м, скачанные в интернете с помощью поисковых систем Google Earth и SASPlanet.

Визуальное дешифрирование производилось на мониторе компьютера в векторной форме программными средствами MapInfo по растровой подложке спутниковых изображений. В процессе дешифрирования космических снимков отмечались линеаменты линейного характера, интерпретируемые как тектонические нарушения. По мощности линеаментных зон выделялись главные, основные, второстепенные разломы и тектонические трещины. Для исключения техногенных и промышленных помех линейного (дороги, трубопроводы, мощные линии электропередач и другие коммуникации) и площадного характера (границы пашен, лесонасаждений, пожарищ и др.) использовались в качестве растровых подложек изображения топографических карт масштабов 1:500 000 – 1:50 000.

АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА АЛМАТЫ

Результат многолетнего мониторинга сейсмического режима города Алма-Ата сетью радиотелеметрических станций ИФЗ нашел отражение в монографии [4], по результатам обработки был создан каталог сейсмических событий вблизи г. Алматы. Всего в каталог за 1.4.1972- 31.12.1982 включено 983 сейсмических события с энергетическими классами K=5.0-13.0 (рисунок 3). На рисунке 3 представлена карта эпицентров землетрясений в районе г. Алматы с нанесенными на нее современными контурами города (2014 г.). Как видно, эпицентры землетрясений

на территории города расположены на обширной территории с юго-востока до северо-запада. На севере, северо-востоке не было зарегистрировано ни одного сейсмического события.

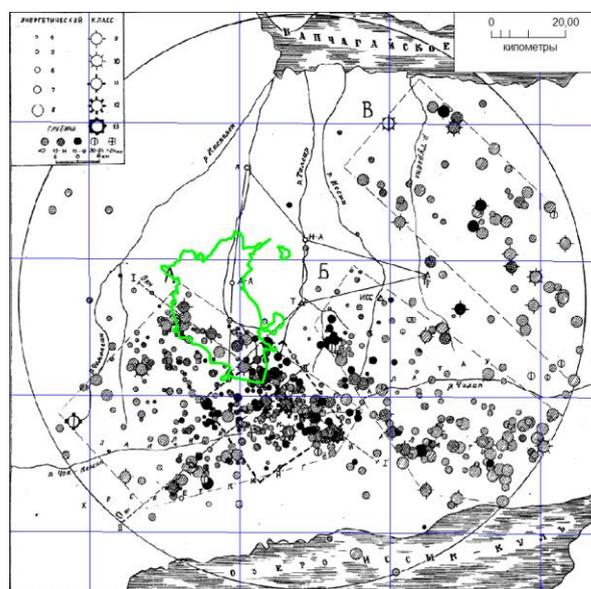


Рисунок 3. Сейсмичность района г. Алматы в контуре 160×160 км за 1972-82 гг. Современная граница города – зеленый контур

Тангенс угла наклона графика повторяемости землетрясений на территории г. Алматы и прилегающих территорий за период 1972 -1982 гг. составил $\gamma = -0.5$.

За период времени с 2005-06.2015 г. на территории города и ближайших окрестностей было зарегистрировано 1347 землетрясений с энергетическими классами K=2.7-11.1. На рисунке 4 приведена гистограмма энергетических классов землетрясений за этот период. Видно, что современной сетью станций регистрируются гораздо более слабые толчки, чем в период 1972-1982 г.г. Многие из них на территории города имеют энергетические классы менее 5. Но точность локализации событий и определения их глубины не повысилась по сравнению с телеметрической сетью КСЭ.

