

О причинах возникновения и последствиях двух разрушительных землетрясений в Турции 06.02.2023 г.

В.В. Ружич¹, Л.П. Бержинская^{1,2}, Е.А. Левина¹, Е.И. Пономарева¹

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Иркутский научно-исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. С применением разработанной геоинформационной системы “Prediction” проведен анализ доступных из СМИ сведений о двух разрушительных землетрясениях в Турции, произошедших 06.02.2023 г. Анализировались сейсмогеологические условия режимов подготовки и проявления сейсмогенных деформаций грунтов в эпицентральных областях двух Турецких землетрясений, эпицентры которых возникли в юго-западном сегменте Восточно-Анатолийского разлома. Обсуждаются возможности распознавания признаков подготовки данных землетрясений средствами среднесрочного прогноза, разработанными для Байкальской рифтовой зоны, которые важны для оценок сейсмической опасности и сейсмического риска. На основании анализа последствий масштабного разрушения жилой и промышленной инфраструктуры Турции рассмотрены причины огромного ущерба экономике страны, нанесенного землетрясениями, которые во многом обусловлены крайне неблагоприятными сейсмотектоническими условиями и проблемами урбанизации, возникшими вследствие недостаточного соблюдения необходимых требований и норм сейсмостойкого строительства.

Ключевые слова: активные разломы, сейсмический режим, среднесрочный прогноз, сейсмическая опасность, сейсмический риск.

On the causes and consequences of two devastating earthquakes in the Türkiye on February 6, 2023

V.V. Ruzhich¹, L.P. Berzhinskaya^{1,2}, E.A. Levina¹, E.I. Ponomareva¹

¹Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia

²Irkut Technical Research University, Irkutsk, Russia

Abstract. Using the developed geoinformation system “Prediction”, an analysis was made of information available from the media on two devastating earthquakes in the Türkiye that occurred in the western segment of the East Anatolian fault on February 6, 2023. The possibilities of recognizing signs of the preparation of earthquake data by means of medium-term forecasting developed for the Baikal rift zone, which are important for assessing seismic hazard and seismic risk, are discussed. Based on the analysis of the consequences of the large-scale destruction of residential and industrial infrastructure in the Türkiye, the causes of the huge damage to the country's economy caused by earthquakes, which are largely due to unfavorable seismotectonic conditions and urbanization problems that arose as a result of insufficient compliance with the necessary requirements and norms of earthquake-resistant construction, are considered.

Keywords: active faults, seismic regime, medium-term forecast, seismic hazard, seismic risk.

Введение

Одна из величайших сейсмических трагедий в последнее столетие, произошедшая 6 февраля 2023 г. на юго-востоке Турции, в очередной раз наглядно напомнила о

том, какими масштабными и губительными могут быть последствия неожиданного сейсмического события, после которого зафиксированы почти 50 тысяч погибших, а также огромные экономические потери. Произошедшая стихийная катастрофа нанесла зна-

чительный урон и ряду соседних государств: Сирии, Таджикистану, Армении, Грузии. Огромные масштабы трагедии усугублялись тем, что высокоамплитудные сейсмические сотрясения распространялись в пределах плотно заселенной территории с многочисленными городами, расположенными на активных межплитных разломах, что привело к разрушению более 150 тысяч многоэтажных жилых зданий, с появлением многочисленных жертв среди местного населения. Для широкой аудитории огромный совокупный ущерб остается вероятнее всего оцененным, но закрытым. На повестке дня в очередной раз возник злободневный вопрос о путях решения острейшей проблемы, касающейся обеспечения сейсмической безопасности. В мировом сообществе в настоящее время используемые способы снижения сейсмического риска признаются недостаточно эффективными, что способствует распространению пессимистических настроений среди населения является причиной упреков научному сообществу по поводу отсутствия эффективных способов более успешного противостояния подземной природной стихии. Во многом это связано с недооценкой важности более детального изучения закономерностей геологических процессов, влияющих на подготовку землетрясений в недрах литосферной оболочки Земли. Предпринимаемые в настоящее время в России способы противостояния подземной стихии в основном строятся лишь на совершенствовании общего сейсмического районирования при весьма критическом отношении к результатам разработок различных видов прогноза землетрясений, а также к совершенствованию норм и правил, регламентирующих повышение сейсмостойкости сооружений городской инфраструктуры.

Общеизвестно, что причины возникновения масштабных трагических потерь в Турции были во многом обусловлены повышенной уязвимостью объектов застройки городов и крайне опасным уровнем сейсмотектонической активности многочисленных разломов в земной коре Анатолийской плиты при ее напряженном контактом взаимодействии с Африканской и Аравийской плитами. Поэтому не случайно при событиях в

Турции вновь всплыло воспоминание о том, что людей убивают не сами землетрясения, а разрушаемые ими здания, в которых находились люди. Например, на слабозаселенной территории Монгольской Республики при возникновении в 1905 г. двух сильнейших 10–11-бальных Болнайских землетрясений, а также при Гоби-Алтайском десятибалльном землетрясении 4.12.1957 г. общее число жертв не превысило первых десятков (Соловьев, 1960; Ружич, 1997).

Уместно вспомнить о том, что за двадцатый и начало двадцать первого века в Турции многочисленными сейсмическими станциями было зафиксировано более двадцати сильных землетрясений с интенсивностью 8–10 баллов по шкале MSK-64. Например, особенно губительным было сильнейшее разрушительное землетрясение в 1939 г. в г. Эрзинжане.

