

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 5, Number 425 (2017), 79 – 92

A. B. Sadykova, A. Sydykov, G. G. Stiharnaya, A. M. Danabayeva

LLP "Institute of seismology" MES RK, Almaty, Kazakhstan.

E-mail aluadin@mail.ru

PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE INITIAL SEISMICITY OF ALMATY CITY DUE TO MICROZONING OF ITS TERRITORY

Abstract. The calculations of seismic hazard for microzoning of the territory of Almaty are first carried out based on the methodology, which relevant to the provisions of Eurocode 8 (EN 1998-1:2004) "Designing of the earthquake resistant structures" and for using in the practice of designing in the territory of Kazakhstan and conducted by using the updated experimental database based on the new methodology.

This work is dedicated to the first phase of seismic microzoning (SMZ) of Almaty by assessing (map) of the initial of seismicity, i.e. the identification of quantitative characteristics of expected seismic effects for average soil conditions on the territory of Almaty, in a given interval of time (in accordance with the assignment, for return periods of 475 and 2475 years). As the territory of Almaty is extending (according to the latest data, it stretches from south to north at a distance of about 80 km) the consideration of the patterns of natural decrease of intensity with distance across the city is required. The main distinctive elements of the methodology of assessment of the source of seismicity are: – the calculation of seismic effects on the territory of Almaty from the 29 seismogenic zones, located at distances up to 300 km from the city; for the first time a probabilistic approach of the calculation of seismic hazard is implemented; –the characteristics of ground motion in addition to the macroseismic in the quantitative parameters are obtained.

In this paper, the materials for the calculation of quantitative parameters of ground motion (peak acceleration) are not given. The maps of probabilistic estimating of the initial (background) seismicity for the Almaty city for return period of 475 and 2475 years (the probability of exceeding are 10% and 2% for 50 years) in points of macroseismic scale intensity are obtained.

Keywords: microzoning, seismogenic zones, seismic regime, assessment of the initial seismicity, seismic effects.

УДК 550.348

А. Б. Садыкова, А. Сыдыков, Г.Г. Стихарная, А.М. Данабаева

ТОО «Институт сейсмологии» МОН РК, Алматы, Казахстан

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ИСХОДНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ГОРОДА АЛМАТЫ В СВЯЗИ С МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕМ ЕГО ТЕРРИТОРИИ

Аннотация. Расчеты сейсмической опасности для микрорайонирования территории г. Алматы, впервые осуществлены на основе методологии, соответствующей положениям Еврокода 8 (EN 1998-1:2004) «Проектирование сейсмостойких конструкций», для применения в практике проектирования на территории Казахстана и проведены с использованием обновленной экспериментальной базы и на новой методической основе.

Данная работа посвящена первому этапу сейсмического микрорайонирования (СМР) г. Алматы – *оценке (созданию карт) исходной сейсмичности*, т.е. определению количественных характеристик ожидаемых сейсмических воздействий для средних грунтовых условий на территории г. Алматы в заданный интервал времени (в соответствии с заданием, для периодов повторяемости 475 и 2475 лет). Так как рассматриваемая территория г. Алматы является протяженной, (согласно последним данным она простирается с юга на север на расстояние около 80 км) необходим учет закономерностей естественного убывания балльности с расстоянием в пределах всей территории города. Основные отличительные элементы методологии оценки исходной сейсмичности: – выполнен расчет сейсмических воздействий на территорию г. Алматы от 29 сейсмогенерирующих зон, расположенных на расстояниях до 300 км от города; – впервые осуществлен вероятностный подход к расчету сейсмической опасности; – получены характеристики в количественных параметрах колебаний грунта в дополнение к макросейсмическим. В данной работе материалы по расчету количественных параметров колебаний грунта (пиковые ускорения) не приводятся.

Получены карты вероятностной оценки исходной (фоновой) сейсмичности для г. Алматы, для периода повторяемости 475 и 2475 лет (вероятность превышения 10 и 2% за 50 лет) в баллах макросейсмической шкалы интенсивности.

Ключевые слова: микрорайонирование, сейсмогенерирующие зоны, сейсмический режим, оценка исходной сейсмичности, сейсмические воздействия.

Введение. Одной из наиболее важных задач сейсмического микрорайонирования (СМР) является определение исходной сейсмичности (ОИС) района размещения исследуемого объекта.

В обычной практике для этого используются результаты исследований по общему или детальному сейсмическому районированию территории (всей республики, отдельных областей и др.), которые в виде таблиц «пункты-баллы» приводятся в различных СНиПах. По этой методике оценке исходной сейсмичности каждого населенного пункта или объекта соответствует одно значение балльности, приведенное к средним грунтовым условиям. Такой подход оправдан, если размеры района малы и в их пределах не происходит изменение балльности в связи с изменением расстояния до сейсмогенерирующих зон. В случае же когда рассматриваемый район является протяженным, как например территория г. Алматы, (согласно последним данным она простирается с юга на север на расстояние около 80 км) необходим учет закономерностей естественного убывания балльности с расстоянием в пределах данной территории. Такой подход в первом приближении (в наиболее общем виде) был реализован при составлении предыдущей карты СМР г. Алматы (1982 г.), когда ОИС осуществлялась от ограниченного количества сейсмогенерирующих зон (всего 3) [1].

В настоящей же работе суммарный сейсмический эффект определяется от 29 сейсмогенерирующих зон, расположенных на расстояниях до 300 км от города.

Другим важным отличием данной работы является то, что в ней впервые осуществлен переход к вероятностной методике оценки исходной сейсмичности, которая позволяет определить степень сейсмической опасности для объектов разных сроков службы и категорий ответственности.

Таким образом, целью настоящих исследований является получение количественных характеристик ожидаемых сейсмических воздействий для средних грунтовых условий на территории г. Алматы с использованием указанных выше новых методических подходов.

Первым этапом СМР является составление карты исходной сейсмичности, которая определяется как воздействие от сейсмических источников (сейсмогенерирующих зон), расположенных в пределах радиуса не менее 300 км, с учетом их сеймотектонического режима [2].

Следующим этапом СМР является построение карт приращений балльности на рассматриваемой территории, основанных на инженерно-геологических, гидрогеологических, тектонических и других особенностях грунта. Полное приращение сейсмической интенсивности определяется как сумма приращения в баллах за счет: различия сейсмических жесткостей для исследуемых грунтов с характеристиками V и ρ по отношению к эталонным грунтам, обводненности грунтов ($\Delta I_{ув}$), резонансных усилений колебаний в слоистой грунтовой толще ($\Delta I_{рез}$) и др. [2].

Третий этап СМР – определение уточненной сейсмической опасности, как алгебраической суммы исходной сейсмичности и приращений балльности в каждой конкретной точке исследуемой территории. В результате этой работы должны быть получены параметры воздействий, необходимые для расчета объекта исследований на сейсмостойкость.

Данная работа посвящена первому этапу СМР – *оценке (созданию карт) исходной сейсмичности*, т.е. определению места, силы и вероятности возникновения сейсмических воздействий в заданный интервал времени (в соответствии с требованиями для периода повторяемости – 475 и 2475 лет) [3, 4].

Важный элемент ОИС – *построение сеймотектонической модели региона*, а именно, выделение сейсмогенерирующих зон и определение их сейсмического потенциала. Результатом этого этапа работы должно быть построение карты сейсмогенерирующих зон для исследуемого региона.

Выделение сейсмогенерирующих зон – проблема комплексная. Проведенные ранее исследования позволили выявить критерии сейсмичности – количественные и качественные показатели состояния геологической среды, сочетания которых определяют максимальную магнитуду возможных землетрясений [5-9]. Наиболее общей закономерностью сейсмичности является ее приуроченность к существующим горным системам, которые характеризуются некоторыми особенностями, с одной стороны, глубинного строения, а с другой – морфологического выражения новейших структур.

Комплексное использование выявленных особенностей глубинной и верхнекоровой структур сейсмоактивных орогенов позволило составить Карту сейсмогенерирующих зон республики Казахстан [7], как основу оценки сейсмической опасности. На рисунке 1 приведена вырезка из карты сейсмогенерирующих зон Казахстана и прилегающих территорий, где рамкой выделен регион с зонами, влияние от которых учитывалось при оценке исходной сейсмичности территории г. Алматы.