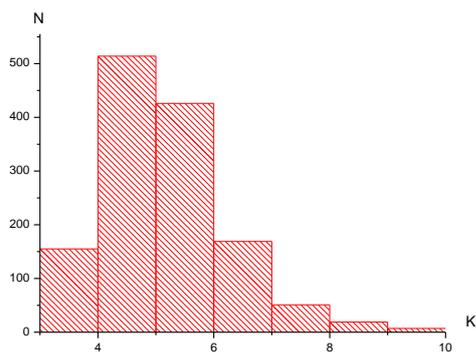
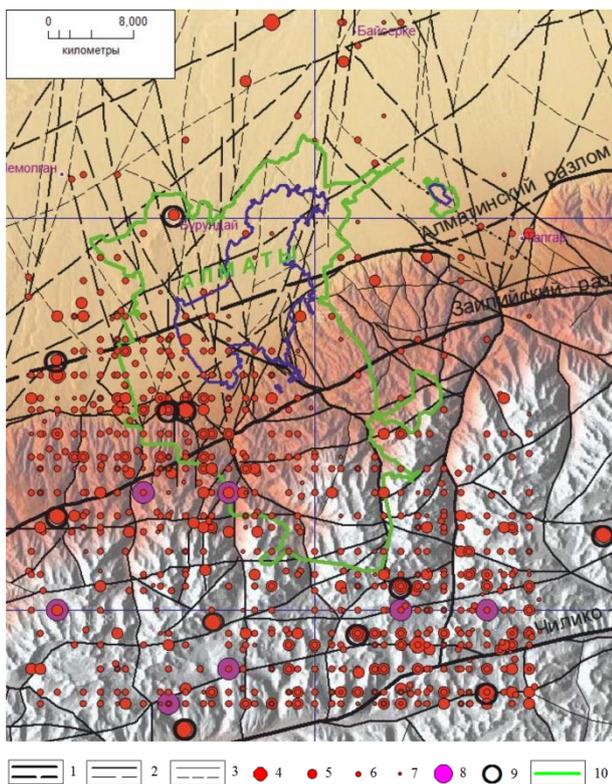


Рисунок 4. Гистограмма землетрясений по энергетическим классам за период 2005-06.2015 гг.

На рисунках 5 и 6 представлена карта эпицентров землетрясений за 2005-06.2015 гг. и тектоника района г. Алматы в контуре 60×70 км на карте рельефа и на топографической основе. Кроме эпицентров современных землетрясений, на карте показаны эпицентры сильных землетрясений с исторических времён с магнитудой 5.5 и более, а также активные разломы.



Тектонические нарушения в коренных породах и перекрытые рыхлыми отложениями (пунктиром): 1 – главные разломы; 2 – основные разломы; 3 – второстепенные разломы; Эпицентры землетрясений с магнитудой M_v : 4 – с 4 до 4,7; 5 - с 3 до 4; 6 – с 2 до 3; 7 – до 2; 8 - Эпицентры сильных землетрясений с исторических времён с магнитудой 5.5 и более; 9 - Эпицентры ощутимых землетрясений после 2005 года с записями сильных движений; 10 - контур города Алматы 2015 г.

Рисунок 5. Современная сейсмичность (2005-06.2015 гг.) и тектоника района г. Алматы в контуре 60×70 км на карте рельефа

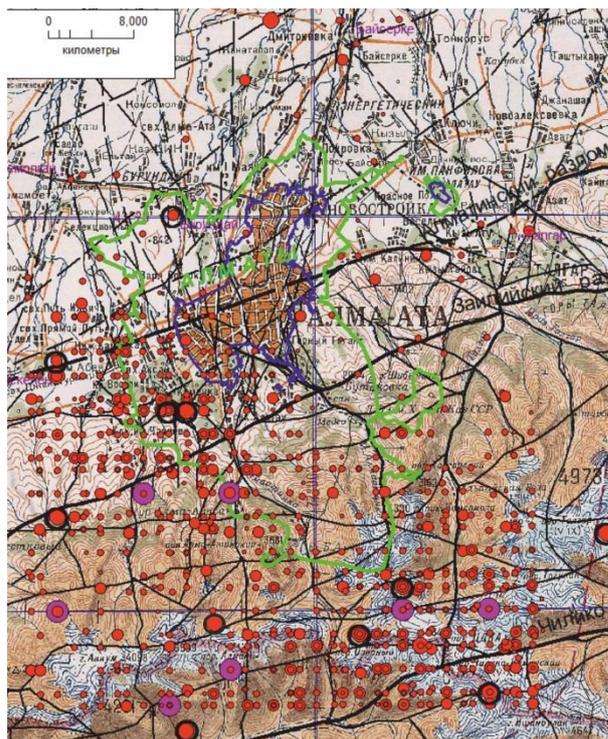


Рисунок 6. Современная сейсмичность и тектоника района г. Алматы в контуре 60×70 км на топографической основе (условные обозначения на рисунке 5)