Анализируя большой объем разноречивой информации, поступающей в виде фотодокументов, видеоклипов и газетных публикаций, авторы данного сообщения предприняли попытки осмыслить произошедшее событие в Турции, сопоставляя его с проявлениями высоко опасной сейсмической активности в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ) и Монголии. Ниже в кратком виде обсуждаются результаты проведенного анализа причин и последствий сейсмических событий в Турции, а также приводятся сведения, касающиеся возможностей применения метода среднесрочного прогноза землетрясений и техногенных мероприятий для смягчения разрушительных последствий.

К вопросу об условиях подготовки двух главных землетрясений в Турции

Разработанное авторами программное обеспечение и возможность доступа к мировому каталогу землетрясений с $M \geq 3.5$ (Ружич, 1997; Левина, 2011), позволяют нам изучать сейсмический режим при их подготовке в любом регионе Земли, в том числе в Турции. Таким путем изучались особенности проявления сейсмического режима, с учетом последовательности возникновения и пространственно-временной миграции эпицентров землетрясений в зоне активизации Восточно-Анатолийского разлома. Для этого

детально анализировалась пространственная миграция эпицентров более слабых землетрясений до возникновения главного первого землетрясения с $M=7.7$, и в течение 9 часов, перед вторым сильным землетрясением с $M=7.6$. Для иллюстрации на рисунке 1 в ви-

де прямоугольника показана территория, в пределах которой фиксировались перемещения эпицентров землетрясений, что позволяет оценивать режим вспарывания участков Восточно-Анатолийского разлома.



Рис. 1. Карта центральной части Турции, где черным прямоугольником обозначен район возникновения двух главных турецких землетрясений. Большими красными кружками отмечено положение эпицентров главных событий, а также форшоков и афтершоков с $M \geq 4.0$, вместо, возникших за период наблюдений с 2013 года до 23.02.2013 гг.

Fig. 1. Map of the central part of the Türkiye, where the black rectangle indicates the area of origin of the two main Turkish earthquakes and their epicenters. Large red circles mark the position of the epicenters of the main events, as well as foreshocks and aftershocks with $M \geq 4.0$, that occurred during the observation period from 2013 to February 23, 2013.

Проведенный анализ сейсмического режима, возникшего перед первым сильным землетрясением начиная с 2013 г., показал, что начало финальной стадии предшоковой активизации следует фиксировать с октября 2019 г. в соответствии с двухстадийной моделью подготовки землетрясений, рассмотренной в работе (Ружич, Левина, 2020). В указанный временной интервал, в пределах обозначенной прямоугольником территории, возникли характерные стадии: “предшоковой сейсмической

активизации” и последующей стадии “сейсмического затишья”. Данная модель была разработана на основании анализа многочисленных режимов подготовки землетрясений в БРЗ, Монголии и других регионах (Новый каталог..., 1977). Механизм ее возникновения был выявлен при проведении натурного физического моделирования и экспериментов в зонах разломов, а также при изучении эпизодов динамического разрушения ледяного покрова Байкала, которые

сопровождались излучением пакетов волновых колебаний сейсмического диапазона, сходных с землетрясениями (Ружич и др., 2014; Ostapchuk et al., 2019). Также установлено, что с применением данной модели есть возможность получать удовлетворительные результаты в рамках разрабатываемого среднесрочного прогноза землетрясений при оценках времени и энергии ожидаемых землетрясений (Ружич, Левина, 2020).

При анализе выявились некоторые примечательные особенности условий подготовки второго сильнейшего события. На рис.1 красными линиями показаны активизированный юго-западный сегмент зоны межплитного Восточно-Анатолийского разлома и пересекающий его субширотный региональный разлом, в котором и возник последующий за первым очаг второго разрушительного землетрясения в провинции Кахраманмараш. Заметим, что в том районе так же существовало сейсмическое затишье, как и перед моментом возникновения первого землетрясения, которое традиционно маскировало готовящуюся катастрофу. В пери-

оды сейсмического затишья в сегментах разломов необходимо изучить предшествующую сейсмическую активность, в которой содержатся сведения об энергетическом потенциале готовящегося очага землетрясения. Если прогноз строится только на сведениях стандартного каталога землетрясений, в котором нет сведений о слабых толчках с магнитудами менее 4, то в стадии сейсмического затишья оценивать сейсмическую опасность можно лишь с учетом длительности затишья. Подобный случай имел место и при обсуждении событий в Турции. Проведенный анализ сейсмического режима перед первым событием в местности Пазарджик с $M=7.7$ за период от 2013 г., показал, что начало финальной стадии в виде предшоковой активизации можно фиксировать с октября 2019 г. (рис. 2). Позднее, в 4 квартале 2021 года, в пределах обозначенной прямоугольником территории на карте, стали проявляться признаки стадии предшокового сейсмического затишья, согласно двухстадийной модели подготовки.