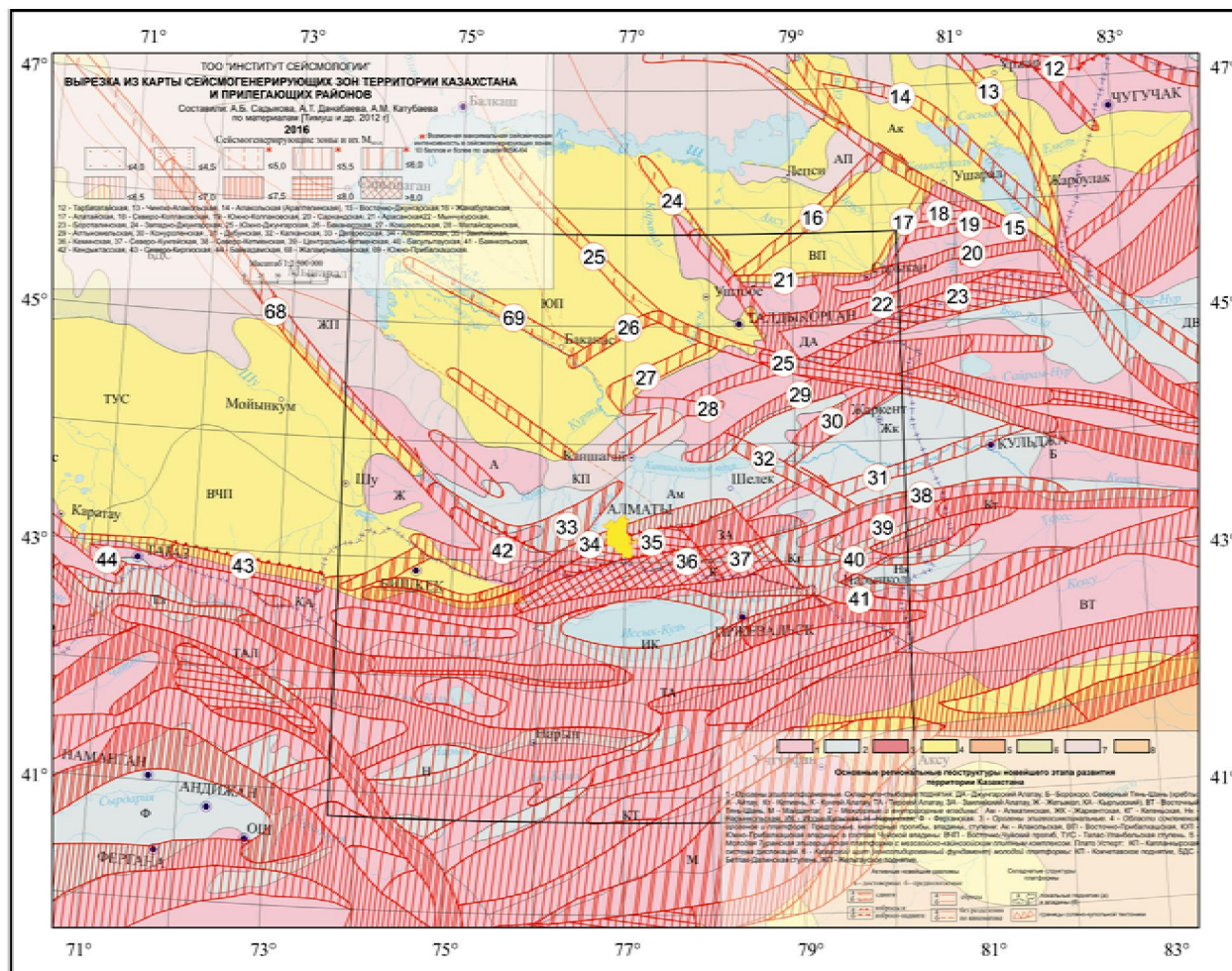


Рисунок 1 – Вырезка из карты сейсмогенерирующих зон Казахстана и прилегающих территорий [7]

Figure 1 – The clipping from the map of seismogenic zones of Kazakhstan and adjacent areas [7]

Идентификация сейсмогенерирующих зон и определение параметров их сейсмического режима является самым сложным и наиболее ответственным звеном в исследованиях по сейсмическому районированию, поскольку от этого зависит надежность всех последующих построений по оценке сейсмической опасности [8-10].

Методика параметризации сейсмогенерирующих зон и их сейсмический режим. Карта сейсмогенерирующих зон исследуемой территории явилась основой для создания генерализованной схемы зон ВОЗ (рисунок 2). На схеме выделено 29 зон, расположенных на расстояниях до 300 км от города, для каждой из которых определялись параметры сейсмического режима, и в каждой расчетной точке города рассчитывалось воздействие от этих сейсмических источников (зон).

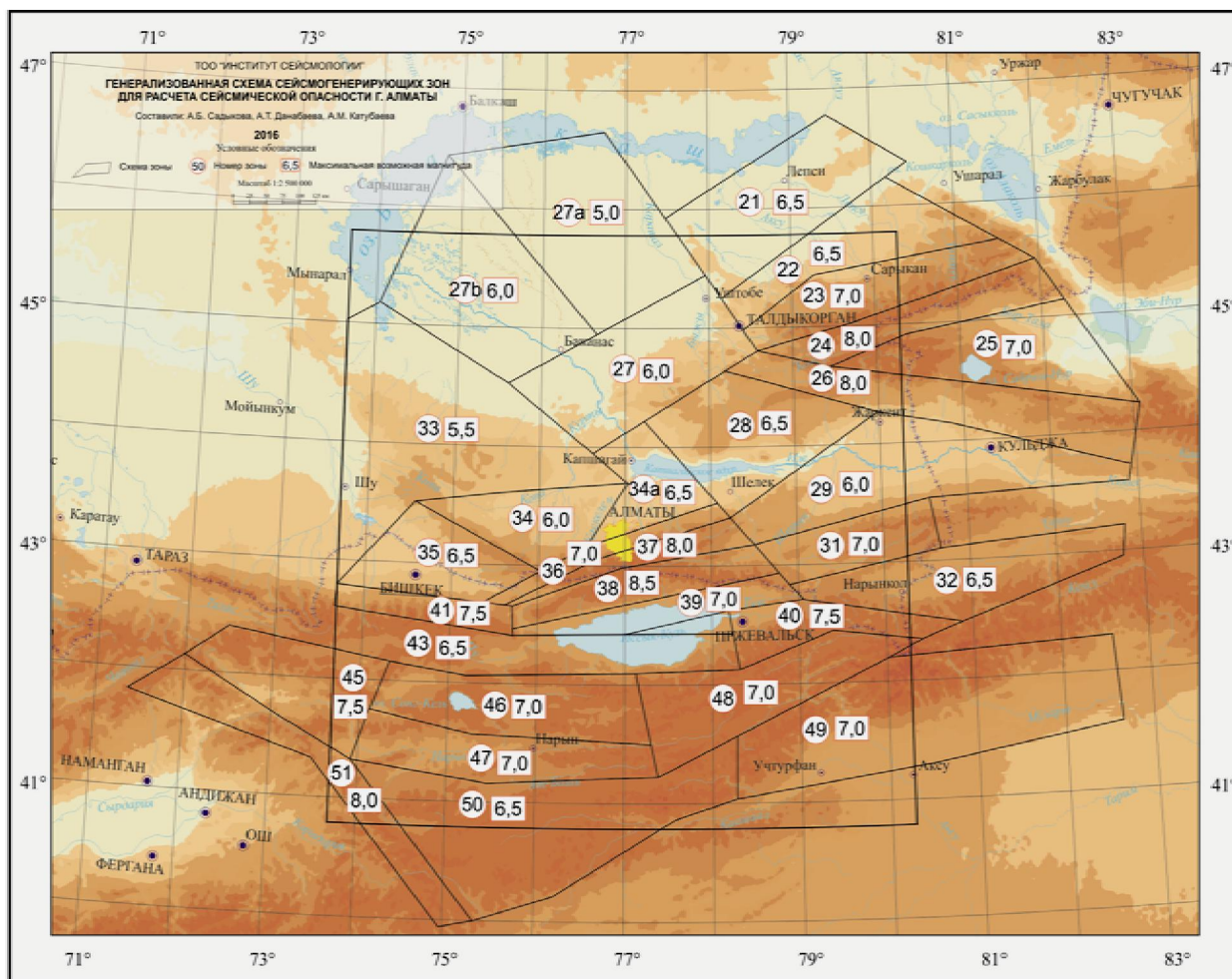


Рисунок 2 – Генерализованная схема сейсмогенерирующих зон для расчета сейсмической опасности г. Алматы

Figure 2 – Generalized scheme of seismogenic zones for calculating the seismic hazard of Almaty city

Обоснованное суждение об уровне сейсмической активности отдельных сейсмогенных зон и сравнение их между собой возможно на основе количественных оценок параметров сейсмического режима – параметризации сейсмогенерирующих зон [10-12]. Решая эту задачу, необходимо установить особенности распределения современной сейсмичности, как по площади, так и по глубине, оценить повторяемость землетрясений и сотрясений, величину максимального возможного землетрясения и т.д.