Очаги сильных землетрясений в основном приурочены к крупным региональным разломам – Заилийскому и Чиликскому. Характер распределения очагов слабых землетрясений за 2005-06.2015 гг. аналогичен распределению эпицентров за период 1972 -1982 гг. Тангенс угла наклона графика повторяемости землетрясений на территории г. Алматы и прилегающих территорий за период 2005-06.2015 гг. совпадает с аналогичным параметром 1972 -1982 гг. $\gamma = -0.52$. На рисунке 7 показано количество землетрясений по годам в рассматриваемом районе, наблюдается тенденция резкого увеличения количества регистрируемых землетрясений. Наблюдается рост количества землетрясений за последние 5 лет, начиная с 2011 г.. Самые сильные землетрясения, которые были зарегистрированы в пределах современного контура города: 22 октября 2011 г., с магнитудой $m_b=4.1$, 24 октября 2014 года с $m_b=3$ и 26 ноября 2014 г. с $m_b=3.8$ (рисунок 5,6, таблица 3).

Итак, видно, что на современной территории города Алматы происходили и происходят в настоящее время землетрясения. Пространственное положение очагов позволяет по данным двух этапов сейсмических наблюдений говорить о разделении территории города условно на сейсмичную и не-сейсмичную части. Под сейсмичной понимаем ту, где расположены очаги землетрясений. К ней относятся южная и юго-западная части города. Как в 1972-1982 гг., так и в 2005-06.2015гг. разделение происходит по тектоническому разлому, простираю-

щемся в направлении ЮВ-СЗ, ориентировочно от урочища Медео в сторону оз. Сайран. Ранее на карте СМР этот разлом выделялся только за пределами города в горной местности. Внутри этой сейсмичной части города наиболее сильные землетрясения наблюдаются на границе рельефных уступов тектонического происхождения, территориально приуроченных к пос. Карагайлы, который в 2014 г. включен в состав города.

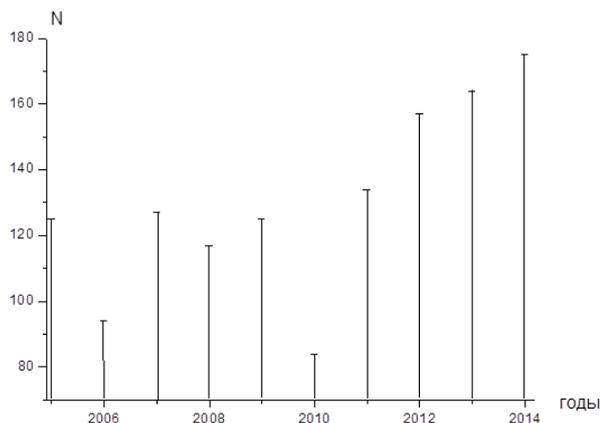


Рисунок 7. Количество землетрясений по годам в рассматриваемом районе

Проходящий через территорию города Алматинский разлом также служит ограничителем сейсмической территории города с северной стороны. Очаги наиболее сильных землетрясений, приуроченных к Алматинскому разлому, находятся за пределами города в сторону г. Каскелен.

ЗАПИСИ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ОЩУТИМЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Для научных исследований и практики сейсмостойкого строительства большой интерес представляет анализ параметров записей сильных движений. Постоянный мониторинг сильных движений в КНЦД был начат с 2006 г., с этого времени была создана и постоянно пополняется база данных цифро-

вых записей сильных движений [5]. Обработка данных осуществляется при помощи программного обеспечения ViewWave, разработанного Т. Кашимой [6], которое позволяет проводить визуализацию записи, откалиброванной за характеристики прибора в физических единицах, производить расчеты спектра Фурье и спектра реакции для разных значений затухания, производить дифференцирование и интегрирование записей. Созданы каталоги параметров записей и соответствующих спектров реакции. В таблице 3 представлены параметры записей сильных движений по станции KNDC для ощутимых землетрясений на территории города последнего периода наблюдений. Максимальное ускорение соответствует землетрясению 29 декабря 2007 г, на эпицентральном расстоянии 26 км от станции KNDC, оно составило 33,9 см/с². Примерно такой же интенсивности было землетрясение 15 марта 2015 года, его очаг располагался близко к очаговой зоне землетрясения 29.12.2007 г., расстояние до станции KNDC 26 км, максимальное ускорение составило 27,2 см/с².