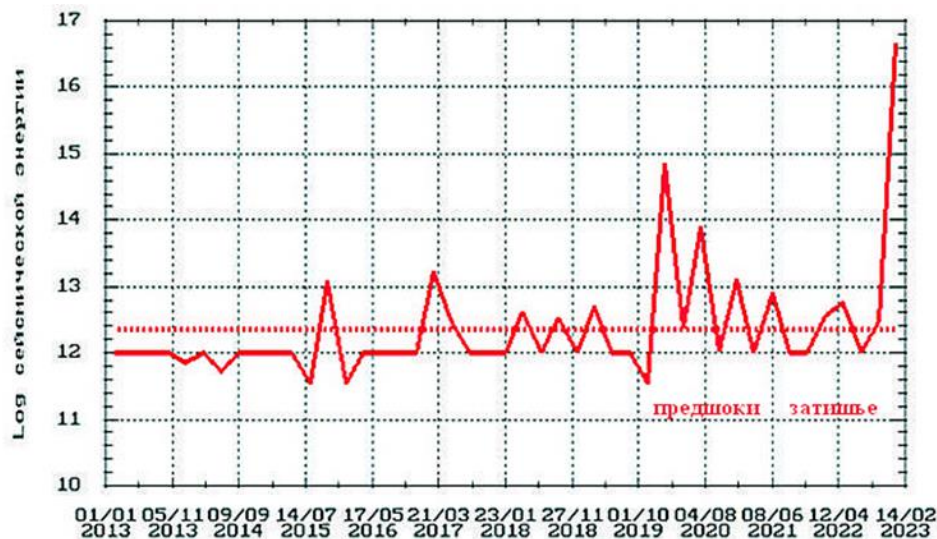


Рис. 2. Показан режим высвобождения энергии землетрясений в пределах обозначенной прямоугольником территории за период от 01.01.2013 г по 6.02.2023 г. Предположительно признаки финальной подготовки очага первого наиболее сильного землетрясения начинали проявляться в виде предшоковой активизации примерно в ноябре 2019 г. до окончания 2021 г. после чего началась стадия относительного сейсмического затишья перед максимальным шоком. По энергетическому уровню событий в период предшоковой активизации можно судить о сейсмическом потенциале готовящегося землетрясения при условии, что будет накоплен значительный объем упругой энергии в геоблоковом массиве.

Fig. 2. The mode of release of earthquake energy within the area indicated by the rectangle for the period from 01/01/2013 to 02/06/2023 is shown. Presumably, signs of the final preparation of the source of the first strongest earthquake began to display in the form of pre-shock reactivation approximately in November 2019 until the end of 2021, after which the stage of relative seismic calm before the maximum shock began. According to the energy level of events during the period of pre-shock reactivation, one can judge the seismic potential of the upcoming earthquake, provided that a significant amount of elastic energy is accumulated in the geoblock array.

Чтобы попытаться выяснить особенности режимов подготовки главных сдвоенных во времени сильных землетрясений, нами был проведен ретроспективный анализ сейсмического режима в сегменте Восточно-Анатолийского разлома за последние 15 лет. На некоторых картах разломов и эпицентрального поля землетрясений 2003 г. в Турции есть возможность обнаружения асейсмических участков разломов, то есть сейсмических брешей, в которых позднее и произошло возникновение двух главных разрушительных 9–10-балльных землетрясений. Наличие сейсмических брешей и разломных узлов нами рассматриваются как характерные признаки зон подготовки очагов готовящихся землетрясений в запертых сегментах разломов, в которых из-за высокого трения возникло контактное залипание крыльев.

Неожиданное возникновение второго землетрясения через 9 часов после первого требует отдельного изучения, поскольку режим его подготовки оказался не характерным. При рассмотрении наблюдаемой последовательности распространения афтершоковой серии после первого землетрясения было отмечено, что в районе возникновения второго очага несколько лет назад проявлялась лишь стадия сейсмического затишья. Нами предполагается, что подобный тип подготовки характерен для очагов наведенных землетрясений, возникающих при мощном сейсмодеформационном воздействии от близко расположенного ранее возникшего очага землетрясения. Можно предположить, что при вспарывании Восточно-Анатолийского разлома после первого шока возникло распространение эпицентров афтершоков в северо-восточном направлении, которое через 9 часов достигло места разломного пересечения с региональным высоконапряженным разломом взбросо-надвигового типа широтного простирания,

что послужило триггером для его активизации, то есть возникновения второго мощного сейсмического события в местности Эльбистан с $M=7.6$. Таким образом, наблюдаемый режим подготовки второго сильного землетрясения есть основание рассматривать как режим инициированного или наведенного землетрясения. Эпицентры афтершоков второго события распространились по простиранию субширотного разлома. Подобные случаи возникновения сдвоенных, то есть сближенных пространственно и во времени очагов землетрясений, нередко фиксировались во многих регионах Земли, что отмечено в работах, например, в (Кочарян, 2016, 2021; Ружич, Кочарян, 2017). В качестве примера можно напомнить сходную ситуацию, произошедшую в 1905 г. в Северной Монголии, где последовательно с интервалом в две недели возникли два катастрофических землетрясения – Цэцэрлэгское $M = 7.8$ и Болнайское $M = 8.2$ (Ружич, 1997).

О возможностях среднесрочного прогноза землетрясений

Прогностическая информация о сейсмических событиях в Турции, представленная средствами массовой информации, вызывает недоумение. Например, в научном сообществе Франк Хугербитс из Нидерландов, сказал за три дня до катастрофического землетрясения, о том, что: «...рано или поздно землетрясение с магнитудой примерно 7.5 произойдет в таких регионах как Южная или Центральная Турция, Иордан, Сирия, Ливан». Очевидно, что это был не самый «удачный прогноз» по времени ожидания опасного землетрясения, его энергии и местоположению. Наряду с такими сведениями по прогнозу землетрясений высказывались предположения о землетрясениях, спровоцированных глубинными взрывами или наведенным техническим секретным способом специалистами

недружественных стран. Более осведомленными специалистами в сфере прогноза землетрясений распространено простое объяснение о возникновении разрушительных толчков: они связаны с внезапно произошедшем сдвигении тектонических плит Аравийской и Анатолийской по зоне Восточно-Анатолийского разлома. Для многих чиновников подобное «обстоятельное» сообщение воспринимается как вполне исчерпывающее и не требующее более информативного объяснения. Против природы не пойдешь, приходится смириться и готовиться к разгребанию завалов и услугам МЧС. Нельзя исключить наличие более ответственных обоснованных высказываний по поводу прогноза произошедших событий, но они остались неизвестными. Не удивительно, что проблема обеспечения сейсмической безопасности воспринимается как не решаемая в ближней перспективе. Далее обратимся к представлениям о наличии признаков, которые позволяют судить о возможностях среднесрочного прогноза с большей определенностью.