Информационную основу параметризации сейсмогенерирующих зон составил каталог землетрясений юга и юго-востока Казахстана и сопредельных территорий. Эпицентральные поля исследуемой территории (рисунки 3, 4) описаны в [8-12]. Использовалась магнитуда M_s , переход к которой от энергетического класса K осуществлялся по следующим формулам [9]:

$$K=1.8MLH+4.0 (M<5.5);$$

$$K=1.5MLH+5.6 (M\geq 5.5);$$

$$M_S=1.0MLH-0.1,$$

где $K=lgE(\text{Дж})$ – энергетический класс; M_S – магнитуда, определяемая по вертикальной составляющей поверхностной волны; MLH – магнитуда, определяемая по максимальным амплитудам горизонтальной составляющей поверхностных волн.

В последние годы для расчета сейсмической опасности все большее распространение получает моментная магнитуда M_W , которая рассчитывается через значения сейсмического момента M_0 . В условиях Северного Тянь-Шаня инструментальное определение сейсмического момента в связи с аппаратной оснащённостью кратковременно проводилось лишь для 5–10% землетрясений по записям аппаратуры ЧИСС, установленной на двух станциях. Показано, что для сильных и разрушительных землетрясений ($M_S=6,0-8,2$) инструментально определенные значения M_S и M_W в пределах точности их определения совпадают [9], однако, попытка определения магнитуды M_W для землетрясений по различным корреляционным соотношениям приводит к противоречивым результатам. Поэтому на данном этапе для оценки сейсмической опасности г. Алматы в баллах шкалы макросейсмической интенсивности использовалась магнитуда M_S .

Для каждой сейсмогенерирующей зоны (рисунок 2) определены различные параметры сейсмического режима: минимальный уровень представительных землетрясений Mo_i ; суммарное количество землетрясений – $N_{\Sigma} \text{ с } M \geq Mo_i$; уровень сейсмической активности – a_i ; угол наклона

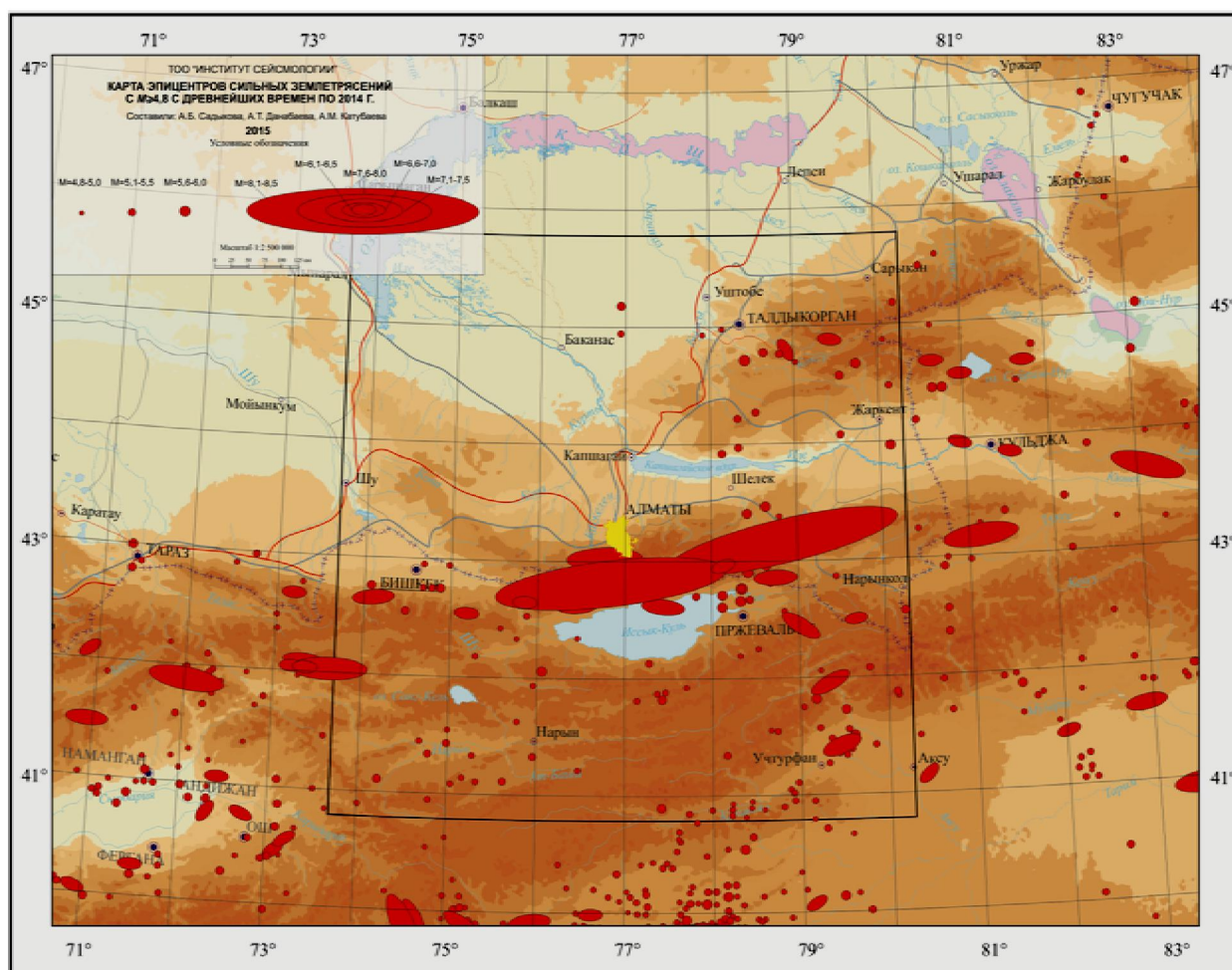


Рисунок 3 – Карта эпицентров землетрясений с $M_S \geq 4,8$ с древнейших времен по 2014 г.

Figure 3 – Map of epicenters of earthquakes with $M_S \geq 4,8$ from ancient time to 2014