В последнее время, начиная с ноября 2014 год, а на территории г. Алматы достаточно часто ощущались толчки от землетрясений, эпицентры которых находились в непосредственной близости от границ города. 23 ноября 2014г. и 26 ноября 2014 г. землетрясения произошли с западной и северо-западной стороны города, 4 декабря 2014г. – с юго-восточной стороны, 15 марта 2015 года – с юго-западной.

На рисунке 8 представлены сейсмические записи землетрясения 15 марта 2015 г. в 14 часов 01 минут.

Отметим, что все спектры реакции разных землетрясений с очагами на территории г. Алматы и вблизи нее имеют сходную форму, являются высокочастотными с периодами колебаний в максимуме спектра от 0.10 до 0.13 с. На рисунке 9 представлены спектральные кривые динамичности β, построенные по записям событий из таблицы 3, зарегистрированных по горизонтальным компонентам станцией KNDC.

Таблица 3 Параметры записей сильных движений по станции KNDC

Годы	мм	дд	t0	φ°, N	λ°, E	mb	Δ, км	l0	A, см/с ²			V, см/с			T(A)	T(V)
									E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z		
2007	11	1	18:27:40	42,93	77,2	4,3	27		0,2	0,2	0,3	0,01	0,01	0,01	0,1	0,25, 0,3
2007	12	29	21:27:22.0	42,9	76,85	4,9	26	4	32,1	33,9	17	0,55	1,49	0,48	0,4, 0,2	0,35
2009	4	8	17:15:04.9	43,02	77,1	4	24		0,7	0,7	1,5	0,02	0,02	0,03	0,1	0,1
2011	7	21	18:11:42.2	42,97	77	3,9	32	2	0,9	1,3	0,3	0,02	0,03	0,01	0,1	0,1
2011	10	22	23:17:36.2	43,17	76,86	4,1	18	2-3	0,7	1	0,9	0,02	0,03	0,02	0,15	0,25
2013	1	29	10:03:36.7	43,07	76,69	4,1	28		0,4	0,9	0,5	0,01	0,01	0,01	0,05	0,07
2014	10	24	05:57:26.5	43,18	76,83	3	12		0,5	0,2	0,4	0,01	0,005	0,01	0,09	0,09
2014	11	23	17:53:26.7	43,21	76,7	3,6	22	2	0,4	0,3	0,5	0,01	0,005	0,01	0,12	0,12
2014	11	26	17:57:18.3	43,34	76,84	3,8	17	2-3	0,7	1,4	0,7	0,01	0,03	0,01	0,12	0,12
2014	12	4	05:25:25.3	43,06	77,34	4,4	35	2-3	1,6	1,8	1,1	0,02	0,03	0,02	0,12	0,12
2015	3	15	14:01:00.5	42,99	76,88	5,1	26	4-5	14,6	13,6	27,2	0,21	0,20	0,42	0,12	0,12

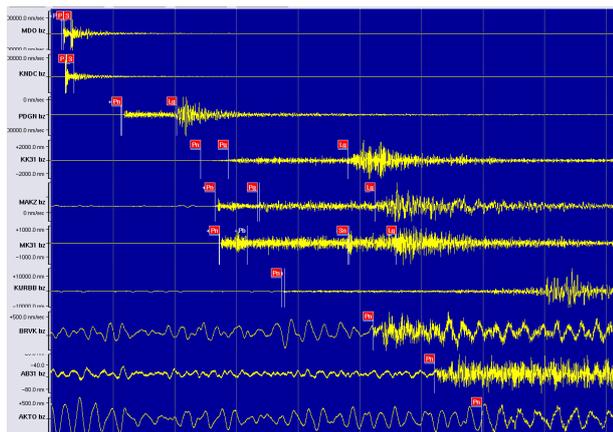


Рисунок 8. Сейсмические записи землетрясения 15 марта 2015 г. 14-01 по станциям РГП ИГИ

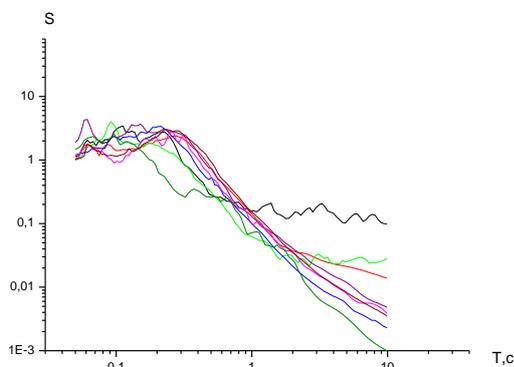


Рисунок 9. Кривые динамичности β , построенные по горизонтальным компонентам записей событий из таблицы 3 по станции KNDC