Согласно проведенным работам специалистов по космической геодезии было установлено, что в районах готовившихся очагов землетрясений наблюдалось понижение скоростей деформаций в разломах, что вполне обоснованно трактуется как формирование сейсмических затиший (Kaftan, Melnikov, 2018). В рамках среднесрочного прогноза подобные признаки позволяют выявлять места подготавливаемых очагов землетрясений в течение ближайшего десятилетия. Они учитывались нами при разработках среднесрочного прогноза землетрясений с $M \geq 5.0$ для сейсмоопасной территории в БРЗ, где ранее фиксировались исторические землетрясения с $M=7.0 \div 7.5$. При анализе совокупности собранных материалов было выяснено, что для выявления мест подготовки формирующихся очагов опасных землетрясений наиболее информативными критериями являются: сегменты высокоранговых сейсмоактивных разломов или их узлов пересечений, а также сейсмические брешы в эпицентральной поле в сочетании с признаками возрастающей активности на их периферии в последнее десятилетие. В частности

отметим, что согласно полученным нами данным при проведении разработанного метода среднесрочного прогноза в БРЗ за период 2019–2022 гг. установлен следующий результат прогноза. Число попадания эпицентров произошедших землетрясений в места их ожидания, обозначенных в сводке о прогнозе, отправленной в 2019 г. в МЧС Иркутской области, составило 76 %. Авторами данного подхода предприняты усилия по дальнейшему улучшению подхода к совершенствованию среднесрочного прогноза в БРЗ с использованием двухстадийной модели подготовки землетрясений, о которой упоминалось выше. Таким путем есть возможность получения формализованных оценок двух других базовых параметров прогноза: E – энергия и T – время ожидания события (Ружич, Левина, 2020).

Согласно изложенным представлениям можно предположить, что последующая эволюция режима современной сейсмотектонической активизации в зоне межплитного Восточно-Анатолийского разлома будет связана с распространением сейсмической активизации на северо-восток в сторону Северо-Анатолийского разлома до места пересечения с его зоной. При этом вполне возможно увеличение вероятности подготовки очередных сильных землетрясений с магнитудами порядка $M=7.5 \pm 0.5$ в ближайшие десятки лет. Подобная ситуация требует концентрации усилий по организации инструментальных наблюдений в зоне Восточно-Анатолийского разлома. С применением методов среднесрочного прогноза в течение последующих 1–2 десятков лет следует ожидать своевременное получение необходимой важной информации о подготовке последующих опасных землетрясений.

В настоящее время в связи с учетом поступления новых более объемных и детальных сведений о подготовке очагов землетрясений в разломах заметно сузился диапазон поиска новых более эффективных средств прогноза землетрясений, особенно в области среднесрочного. Следовательно, улучшается возможность точнее оценивать и сейсмический риск для населенных пунктов и уязвимых промышленных центров. При налажен-

ном сотрудничестве ученых с представителями властных структур могут заметно возрасти возможности более приемлемого сотрудничества, способствующего принятию оптимальных решений для выбора превентивных мер, направленных на снижение сейсмической опасности и сейсмического риска. В ряде стран подобные подходы уже применяются (Davis et al., 2010; Фролова и др., 2022).

Уроки о несоблюдении норм сейсмостойкого строительства в городах Турции

О применяемых нормах сейсмостойкого строительства в Турции

Сейсмические катастрофы последних десятилетий принесли как огромный ущерб тем государствам, которые они затронули, так и ряд неожиданностей, которые наглядно продемонстрировали, что отдельные фундаментальные концепции, позиции инженеров и сейсмологов и некоторые положения норм сейсмостойкого строительства нуждаются в более тщательном обосновании и корректировке.

Землетрясения в Турции с $M \geq 7$ за период XX начало XXI века происходили довольно часто (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Землетрясения на территории Турции с $M \geq 7$ за период XX-XXI век

Дата	Место	Число погибших	Магнитуда
9.08. 1912	Мюрефт	216	7.3
18.11. 1919	Балыкесир	3 000	7.0
7.05. 1930	Хаккари	2 514	7.2–7.5
26.12. 1939	Эрзинджан	32 700	7.8
20.12. 1942	Эрбае	3 000	7.0
26.11. 1943	Ладик	2824–5000	7.5
1.02. 1944	Герееде	3 959	7.5
18.03. 1953	Ениче	265	7.2
25.04. 1957	Фетхие	67	7.1
26.05. 1957	Абант	52	7.1
6.10. 1964	Маньяс	23	7.0
22.07. 1967	Мудурну	89	7.2
28.03. 1970	Гедизе	1 086	7.2
24.11. 1976	Мурадие	4 000	7.5
17.08. 1999	Измит	17 127 –18 373	7.6
12.11. 1999	Дюздже	894	7.2
23.10. 2011	Ван	604	7.2
30.10. 2020	Эгейское море	117	7.0
6.02. 2023	Газиантеп	(50 096 в Турции; 8 500 в Сирии)	7.8
	Кахраманмараш		7.7

Первые правила, в области строительства в сейсмических районах Турции

появились в 1940 г. после землетрясения 1939 г. Затем нормы совершенствовались в

1942 г., 1975 г., 1997 г. Причем по нормам 1975 г. был возведен довольно значительный объем жилищного строительства в городах, хотя, как отмечают некоторые исследователи (Ицков, 2001), эти нормы в конструктивной части, в основном, отвечали мировому уровню того времени, а в части расчета зданий они были более «лояльными» по сравнению с нормами других стран.