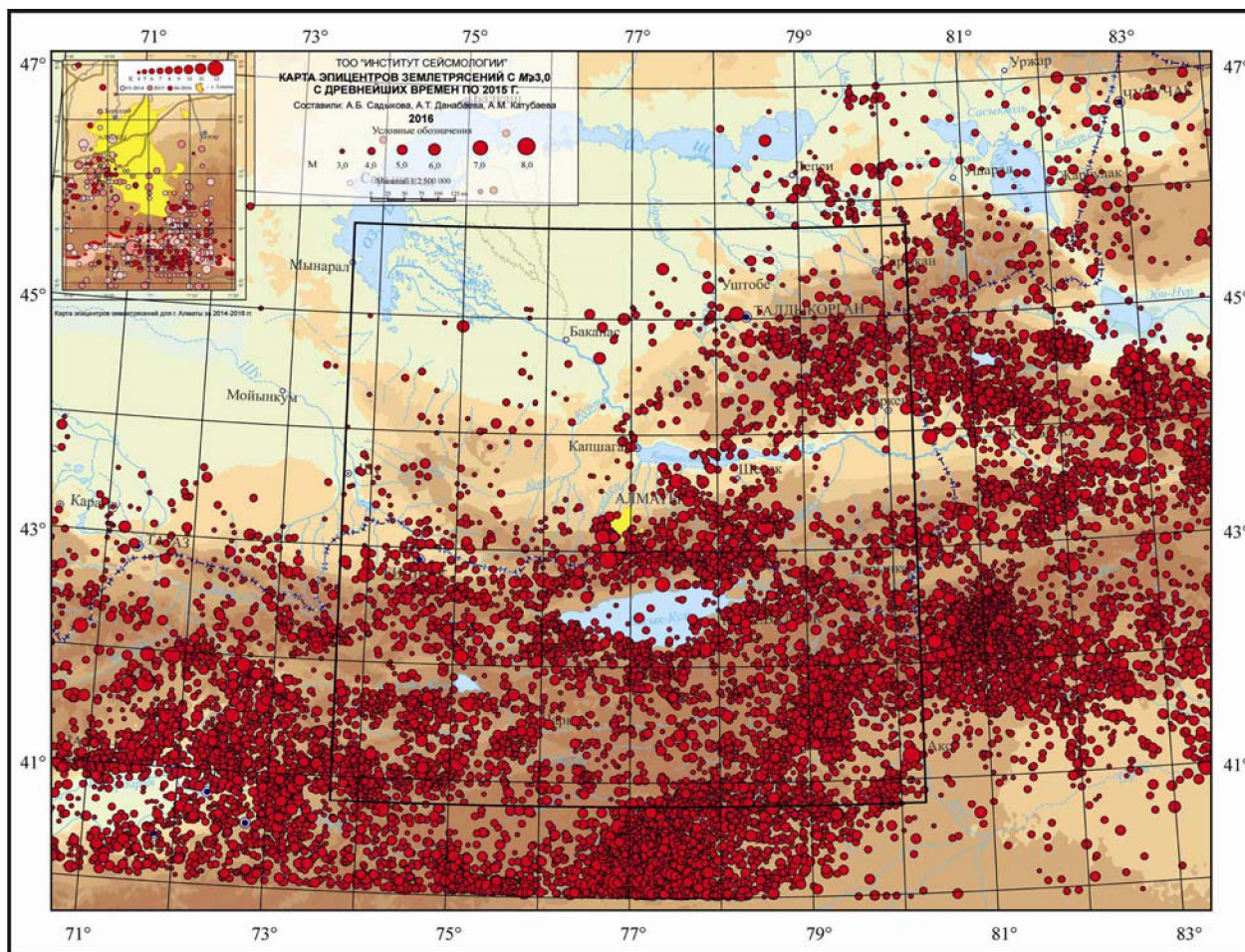


Рисунок 4 – Карта эпицентров землетрясений с $M_s \geq 3,0$ с древнейших времен по 2015 г. (с врезкой всех землетрясений на территории города Алматы с 2014 г. по 06.2016 г.)

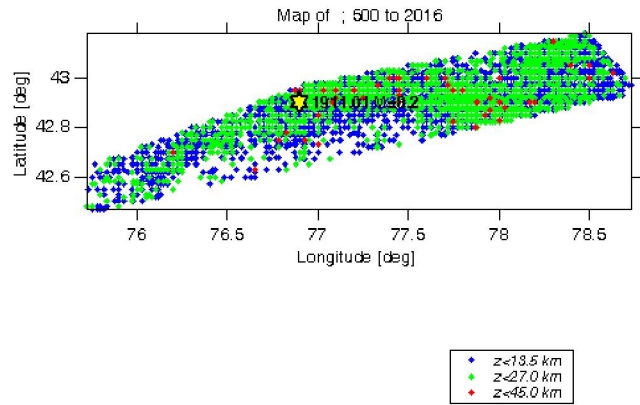
Figure 4 – Map of epicenters of earthquakes with $M_s \geq 3.0$ from ancient time to 2015 (with cutting of all earthquakes in the territory of Almaty from 2014 to 06.2016)

графика повторяемости – b ; величины максимальных возможных землетрясений M_{max} ; величины максимальных наблюдаемых землетрясений $M_{max(набл)}$; минимальные – h_{min} , максимальные – h_{max} и наиболее вероятные – $h_{вер}$ значения глубин очагов землетрясений; количество землетрясений – N_0 с $M \geq M_{max}$; параметры сеймотектонической деформации определены с указанием типа подвижки: сдвиг – SS, сброс – NF, сбросо-сдвиг – NS, взброс – TF, взбросо-сдвиг – TS. Наиболее представительным типом деформированного состояния является взбросовый. Он характерен для всех наиболее сейсмоактивных зон, связанных со структурами Заилийского, Кунгей и Терской Алатау. Менее представительными являются деформации типа сдвига в геологической интерпретации.

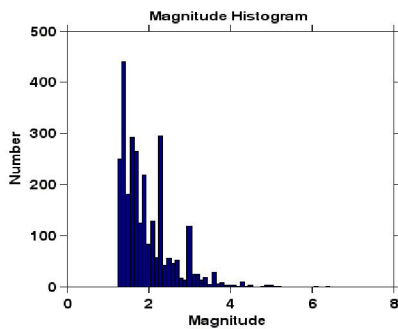
Разработанная методика сейсмологической параметризации сейсмогенерирующих зон [8, 10] проиллюстрирована на примере территории Северного Тянь-Шаня (зона 38) (рисунок 5а-ж). На рисунке 5а показана карта эпицентров землетрясений с $M \geq 1,0$ за период 1951–2015 гг. с указанием глубин очагов. При расчетах исключались афтершоки сильных землетрясений. Период наблюдения выбран исходя из представительной регистрации многочисленных слабых землетрясений.

Для окончательной проверки стационарности сейсмического режима исследовались временные (годовые, месячные и др.) вариации количества землетрясений, а также их кумулятивные графики (рисунки 5б-5ж). Для определения h_{min} , h_{max} и $h_{вер}$ использовались временные вариации глубин, а также гистограммы распределения очагов землетрясений по глубине (рисунки 5а, 5д). Для предварительного выбора значений M_0 – минимальная магнитуда землетрясений для изучения закона повторяемости Гутенберга-Рихтера – исследовались гистограммы распределения очагов

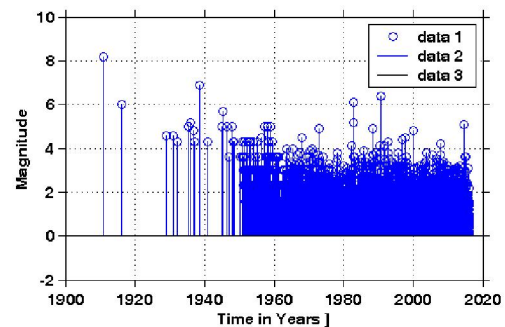
а – Карта эпицентров землетрясений с $M \geq 1.0$ за 1951-2015 гг. с определенными глубинами очагов (синий – $h \leq 13.5$ км; зеленый – $h \leq 27.0$ км; красный – $h \leq 45.0$ км)



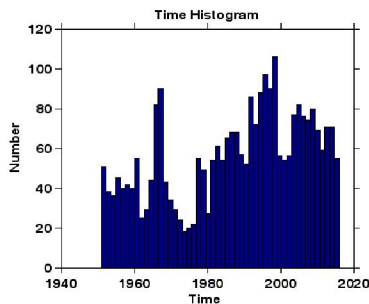
ZMAP 16-Sep-2016



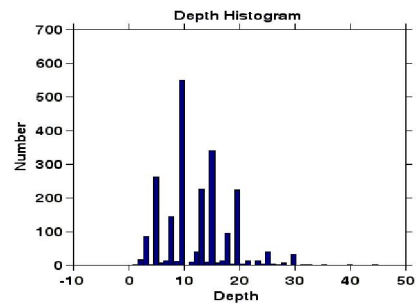
б – Гистограмма распределения землетрясений по магнитудам ($M \geq 1,0$)



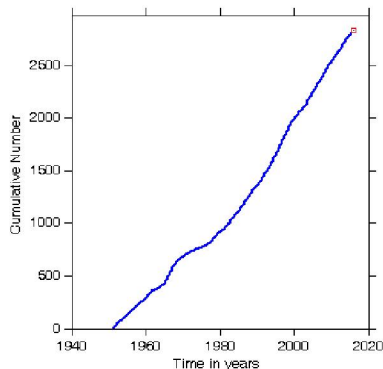
с – График распределения магнитуд землетрясений с $M \geq 1,0$ во времени



д – Временные вариации количества землетрясений



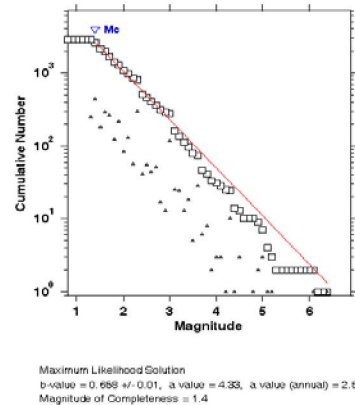
д – Гистограмма распределения землетрясений по глубине



Reset

Keep as newcat

е – Кумулятивный график распределения числа землетрясений



ж – График повторяемости землетрясений за период 1951–2015 гг.

Рисунок 5(а-ж) – Сейсмологическая параметризация сейсмогенерирующих зон (зона 38)

Figure 5(a-f) – Seismological parameterization of seismogenic zones (zone 38)

землетрясений за различные периоды наблюдений (рисунки 5б, 5в, 5е). Окончательное определение значения M_0 проводилось по графику повторяемости. График распределения магнитуд землетрясений во времени (рисунок 5в) использовался для определения M_{max} (набл). Для оценки сейсмического эффекта первостепенное значение имеет оценка зависимости минимальной глубины возникновения землетрясений от их энергий. Такие графики, построенные для каждой зоны, показали, что в целом минимальная глубина очагов увеличивается с увеличением энергии землетрясения. Параметры a_1 ; a_2 ; b ; M_0 определены исходя их графика повторяемости (рисунке 5ж). Величина M_{max} оценена по совокупности геолого-геофизических и сейсмологических критериев определения сейсмopotенциала земной коры. Значение N_{Σ} определено как число землетрясений с $M \geq M_0$, которое использовалось для построения графика повторяемости.