ЛИТЕРАТУРА

1. Нурмагамбетов, А.Н. Сейсмическая история Алматы. // Издательство "LEM", Алматы 1999, 68 с.
2. Ержанов, Ж.С. Сейсмическое микрорайонирование территории города Алматы / Ж.С. Ержанов [и др.] // "Наука" Казахской ССР, 1982. – 114 с.
3. Сыдыков, А. Сейсмический режим территории Казахстана. Изд-во «Гылым». 2004. 168 с.
4. Гальперина, Р.М. Сейсмический режим района города Алма-Аты за 1972-1982 гг. / Р.М. Гальперина, И.Л. Нерсесов, Е.И. Гальперин // М., Наука, 1985. – 248 с.
5. Соколов, А.Н. Использование данных по сильным движениям для прогноза воздействий на площадки строительства ответственных объектов /А.Н. Соколов, Р.Б.Узбеков// Актуальные вопросы мирного использования атомной энергии. Доклады международной конференции молодых ученых и специалистов. 6-8 июня 2012 г. г. Алматы ИЯФ. С. 97-105.
6. Kashima, T. 2002. ViewWave Help, PSEE, BRI.

АЛМАТЫ ҚАЛАСЫНЫҢ АУМАҒЫНДАҒЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕР

Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Великанов А.Е., Соколов А.Н.

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Микросейсмоаудандау мақсатында Алматы қаласы ауданының қазіргі заманғы сейсмогеологиялық жағдайын нақтылау жүргізілді. Соңғы он жылдықтағы сейсмикалық туралы жаңа деректер бойынша Алматы қаласының аумағында, оның жаңа шекаларында жерсілкінулер ошақтары оңтүстік және оңтүстік-батыс бөліктерінде тіркелгені белгілі болды. Олардың ішіндегі ең күштілері қала аумағында 4-5 балл қарқындылығымен сезілді. Қаланың аумағында осы жерсілкінулермен байланысты жарылыстар пайда болғаны анықталды. Қаланың аумағындағы сейсмотүрлендіру жарылымдарын ары қарай зерттеуге, Алматы қаласының жауапты нысандарында сейсмикалық мониторинг жүргізуге, жерсілкінулер туралы ерте хабар беру жүйесін ұымдастыруға ұсыныстар жасалды.

Выводы и рекомендации

1. По материалам сейсмических наблюдений достоверно установлено, что на территории города Алматы в его южной и юго-западной части происходят землетрясения.
2. Выявлены активные разломы на территории города, с которыми связаны очаги землетрясений, и ограничивающие сейсмически активную его часть.
3. Требуется проведение более детального уточнения современной сеймотектонической обстановки района г. Алматы для целей микросейсморайонирования, включающее:
 - детальное дешифрирование крупномасштабных космических снимков всей исследуемой территории с разрешением до 1-5 м;
 - детальный анализ крупномасштабных топографических карт масштабов 1:25 000 и 1:10 000, что очень важно для мало расчленённой предгорной области исследуемой территории.
4. Необходимо изучить сеймопотенциал разломов на территории города, т.е. установить, какие максимально сильные землетрясения возможны в пределах города.
5. Желательно уточнение глубинного положения очагов на территории города путем организации сейсмического мониторинга территории с помощью расстановки плотной сети полевых сейсмических станций вокруг города, а также организация для города Алматы системы раннего оповещения о происходящих событиях.

EARTHQUAKES ON THE TERRITORY OF ALMATY

N.N. Mikhailova, I.N. Sokolova, A.Ye. Velikanov, A.N. Sokolov

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

The contemporary seismic and tectonic setting of Almaty was precised for micro seismic zoning purposes. New data on seismicity received in recent decades show that within new borders of Almaty the earthquake sources were recorded in its south and south-west part. The largest of them were felt on the territory of the city with intensity 4-5. Some faults generating the earthquakes were revealed on the territory of the city. The paper provides recommendations for further investigation of seismic generating faults on the territory of the city, arranging of seismic monitoring at critical facilities of Almaty, establishment of the earthquakes early warning system.