С середины 90-х годов весь мир стал менять подходы к обеспечению сейсмической безопасности и требования к застройке в сейсмоопасных зонах. Нормы в Турции также были пересмотрены и после Измитского землетрясения 1999 г. были ужесточены (Afet..., 1998). С 2000 года стали действовать новые стандарты строительства с повышенными требованиями по сейсмостойкости зданий в различных зонах опасности, которые разработчики периодически дорабатывали и совершенствовали. В XXI веке, следуя мировым тенденциям, в Турции была принята Национальная стратегия с планом действий по смягчению последствий землетрясений на период 2012–2023 гг. (Кодекс..., 2020; Акбиев, Абаканов, 2023; Национальная стратегия..., 2023).

Ежегодно в Турции возводятся миллионы квадратных метров жилья (Опасность..., 2023), в том числе по социальной программе реновации зданий, действующей с 2012 года. С 2020 года действует программа по усилению многоквартирных жилых домов, согласно которой на 2023 год восстановлено 1.3 млн кв. м. жилья.

Однако на этом фоне всплывают и другие факты. Еще с конца 50-х годов XX века в Турции начался активный процесс так называемой «неконтролируемой урбанизации». В городах шел бурный рост этажности возводимых домов, плотность застройки стала максимальной. В 2015 году по жалобам покупателей недвижимости была создана рабочая группа, которую возглавил специалист из Турецкого института стандартов (TSE). Цель – определить новые стандарты качества жилья (Опасность..., 2023). К сожалению, под понятием «качество» подразумевалось четкое разделение жилья на классы А и В в зависимости от:

- использования отделочных материалов (например, качество выложенной плитки);
- стандарта определения площади квартиры (входят ли в эту площадь лестница, шахта лифта, парковка, сад и т. д.);
- есть ли в доме квартиры с запрещенной площадью менее 28.5 м²;
- есть ли квартиры с запрещенной планировкой: «студия» и т. д.

В 2018 году было реализовано Постановление о масштабном зонировании. Началась легализация недвижимого имущества, согласно которой можно было узаконить здания, построенные до конца 2017 года, заплатив за регистрацию определенную сумму в зависимости от вида и строительного объема постройки. «Зональная амнистия предполагала выдачу свидетельства о регистрации здания тем застройкам, которые не отвечали требованиям нормативной документации и нарушали законодательство» (Новости..., 2023). Авторы отмечают, что подобная амнистия зданиям, возведенным без разрешения или не соответствующим строительным нормам, в том числе и по сейсмостойкости, периодически объявлялась в стране, начиная с середины 1980-х годов. Строительный бум, который серьезно способствовал экономическому росту в стране, стал причиной «либерального» подхода к строительству, когда скорость возведения жилья стала приоритетом по сравнению с жесткими пунктами требований норм. По словам турецких экспертов (Проблемы..., 2023) «проблема в значительной степени игнорировалась, потому что ее решение было бы дорогостоящим, непопулярным и ограничивало бы ключевой двигатель экономического роста страны». Они отмечали, что «несмотря на то, что почти два десятилетия, как страна привела свои строительные нормы в соответствие с современными стандартами – много было старых слабых зданий, а дома, построенные в последнее время, были неустойчивыми, в них применялись некачественные материалы и методы, часто не соответствующие государственным стандартам» (Проблемы..., 2023).

В 2021 году Палата инженеров-геологов Турции обнародовала ряд отчетов,

которые вызвали тревогу в отношении уже построенных зданий, а также нового строительства, которое ведется в районах, ранее разрушенных землетрясениями. Эксперты заявили, что почти 50 % обследованных зданий характеризуются высоким риском обрушения, даже без дополнительного сейсмического воздействия. Большое беспокойство вызывают также бесчисленно самовольно построенные жилые массивы, возведенные предельно быстро и без разрешения. Такие постройки в переводе с турецкого именуют «построенные за ночь». Палата призвала проводить постоянное обследование зданий на соответствие действующим нормам и предупредила, что «безразличие к безопасности от стихийных бедствий приведет к большому количеству человеческих жертв» (Проблемы..., 2023).

Строительство в Турции

Турция – туристическая страна. Понятно желание застройщиков устраивать в нижних этажах зданий просторные магазины, кафе, культурно-развлекательные учреждения. Конечно, для этого необходимо иметь более свободную планировку помещений, освободить площади от «лишних» стен (рис. 3а). Поэтому большинство многоэтажных зданий имели в качестве конструктивной схемы монолитный железобетонный

каркас с заполнением стен кирпичной кладкой из многопустотного керамического кирпича или пеноблоков, а заполнение наружных стен нижних этажей часто заменялось сплошным остеклением. При этом высота нижних этажей достигала 4-5 м, что существенно больше высоты остальных типовых жилых этажей. Отсюда, жесткость нижних, так называемых «гибких» этажей становилась значительно меньше жесткости верхних типовых этажей (Ицков, 2001).

Фундаменты, в зависимости от характеристик грунта, устраивались свайными, но, чаще всего, выполнялись в виде монолитных лент, на площадках со слабыми грунтами и высоким уровнем подземных вод – в виде сплошной железобетонной плиты. К сожалению, обследование последствий землетрясений показало, что заглубление фундаментов не всегда было достаточным.