Параметры сейсмического режима, рассчитанные по генерализованной схеме (рисунок 2), приведены в таблице.

Методика вероятностной оценки исходной сейсмичности в баллах шкалы макросейсмической интенсивности MSK-64(K). Расчеты сейсмической опасности для микрорайонирования территории г. Алматы, выполненные ТОО «Институт сейсмологии» МОН РК в 2016 г., впервые осуществлены на основе методологии, соответствующей положениям Еврокода 8 (EN 1998-1:2004) «Проектирование сейсмостойких конструкций», для применения в практике проектирования на территории Казахстана [3, 13-15] и проведены с использованием обновленной экспериментальной базы и на новой методической основе.

Параметры сейсмического режима сейсмогенерирующих зон Алматинского региона (по рисунку 2)

№ зоны	Период наблюдения	N_0	M_0	a_1	$b \cdot \ln 10$	b	M_{0i}	h_{min}	h_{max}	$h_{вер}$	N_{Σ}	M_{max} (набл)	M_{max}	Тип подвижки
22	1961-2015	0.11	4.0	3.94	2.06	0.895	1.9	3	30	10	249	4.3	6.5	TS
23	1952-2015	0.34	4.0	3.34	1.31	0.571	1.7	1	28	15	280	5.5	7.0	TS
24	1952-2015	0.49	4.0	3.66	1.42	0.617	2.1	1	30	15	496	6.1	8.0	TS
25	1952-2015	0.89	4.0	3.96	1.45	0.628	2.5	1	35	15	657	6.4	7.0	TF
26	1951-2015	2.00	4.0	4.23	1.39	0.603	1.9	3	48	15	1071	5.9	8.0	TF
27	1951-2015	0.28	4.0	3.48	1.46	0.633	1.7	1	40	15	308	5.8	6.0	TS
27b	1960-2015	0.03	4.0	3.23	1.98	0.859	2.3	10	25	10	37	6.1	6.0	SS
28	1951-2015	0.81	4.0	4.21	1.63	0.709	2.3	3	35	10	547	5.4	6.5	NS
29	1951-2015	0.71	4.0	3.87	1.45	0.629	1.7	2	38	10	798	6.5	6.5	TF
31	1951-2015	0.48	4.0	3.73	1.47	0.637	1.7	1	38	10	541	8.3	7.5	NS
32	1951-2015	0.90	4.0	3.86	1.37	0.596	1.7	3	35	10	481	6.0	6.5	TF
33	1959-2015	0.33	4.0	3.81	1.67	0.725	1.7	5	30	10	375	5.0	5.5	TF
34	1951-2015	0.10	4.0	4.27	2.27	0.984	2.3	3	32	10	309	4.2	6.0	TS
34a	1952-2015	0.15	4.0	4.06	2.01	0.874	2.3	2	30	10	162	4.7	6.5	TF
35	1952-2015	0.30	4.0	4.45	2.08	0.904	2.3	2	35	10	562	6.0	6.5	TF
36	1951-2015	0.25	4.0	3.7	1.63	0.707	1.6	2	30	10	497	7.3	7.5	TF
37	1952-2015	0.49	4.0	3.84	1.53	0.67	1.7	3	30	10	659	6.4	8.0	TF
38	1951-2015	1.65	4.0	4.33	1.51	0.658	1.4	1	45	10	2908	8.2	8.5	TF
39	1950-2015	0.40	4.0	3.81	1.57	0.681	1.7	3	40	15	799	7.0	7.0	TS
40	1953-2015	0.90	4.0	4.02	1.49	0.646	1.7	1	35	15	1389	6.8	7.5	TF
41	1950-2015	0.52	4.0	3.92	1.56	0.679	2.3	2	30	10	315	6.9	7.5	TF
43	1951-2015	1.45	4.0	4.54	1.68	0.731	2.3	1	40	10	1055	6.1	6.5	TF
45	1960-2015	1.19	4.0	4.18	1.55	0.671	2.3	1	38	10	951	7.5	7.5	TF
46	1950-2015	0.96	4.0	3.98	1.43	0.62	1.7	1	35	10	856	5.8	7.0	TS
47	1951-2015	1.16	4.0	3.99	1.39	0.602	1.7	1	58	10	318	5.6	7.0	TF
48	1951-2015	1.53	4.0	4.43	1.60	0.693	2.3	1	52	10	2037	6.7	7.0	TS
49	1951-2015	6.77	4.0	5.38	1.80	0.78	3.0	1	54	10	1842	6.6	7.0	TF
50	1944-2015	3.88	4.0	5.54	2.04	0.884	3.6	3	48	5	329	5.9	6.5	TF
51	1962-2015	2.32	4.0	4.03	1.27	0.55	2.3	1	38	5	519	7.5	8.0	TF

Основные отличительные элементы оценки сейсмической опасности: – расчет сейсмических воздействий на территорию г. Алматы от 29 сейсмогенерирующих зон; – вероятностный подход к расчету сейсмической опасности; – характеристика опасности в количественных параметрах колебаний грунта в дополнение к макросейсмическим характеристикам.

Вероятностный подход позволяет оценивать степень сейсмической опасности для объектов разных сроков службы и категорий ответственности. Карты, описывающие сейсмическую опасность с помощью макросейсмических показателей последствий землетрясений – баллов по шкале MSK-64(K), дают информацию о исходной сейсмической опасности территории города и позволяют оценить возможные макросейсмические последствия прогнозируемых землетрясений. Количественные параметры колебаний грунта – пиковые ускорения – необходимы для проведения инженерных расчетов зданий и сооружений, а также мероприятий экономического и социального характера по предотвращению или снижению ущерба. Такие карты иллюстрируют региональные различия в амплитуде колебаний грунта при постоянном периоде повторяемости сейсмических сотрясений (т.е. постоянной вероятности превышения сейсмического эффекта). Они также позволяют быстро и на единой основе сравнивать сейсмическую опасность районов, выделяя наиболее опасные.

Отметим, что в данной работе материалы по расчету количественных параметров колебаний грунта (пиковые ускорения) не приводятся.

Теория, на основании которой проводится анализ и оценка сейсмической опасности, развита в работах [16-23]. Общепринятый подход состоит в построении кривых сейсмической опасности, которые указывают среднюю годовую частоту превышения значений выбранного параметра движения грунта. На основе кривых сейсмической опасности рассчитывается вероятность превышения заданного значения выбранного параметра и, соответственно, величина параметра, относящаяся к заданной вероятности превышения в течение требуемого периода времени.

Входными данными для проведения вероятностной оценки сейсмической опасности (ВОСО) служат:

- модели сейсмогенерирующих зон;
- законы повторяемости землетрясений;
- модели затухания параметров движений грунта в зависимости от магнитуды землетрясения и расстояния до пункта наблюдений.

Выходными результатами являются оценки движения грунта (сотрясаемость I) при заданном периоде времени T . В данной статье (в соответствии с отечественной практикой) представляется магнитудная шкала и в качестве выходного параметра – макросейсмическая интенсивность I шкалы MSK-64(K).

Численные расчеты ВОСО выполнялись на основе комплекса компьютерных программ SEISRISK-III [24] в модификации SRISKnas. Модификация состояла в адаптации данного комплекса для работы с интенсивностью в баллах и использования зависимости интенсивности от параметров сейсмического режима, полученной для территории Северного Тянь-Шаня [9]:

$$I = 1.5M_s - 3.3 \lg R + 3.0,$$

где R – гипоцентральное расстояние, M_s – магнитуда.

Сопоставление результатов работы комплекса компьютерных программ SEISRISK-III и МЗС-2014 (программа, любезно предоставленная Британской геологической службой в рамках международного проекта) показало их хорошее совпадение. Однако расчетное время работы программы МЗС значительно (более суток непрерывного счета) больше, чем у программы SEISRISK-III, поэтому на данном этапе использовалась последняя программа.

Для территории города Алматы ВОСО выполнена в соответствии с современными международными стандартами, на основе новейших научных достижений в области сейсмологии, сеймотектоники, сейсмогеодинамики. При этом учитываются параметры сейсмического режима каждой сейсмогенерирующей зоны (региональной и локальной) и сейсмических воздействий от местных и транзитных землетрясений.

Вероятностная оценка сейсмической опасности основана на выполнении расчетов появления сотрясений (I) той или иной интенсивности в заданном месте. Между сейсмической сотрясаемостью I и вероятностью P_0 существует однозначная связь [17]:

$$P_0 = t/T = tI, \quad t \ll T,$$

где $T = 1/I$ – период повторения соответствующих сотрясений, t – время ожидания (срок службы сооружения).

Программы позволяют оценить вероятность состояния, когда интенсивность I на заданной площадке от землетрясений из окружающих сейсмогенерирующих зон может выйти за граничное значение.

Для численных расчетов вся исследуемая территория г. Алматы в пределах координат $\varphi=43.00^\circ-43.42^\circ$ с.ш. и $\lambda=76.72^\circ-77.19^\circ$ в.д. разбита на элементарные площадки 2×2 км в обоих направлениях, что определяет пространственное разрешение карт. Для каждого элемента матрицы 19×24 (456 площадок) проведены расчеты от всех 29 заданных источников (зон). Для обеспечения нужной минимизации ошибок, в каждом случае выполнялось 15 итераций. Из заданного облака решений выбиралось максимальное значение P_i для каждой заданной элементарной площадки. Оценка сейсмической опасности определялась в величинах значений превышения заданной интенсивности в год. Затем, в соответствии с известными нормативными требованиями, производилось вычисление вероятности превышения каждой заданной интенсивности за 50 лет, для периодов повторяемости землетрясений в 475 и 2475 лет, что соответствует 10% и 2% вероятности.

Для воспроизведения результатов работы программы SRISKnas с помощью известных пакетов графического представления материалов, составлены программные интерфейсы (разработчик – Г.Г. Стихарная): OUTSID, RISKBAL, GEOGR.

OUTSID – программа, позволяющая из всего многообразия выходных данных программы SRISKnas, для каждого узла сетки выбрать векторы риска P , с заданными значениями интенсивности от 5 до 11 баллов с интервалом через 0.5 балла. Для каждой точки исследуемой территории имеется возможность построить график зависимости риска P от значений интенсивности I в баллах – кривую сейсмической опасности. Пример графика для точки с координатами $(-39.15$ км; -18.36 км) приведен на рисунке 6.

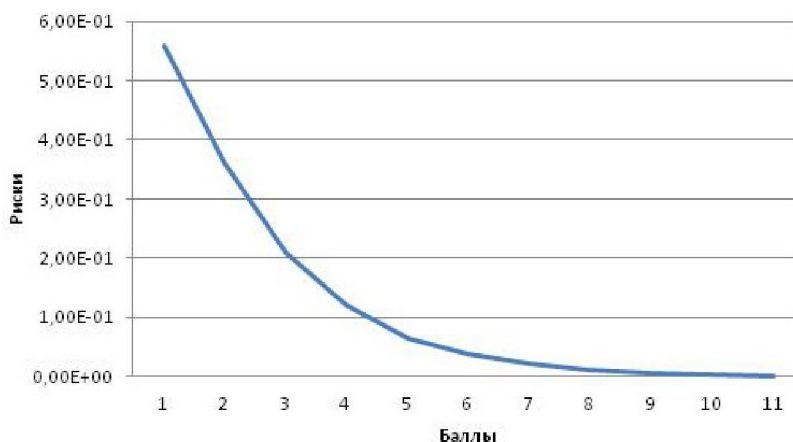


Рисунок 6 – Кривая сейсмической опасности для точки

Figure 6 – Curve of seismic hazard for a point

RISKBAL – программа для вычисления значений интенсивности I в баллах в узлах заданной сетки, при заданном риске, в прямоугольной (километровой) системе координат. Так как в программе SRISKnas расстояния измеряются в километрах, необходимо выполнять перевод входных величин, задаваемых в географической системе координат, в прямоугольную.

Для представления результатов в виде карт исходной сейсмичности, в привычной, географической системе координат, создана программа GEOGR, выполняющая перевод прямоугольных координат в географические (рисунки 7 и 8).

Результаты расчета исходной (фоновой) балльности, представленные на рисунках 7 и 8 в виде изосейст через 0,1 балла, имеют оцифровку от 8,8 до 9,9 для периода повторяемости 475 лет и от 9,4 до 10,8 для периода 2475 лет.

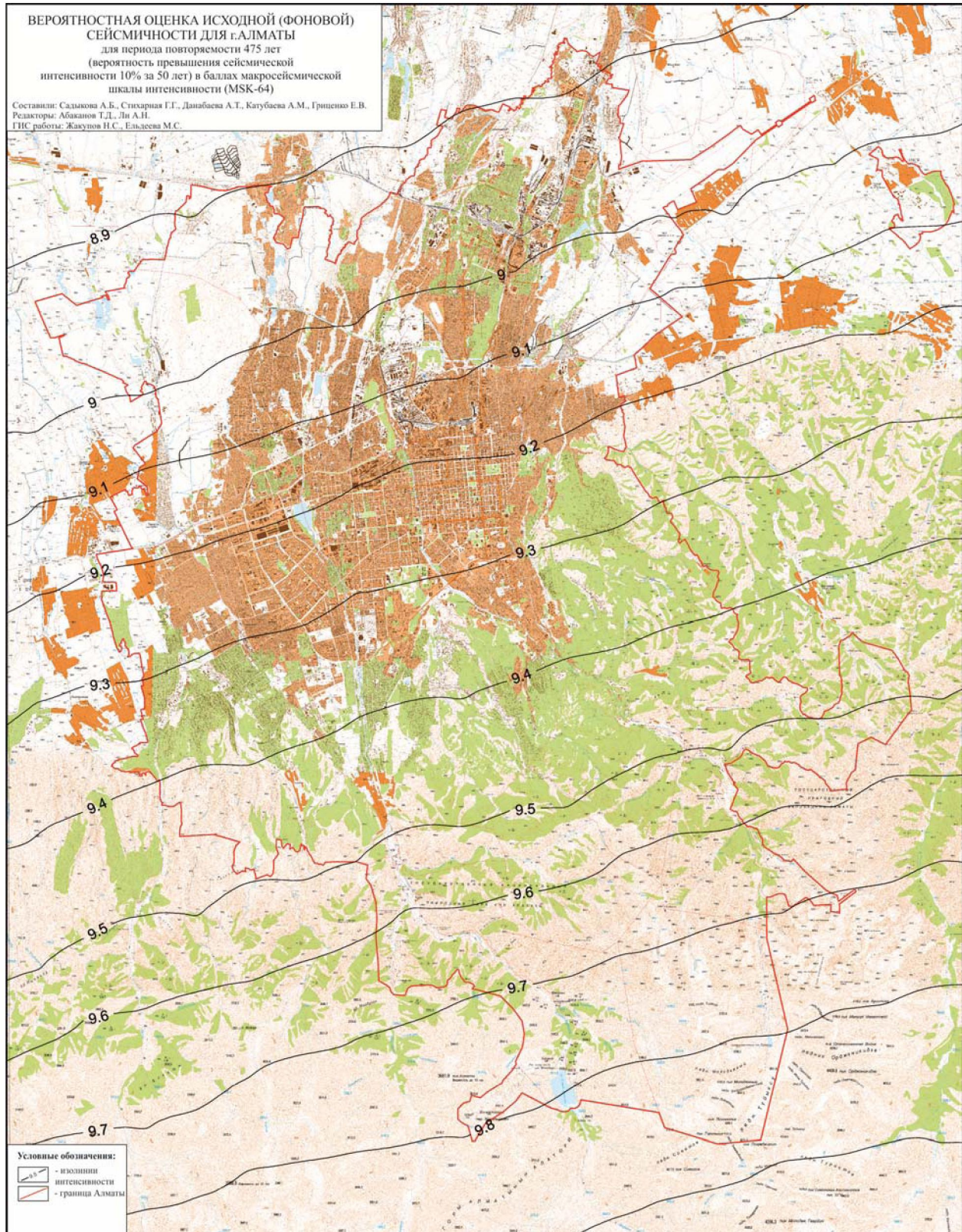


Рисунок 7 – Вероятностная оценка исходной (фоновой) сейсмичности для г. Алматы, для периода повторяемости 475 лет (вероятность превышения 10% за 50 лет) в баллах макросейсмической шкалы интенсивности

Figure 7 – Probabilistic assessment of initial (background) seismicity of Almaty city, for return period of 475 years (the probability of exceeding is 10% for 50 years) in points of macroseismic scale intensity