Особое внимание хочется уделить междуэтажным перекрытиям, при строительстве которых используется пенопласт (Строительство..., 2023). Причем турецкие строители уверяют, что пенопласт в междуэтажных перекрытиях «ни в коей мере не снижает несущей способности и прочности конструкций, а лишь облегчает ее и улучшает тепло- и звукоизоляционные свойства» (рис. 3б).



Рис. 3. Строительство многоэтажного здания по турецкой технологии. а – возведение монолитного каркасного здания с двумя нижними «гибкими» этажами (Акбиев, Абаканов, 2023); б – междуэтажное перекрытие с применением пенопласта (Строительство..., 2023).

Fig. 3. Construction of a multi-storey building using Turkish technology. а – erection of a monolithic frame building with two lower "flexible" floors (Akbiev, Abakanov, 2023); б – interfloor overlap with the use of foam (Construction ..., 2023).

Для решения жилищного вопроса горожан, не имеющих возможности приобрести его по рыночной цене, при строительстве типовых зданий часто использовалась система монолитного бетонирования «Туннельная опалубка», позволяющая быстро возводить здания (Строительство..., 2023). Застройщики используют эту систему для возведения стандартных жилищных зданий по специальной государственной программе.

Инженерный анализ последствий землетрясений

Выводы государственной комиссии Турции о причинах массового обрушения зданий еще не представлены широкой общественности. Поэтому стоит обратиться к выводам экспертной комиссии, которые были сделаны после Измитского землетрясения 17.08.1999 г., часть из которых была опубликована в работе (Айзенберг, 1999). Как показали последствия землетрясений 2023 г. эти выводы остаются актуальными и сейчас:

1. Применение неудачной конструктивной системы для массового строительства жилых домов в зонах с высокой сейсмической опасностью – несущий каркас без диафрагм жесткости, особенно в нижних «гибких» этажах.
2. Наличие прямоугольных колонн с предельно минимальным размером одной стороны колонны.
3. Расчетные сейсмические нагрузки существенно ниже, по сравнению с нормами других стран.
4. Множественные отступления от проекта при строительстве, применение некачественных строительных материалов, некачественное бетонирование конструкций.

Хотя нормы сейсмостойкого строительства для зданий в разных странах имеют свои особенности, комплекс основных правил и требований при строительстве, позволяющих существенно смягчить последствия землетрясений, отработан в мировой практике достаточно полно. Турецкие трагические события в связи с произошедшими землетрясениями показывает, что только строгое соблюдение этих правил способствует существенному уменьшению масштабов

разрушений и сохранению многих тысяч человеческих жизней.

Заключение

По мнению авторов, в настоящее время с учетом поступления новых сведений, свидетельствующих о подготовке очередных землетрясений, разработки в области среднесрочного прогноза помогают приблизиться к получению значимых результатов, позволяющих с удовлетворительной точностью выявлять районы подготовки очагов землетрясений в сегментах запертых разломов, оценивать их энергию и примерное время (Ружич, Левина, 2020). В таком случае появляется возможность более успешно оценивать и сейсмический риск для населенных пунктов и уязвимых промышленных центров. При налаженном сотрудничестве ученых с представителями властных структур возможно достижение приемлемого компромисса для принятия решений, касающихся выбора превентивных мероприятий, направленных на снижение сейсмической опасности и сейсмического риска от ожидаемых землетрясений. В ряде стран подобные подходы уже рассматриваются, например, в работах (Davis et al., 2010; Фролова и др., 2022).

Несмотря на то, что нормы сейсмостойкого строительства жилых и промышленных объектов в разных странах имеют свои особенности, следует всегда и неуклонно применять имеющийся комплекс основных правил и требований при строительстве. Это позволит успешнее смягчать разрушительные последствия сильных землетрясений, в мировой практике он «отработан» достаточно полно.

Произошедшие трагические события в Турции показали, что только неукоснительное соблюдение норм требований градостроительства в городах, расположенных на разломах или вблизи их, будет способствовать эффективному снижению уязвимости объектов инфраструктуры и сокращению числа погибших и пострадавших среди населения.

Благодарности

Работа подготовлена в рамках выполнения государственного задания Института земной коры РАН по теме НИР «Современная геодинамика, механизмы деструкции литосферы и опасные геологические процессы в Центральной Азии», № FWEF-2021-0009. Исследования проводились с использованием оборудования и инфраструктуры Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН (грант № 075-15-2021-682).

Литература

Айзенберг Я.М. Землетрясение в Турции 17 августа 1999 г. Основные факты и предварительный анализ // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. № 6. С. 32–33.

Акбиев Р.Т., Абаканов М.С. Оперативная оценка последствий разрушительного землетрясения в Турции. Режим доступа: <http://akbiev.ru/wp-content/uploads/2023/03/> (дата обращения: 30.03.2023) (на русском языке).

Ицков И.Е. Последствия разрушительного землетрясения в Турции 17 августа 1999 г. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2001. № 1. С. 49–53.

Кодекс Турции (Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında esaslar), 2020.

Кочарян Г.Г. Геомеханика разломов. М.: ГЕОС. 2016. 424 с.

Кочарян Г.Г. Возникновение и развитие процессов скольжения в зонах континентальных разломов под действием природных и техногенных факторов. Обзор современного состояния вопроса // Физика Земли. 2021. № 4. С. 3–41.