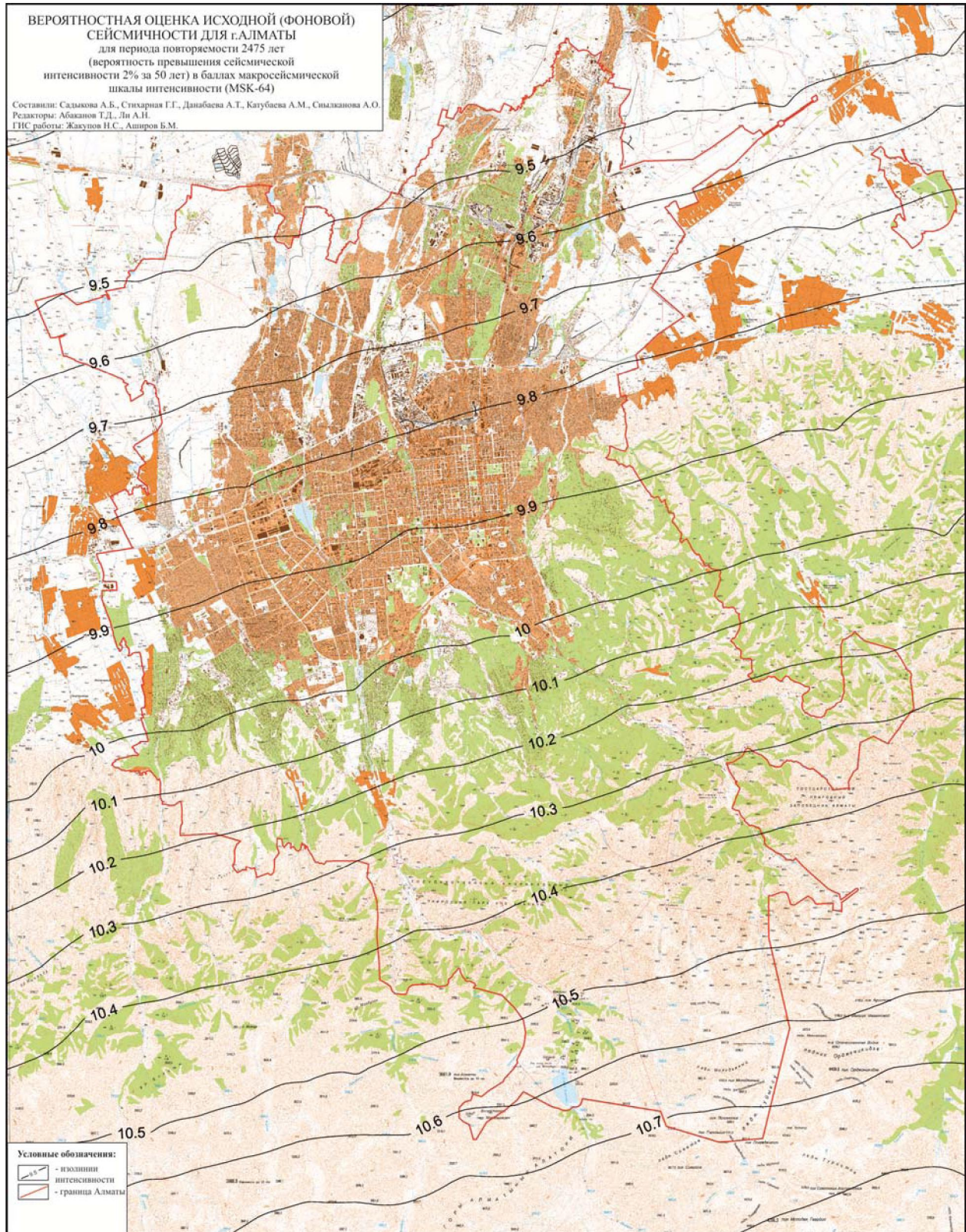


Рисунок 8 – Вероятностная оценка исходной (фоновой) сейсмичности для г. Алматы, для периода повторяемости 2475 лет (вероятность превышения 2% за 50 лет) в баллах макросейсмической шкалы интенсивности

Figure 8 – Probabilistic assessment of initial (background) seismicity of Almaty city, for return period of 2475 years (the probability of exceeding is 2% for 50 years) in points of macroseismic scale intensity

Наиболее опасные зоны исходной сейсмичности со значениями 9, 10 и более баллов, обусловленные Кунгейской, Заилийской, Алматинской и др. сейсмогенерирующими зонами, занимают практически всю территорию города. В северной части города изолинии интенсивности составляют значения 8,8-8,9 балла на карте с периодом повторяемости 475 лет и 9,4–9,5 – с периодом повторяемости 2475 лет. Такие сотрясения могут быть обусловлены как удаленными, так и местными сейсмогенерирующими зонами. В дальнейшем необходима детализация полученных результатов с использованием зависимостей затухания интенсивности сотрясений с расстоянием по различным направлениям.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сейсмическое микрорайонирование территории города Алма-Аты / Ержанов Ж.С., Шапилов В.И., Нурмагамбетов А., Сыдыков А., Абулгазин Р.К. – Алма-Ата: Наука, 1982. – 112 с.
- [2] Алешин А.С. Сейсмическое микрорайонирование особо ответственных объектов. – М.: Светоч Плус, 2010. – 304 с.
- [3] Eurocode 8: Conception et dimensionnement des structures pour la résistance au séisme. – Partie 1-1: Règles générales - Actions sismiques et exigences générales pour les structures. – Institut Belge de Normalisation (IBN), 2002.
- [4] Отчет о НИР «Требования к картам общего сейсмического зонирования Республики Казахстан, соответствующим положениям Еврокода 8, для применения в практике проектирования на территории Казахстана». – Алматы: АО «КАЗНИИАС», 2013. – 89 с.
- [5] Геодинамика и сейсмичность литосферы Казахстана. – Алматы, 2007. – 411 с.
- [6] Тимуш А.В. Сейсмоструктура литосферы Казахстана. – Алматы: Luxe Media Group, 2011. – 590 с.
- [7] Сейсмогенерирующие зоны Казахстана / Тимуш А.В., Тарадаева Т.В., Степаненко Н.П., Садыкова А.Б., Сыдыков А. – Алматы: Хай Текнолоджи, 2012. – 83 с.
- [8] Садыкова А.Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана. – Алматы: Хай Текнолоджи, 2012. – 267 с.
- [9] Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. – Алматы: Ыбылым, 2004. – 270 с.
- [10] Сыдыков А., Садыкова А.Б., Стихарная Г.Г., Полешко Н.Н., Жунусова А.Ж. Параметризация сейсмогенерирующих зон Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона // Известия НАН РК. Серия геологическая. – 2010. – № 4. – С. 45-52.
- [11] Садыкова А.Б., Данабаева А.Т., Катубаева А.М. К оценке сейсмической опасности Алматинского региона // The Eighth International Symposium on Tianshan Earthquakes. Collection of paper abstracts. – Urumqi, China, 2013. – P. 36-37.
- [12] Садыкова А.Б., Сыдыков А., Стихарная Г.Г., Данабаева А.Т., Грищенко Е.В. Сейсмичность Алматинского региона (к сейсмическому районированию г. Алматы) // Геология и охрана недр. – 2014. – № 4(53). – С. 82-89.
- [13] СНиП РК 2.03-30-2006 Строительство в сейсмических районах. – Алматы, 2006. – 80 с.
- [14] Национальное Приложение к СН РК EN 1998-1:2004/2012 и НТП РК-08-01-2012 «Проектирование сейсмостойких зданий и сооружений. – Часть: Общие положения. Сейсмические воздействия». – Разделы 1-3 СН РК EN 1998-1:2004/2012.
- [15] СН РК 2.03-28-2004. Шкала для оценки интенсивности землетрясений MSK-64(К). – Алматы, 2004.
- [16] Сейсмическое районирование территории СССР (методические основы и региональное описание карты ОСР- 78) / Отв. ред. В. И. Бунэ, Г. П. Горшков. – М., 1980. – 307 с.
- [17] Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. – М.: Наука, 1985. – 406 с.
- [18] Review of Recommendation for Probabilistic Seismic Hazard Analysis // Guidance on Uncertainty and Use of Experts. National Academy Press. – Washington, DC, 1997. – P. 1-67.
- [19] Cornell C.A. Engineering seismic risk analysis // Seismol. Soc. America Bull. – 1968. – Vol. 58, N 5. – P. 1583-1606.
- [20] Cornell C.A. Probabilistic analysis of damage to structures under seismic loads // In: Dynamic Waves in Civil Engineering. – London, 1971.
- [21] Merz H.A. and Cornell C.A. Seismic risk analysis based on a quadratic magnitude frequency law // Seismol. Soc. America Bull. – 1973. – Vol. 63, N 6. Pt. 1. – P. 1999-2006.
- [22] Уломов В.И. Об основных положениях и технических рекомендациях по созданию новой карты сейсмического районирования территории Российской Федерации // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. – М.: ОИФЗ РАН, 1995. – Вып. 2-3. – С. 9-26.
- [23] Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии // Вулканология и сейсмология. – 1999. – № 4-5. – С. 6-22.
- [24] Bender B., Perkins D. SEISRISK III: a computer program for seismic Hazard Estimation / USGS Technical Report. – N 1772.