Левина Е.А. Геоинформационная система для прогноза землетрясений и горных ударов: разработка и примеры применения в Байкальской рифтовой зоне и Норильском месторождении: Дис. канд. геол.-минерал. наук. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2011. 114 с.

Национальная стратегия Турции по землетрясениям (National earthquake strategy and action plan 2012-2023, Ankara-Türkiye). Режим доступа: <https://sputnik-ossetia.ru/20230215/21515231.html#> (дата обращения: 12.03.2023) (на русском языке).

Новости и публикации по землетрясению в Турции. Режим доступа:

<https://mskl.ru/text/world/2023/03/05/72054560/> (дата обращения: 12.03.2023) (на русском языке).

Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. М.: Наука, 1977. 506 с.

Опасность землетрясений. Стандарты качества в Турции. Режим доступа: <https://turk.estate/en/question-answer/new-housing-standards-in-turkey-in-2020/> (дата обращения: 12.03.2023) (на русском языке).

Проблемы соблюдения строительных норм в Турции до землетрясения. Режим доступа: <https://www.turan.az/ext/news/2023/2/free/Worldwide/ru/1449.htm> (дата обращения: 12.03.2023) (на русском языке).

Ружич В.В. Сейсмоструктурная деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск. Изд-во СО РАН. 1997. 144 с.

Ружич В.В., Кочарян Г.Г. О строении и формировании очагов землетрясений в разломах на приповерхностном и глубинном уровне земной коры. Статья I. Приповерхностный уровень // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 4. С. 1021–1034. DOI:10.5800/GT-2017-8-4-0330.

Ружич В.В., Левина Е.А. Особенности распределения сейсмической активности в разных регионах Земли по фазам 11-летнего солнечного цикла // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6, № 1. С. 30–35. DOI: 10.12737/szf-54201901.

Ружич В.В., Псахье С.Г., Черных Е.Н., Шилько Е.В., Левина Е.А., Пономарева Е.И. Физическое моделирование условий возникновения источников сейсмических колебаний при разрушении неровностей в зонах разломов // Физическая мезомеханика. 2014. Т. 17. № 3. С. 43–52.

Солоненко В.П. Гоби-Алтайское землетрясение // Геология и геофизика. 1960. № 2. С. 3–27.

Строительство в Турции. Этапы, технология, нормы и контроль качества. Режим доступа: <https://www.ataberkestate.com/articles/kak-stroyatv-turcii-etapy-tehnologiya-normy-i-kontrolstroitelstva> (дата обращения: 12.03.2023) (на русском языке).

Фролова Н.И., Малаева Н.С., Ружич В.В., Бержинская Л.П., Левина Е.А., Суцев С.П., Ларионов В.И., Угаров А.Н. Оценка социальных и экономических показателей сейсмического риска на примере г. Ангарск // Геофизические про-

цессы и биосфера. 2022. Т. 21, № 2. С. 86–113. <https://doi.org/10.21455/GPB2022.2-58>.

Afet bölgelerinde yapılacak yapılar ıkkında yönetmelik/ 2 Temmuz 1998 tarih, 23.390 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan değişiklikler işlenmiştir/ İnşaat Mühendisleri Odası izmir Şubesi Yayın No 25. 1998. 92 s.

Davis C., P.E.; Keilis-Borok V.; Molchan G.; Shebalin P.; Lahr P., P.E., M. ASCE; and Plumb C. Earthquake Prediction and Disaster Preparedness Interactive Analysis: in Natural Hazards Review. November 2010. P. 173–183. DOI: 10.1061/_ASCE_NH.1527-6996.0000020.

Kaftan V., Melnikov A.: Revealing the deformation anomalies based on GNSS data in relation to the preparation and stress release of large earthquakes. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 54(1), 22–32 (2018). DOI: 10.1134/S1069351318010093

Ostapchuk A.A., Pavlov D.V., Ruzhich V.V. et al., (2019). Seismic-acoustics of a block sliding along a fault // *Pure and Applied Geophysics*. P. 163–168. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02375-1>.

References

Aizenberg Ya.M. Earthquake in Turkey on August 17, 1999 Key facts and preliminary analysis // *Earthquake construction. Building safety*. 1999. No. 6. pp. 32–33. (in Russian)

Akbiev R.T., Abakanov M.S. Operational assessment of the consequences of the devastating earthquake in Turkey. Access mode: <http://akbiev.ru/wp-content/uploads/2023/03/> (date of access: 03/30/2023) (in Russian)

Itskov I.E. Consequences of the devastating earthquake in Turkey on August 17, 1999 // *Earthquake-resistant construction. Building safety*. 2001. No. 1. pp. 49–53. (in Russian)

Turkish Code (Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında esaslar), 2020. (in Russian)

Kocharyan G.G. Geomechanics of faults. M.: GEOS. 2016. 424 p. (in Russian)

Kocharyan G.G. The emergence and development of sliding processes in the zones of continental faults under the influence of natural and technogenic factors. Review of the current state of the issue // *Physics of the Earth*. 2021. No. 4. P. 3–41. (in Russian)

Levina E.A. Geoinformation system for forecasting earthquakes and rock bursts: development and examples of application in the Baikal rift zone and the Norilsk field: Dis. cand. geol.-mineral. Sciences.

Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS. 2011. 114 p. (in Russian)

National Earthquake Strategy of Turkey (National earthquake strategy and action plan 2012–2023, Ankara-Türkiye). Access mode: <https://sputnik-ossetia.ru/20230215/21515231.html#> (date of access: 03.12.2023) (in Russian)

News and publications on the earthquake in Turkey. Access mode: <https://mskl.ru/text/world/2023/03/05/72054560/> (date of access: 03.12.2023) (in Russian)

New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975 / Ed. N.V. Kondorskaya, N.V. Shebalin. M. : Nauka, 1977. 506 p. (in Russian)

Danger of earthquakes. quality standards in Turkey. Access mode: <https://turk.estate/en/question-answer/new-housing-standards-in-turkey-in-2020/> (accessed 12.03.2023) (in Russian)

Problems of compliance with building codes in Turkey before the earthquake. Access mode: <https://www.turan.az/ext/news/2023/2/free/Worldwide/ru/1449.htm> (date of access: 03.12.2023) (in Russian)

Ruzhich V.V. Seismotectonic destruction in the earth's crust of the Baikal rift zone. Novosibirsk. Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 1997. 144 p. (in Russian)

Ruzhich V.V., Kocharyan G.G. On the structure and formation of earthquake sources in faults at the near-surface and deep levels of the earth's crust. Article I. Surface level // *Geodynamics and tectonophysics*. 2017. V. 8. No. 4. P. 1021–1034. DOI:10.5800/GT-2017-8-4-0330. (in Russian)

Ruzhich V.V., Levina E.A. Features of the distribution of seismic activity in different regions of the Earth by phases of the 11-year solar cycle // *Solnechno-zemnaya physics*. 2020. V. 6, No. 1. P. 30–35. DOI: 10.12737/szf-54201901. (in Russian)

Ruzhich V.V., Psakhie S.G., Chernykh E.N., Shilko E.V., Levina E.A., Ponomareva E.I. Physical modeling of the conditions for the occurrence of sources of seismic vibrations during the destruction of irregularities in fault zones // *Physical mesomechanics*. 2014. V. 17. No. 3. P. 43–52. (in Russian)

Solonenko V.P. Gobi-Altai earthquake // *Geology and geophysics*. 1960. No. 2. P. 3–27. (in Russian)

Construction in Turkey. Stages, technology, norms and quality control. Access mode:

<https://www.ataberkestate.com/articles/kak-stroyat-v-turcii-etapy-tehnologiya-normy-i-kontrol-stroitelstva> (date of access: 03.12.2023) (in Russian)

Frolova N.I., Malaeva N.S., Ruzhich V.V., Berzhinskaya L.P., Levina E.A., Sushchev S.P., Larionov V.I., Ugarov A.N. Assessment of social and economic indicators of seismic risk on the example of the city of Angarsk // Geophysical processes and biosphere. 2022. V. 21, No. 2. P. 86–113. <https://doi.org/10.21455/GPB2022.2-58>. (in Russian)

Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik/ 2 Temmuz 1998 tarih, 23.390 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan değişiklikler işlenmiştir/ İnşaat Mühendisleri Odası izmir Şubesi Yayın No. 25. 1998. 92 p.

Ружич Валерий Васильевич,
доктор геолого-минералогических наук,
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,
Институт земной коры СО РАН,
главный научный сотрудник,
email: ruzhich@crust.irk.ru.

Ruzhich Valariy Vasilievich,
doctor of geological and mineralogical sciences,
664033 Irkutsk, Lermontov str., 128,
Institute of the Earth's Crust SB RAS,
Major Researcher,
email: ruzhich@crust.irk.ru.

Бержинская Лидия Петровна,
кандидат технических наук,
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,
Институт земной коры СО РАН,
ведущий инженер Отдела сейсмостойкого
строительства,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Иркутский научно-исследовательский техниче-
ский университет,
доцент кафедры Архитектуры и градострои-
тельства,
email: berj.lp@yandex.ru.

Berzhinskaia Lidiya Petrovna,
PhD in techniques, Leading,
664033 Irkutsk, Lermontov str., 128,
Institute of the Earth's Crust SB RAS,
Engineer of department earthquake engineering,

Davis C., P.E.; Keilis-Borok V.; Molchan G.; Shebalin P.; Lahr P., P.E., M.ASCE; and Plumb C. Earthquake Prediction and Disaster Preparedness Interactive Analysis: in Natural Hazards Review. November 2010. P. 173-183. DOI: 10.1061/_ASCE_NH.1527-6996.0000020.

Kaftan, V., Melnikov, A.: Revealing the deformation anomalies based on GNSS data in relation to the preparation and stress release of large earthquakes. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 54(1), 22–32 (2018). DOI: 10.1134/S1069351318010093

Ostapchuk A.A., Pavlov D.V., Ruzhich V.V., et al., (2019). Seismic-acoustics of a block sliding along a fault// *Pure and Applied Geophysics*. P. 163–168. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02375-1>.

664074 Irkutsk Lermontov street, 83,
Irkutsk National Research Technical University,
Assistant Professor of the Department of Architec-
ture and Urban Planning,
email: berj.lp@yandex.ru.

Левина Елена Алексеевна,
кандидат геолого-минералогических наук,
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,
Институт земной коры СО РАН,
научный сотрудник,
email: levina@crust.irk.ru.

Levina Elena Alekseevna,
Candidate of geological and mineralogical sciences,
664033 Irkutsk, Lermontov str., 128,
Institute of the Earth's Crust SB RAS,
Researcher,
email: levina@crust.irk.ru.

Пономарева Елена Иннокентьевна,
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,
Институт земной коры СО РАН,
ведущий инженер,
email: squirrel@crust.irk.ru.

Ponomareva Elena Innokentevna,
664033 Irkutsk, Lermontov str., 128,
Institute of the Earth's Crust SB RAS,
Lead Engineer,
email: squirrel@crust.irk.ru.