REFERENCES

- [1] Seismicheskoe mikrorajonirovanie territorii goroda Alma-Aty / Erzhanov Zh.S., Shacilov V.I., Nurmagambetov A., Sydykov A., Abulgazin R.K. Alma-Ata: Nauka, 1982. 112 p. (in Kaz.).
- [2] Aleshin A.S. Seismicheskoe mikrorajonirovanie osobo otvetstvennyh ob#ektov. M.: Svetoch Pljus, 2010. 304 p. (in Russ.).
- [3] Eurocode 8: Conception et dimensionnement des structures pour la résistance au séisme. Partie 1-1: Règles générales - Actions sismiques et exigences générales pour les structures. Institut Belge de Normalisation (IBN), 2002.
- [4] Otchet o NIR «Trebovanija k kartam obshhego seismicheskogo zonirovanija respublikii Kazahstan, sootvetstvujushhim polozhenijam Evrokoda 8, dlja primenenija v praktike proektirovanija na territorii Kazahstana». Almaty: AO «KAZNIISA», 2013. 89 p. (in Kaz.).
- [5] Geodinamika i seismichnost' litosfery Kazahstana. Almaty, 2007. 411 p. (in Kaz.).

- [6] Timush A.V. Sejsmotektonika litosfery Kazahstana. Almaty: Luxe Media Group, 2011. 590 p. (in Kaz.).
- [7] Sejsmogenerirujushhie zony Kazahstana / Timush A.V., Taradaeva T.V., Stepanenko N.P., Sadykova A.B., Sydykov A. Almaty: Haj Teknologzhi, 2012. 83 p. (in Kaz.).
- [8] Sadykova A.B. Sejsmicheskaja opasnost' territorii Kazahstana. Almaty: Haj Teknologzhi, 2012. 267 p. (in Kaz.).
- [9] Sydykov A. Sejsmicheskij rezhim territorii Kazahstana. Almaty: Fylym, 2004. 270 p. (in Kaz.).
- [10] Sydykov A., Sadykova A.B., Stiharnaja G.G., Poleshko N.N., Zhunusova A.Zh. Parametrizacija sejsmogenerirujushhih zon Dzhungaro-Severo-Tjan'-Shan'skogo regiona // Izvestija NAN RK. Serija geologicheskaja. 2010. N 4. P. 45-52. (in Kaz.).
- [11] Sadykova A.B., Danabaeva A.T., Katubaeva A.M. K ocenke sejsmicheskoy opasnosti Almatinskogo regiona // The Eighth International Symposium on Tianshan Earthquakes. Collection of paper abstracts. Urumqi. China, 2013. P. 36-37.
- [12] Sadykova A.B., Sydykov A., Stiharnaja G.G., Danabaeva A.T., Gricenko E.V. Sejsmichnost' Almatinskogo regiona (k sejsmicheskomu rajonirovaniyu g. Almaty) // Geologija i ohrana nedr. 2014. N 4(53). P. 82-89. (in Kaz.).
- [13] SNiP RK 2.03-30-2006 Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah. Almaty, 2006. 80 p. (in Kaz.).
- [14] Nacional'noe Prilozhenie k SN RK EN 1998-1:2004/2012 i NTP RK-08-01-2012 «Proektirovanie sejsmostojkikh zdaniy i sooruzhenij. Chast': Obshhie polozhenija. Sejsmicheskije vozdejstvija». Razdely 1-3 SN RK EN 1998-1:2004/2012. (in Kaz.).
- [15] SN RK 2.03-28-2004. Shkala dlja ocenki intensivnosti zemletrjasenij MSK-64(K). Almaty, 2004. (in Kaz.).
- [16] Sejsmicheskoe rajonirovanie territorii SSSR (metodicheskie osnovy i regional'noe opisanie karty OSR-78) / Otv. red. V. I. Bunje, G. P. Gorshkov. M., 1980. 307 p. (in Russ.).
- [17] Ryznichenko Ju.V. Problemy sejsmologii. Izbrannye trudy. M.: Nauka, 1985. 406 p. (in Russ.).
- [18] Review of Recommendation for Probabilistic Seismic Hazard Analysis // Guidance on Uncertainty and Use of Experts. National Academy Press. Washington, DC, 1997. P. 1-67.
- [19] Cornell C.A. Engineering seismic risk analysis // Seismol. Soc. America Bull. 1968. Vol. 58, N 5. P. 1583-1606. (in USA).
- [20] Cornell C.A. Probabilistic analysis of damage to structures under seismic loads // In: Dynamic Waves in Civil Engineering. London, 1971. (in Eng.).
- [21] Merz H.A. and Cornell S.A. Seismic risk analysis based on a quadratic magnitude frequency law // Seismol. Soc. America Bull. 1973. Vol. 63, N 6. Pt.1. P. 1999-2006. (in USA).
- [22] Ulomov V.I. Ob osnovnyh polozhenijah i tehniceskikh rekomendacijah po sozdaniyu novoj karty sejsmicheskogo rajonirovaniya territorii Rossijskoj Federacii // Sejsmichnost' i sejsmicheskoe rajonirovanie Severnoj Evrazii. M.: OIFZ RAN, 1995. Vyp. 2-3. P. 9-26. (in Russ.).
- [23] Ulomov V.I. Sejsmogeodinamika i sejsmicheskoe rajonirovanie Severnoj Evrazii // Vulkanologija i sejsmologija. 1999. N 4-5. P. 6-22. (in Russ.).
- [24] Bender V., Perkins D. SEISRISK III: a computer program for seismic Hazard Estimation / USGS Technical Report. N 1772. (in USA).

А. Б. Садыкова, А. Сыдықов, Г. Г. Стихарная, А. М. Данабаева

Сейсмология институты, Алматы, Қазақстан

АЛМАТЫ ҚАЛАСЫ ТЕРРИТОРИЯСЫНЫҢ БАСТАПҚЫ СІЛКІНГІШТІГІН МИКРОАУДАНДАУҒА БАЙЛАНЫСТЫ ЫҚТИМАЛДЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ

Аннотация. Жұмыста 2015 жылғы сеймотектоникалық деформация параметрлері жиынтықтарының Алматы қаласы аумағын микроаудандау үшін сейсмикалық қауіптілікті есептеу ең алғаш рет Еврокод 8 ережелеріне сәйкес (EN 1998-1:2004) «Сейсотөзімді құрылыстарды жобалау» әдістеме негізінде, Қазақстан территориясын жобалау тәжірибесінде қолдану үшін жүзеге асырылды және жаңаланған эксперименттік қорларды қолдану мен жаңа әдістemenің негізінде жасалды.

Бұл жұмыс Алматы қаласын сейсмикалық микроаудандаудың (СМА) алғашқы кезеңі – бастапқы сілкінгіштікті (карта жасау) бағалауға арналған, яғни белгіленген уақыт ішінде (берілген тапсырмаға сәйкес 475 және 2475 жылдар қайталану периодтары үшін) Алматы қ. территориясының орташа жер жағдайлары үшін күтілетін сейсмикалық әсердің сандық сипаттамаларын анықтау. Қарастырылып отырған Алматы қ. Территориясы созылыңқы болып келгендіктен (соңғы деректерге сәйкес қала оңтүстіктен солтүстікке қарай шамамен 80 км арақашықтыққа созылады), бүкіл қала аумағы бойынша арақашықтық сайын қарқындылықтың қалыптасуы бәсеңдеу заңдылықтарының есептері қажет. Бастапқы сілкінгіштікті бағалау әдістемесінің негізгі ерекше элементтері: - Алматы қаласынан 300 км-ге дейінгі арақашықтықта орналасқан 29 сейсмогенді белдемдердің қала аумағына әсер ететін сейсмикалық әсерлері бағаланды; - алғаш рет сейсмикалық қауіптілікті есептеудің ықтималдылық тәсілдемесі жүзеге асырылды; - макросейсмикалық сипаттамаларға қоса жер тербелісінің есептік параметрлерінің сипаттамалары алынды. Берілген жұмыста жер тербелісінің (үдеудің шыңы) сандық параметрлерінің есептері бойынша деректер келтірілмеген.

Алматы қаласының бастапқы сілкінгіштігін бағалаудың 475 және 2475 жж қайталану периодына (50 жыл үшін ықтималдылықтың асуы 10% және 2%) макросейсмикалық қарқындылық шкаласы бойынша балл түрінде ықтималдылық картасы жасалды.

Түйін сөздер: микроаудандау, сейсмогенді белдемдер, сейсмикалық режим, бастапқы сілкінгіштікті бағалау, сейсмикалық әсер.