

Уроки катастрофического землетрясения в Турции и Сирии

Вебинар для градостроителей, изыскателей проектировщиков, строителей, экспертов



Акбиев Рустам Тоганович, к.т.н., руководитель
Департамента комплексной градостроительной безопасности
ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», председатель совета
Eurasian SEISMO Association

06.04.2023

Причины и последствия катастрофических землетрясений в Турции и Сирии

Акбиев Рустам Тоганович, к.т.н.
руководитель Департамента комплексной
градостроительной безопасности
ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»,
председатель совета Eurasian SEISMO
Association



INTERCONSTROY

International Forum of designers, builders and engineers-designers
Международный Форум конструкторов-строителей и инженеров расчётчиков

100+ TECHNO
BUILD

Оперативная оценка последствий разрушительного землетрясения в Турции

по данным СМИ и публикациям в глобальной сети



Письмо ЕАСА в Минстрой России №24/23 от 17.02.2023 г.



Акбиев Р.Т., к.т.н., эксперт; ЦНИИП Минстроя России; автор методики по выявлению и оценке зон повышенного риска урбанизированных территорий; в составе выездной группы участвовал в обследовании и работах по анализу последствий Кайракумского землетрясения (1985), исследований по результатам Рачинского землетрясения (1991); по поручению руководства ЦНИИСК Госстроя России и Российской СЕЙСМО Ассоциации обеспечивал научную координацию восстановительных работ после Чуйского землетрясения (2003), руководил проектами по реконструкции и усилению зданий, повреждённых в результате военных действий в Чеченской Республике (2008 – 2010)



Абаканов М.С., д.т.н., профессор; Евразийская СЕЙСМО Ассоциация; автор нормативных и методических документов Республики Казахстан; в составе выездной группы участвовал в работах по обследованию и анализу последствий Карпатского землетрясения (1986), в составе группы экспертов из Казахстана участвовал в оперативном обследовании разрушенных объектов в г. Ленинакане после Спитакского землетрясения (1988), Зайсанского землетрясения (1990), других сейсмических событий в Среднеазиатском регионе



Бержинская Лидия Петровна, к.т.н., эксперт; ИЗК РАН; автор методик по паспортизации и оценке сейсмического риска; по роду научной и профессиональной деятельности на постоянной основе участвовала в обследовании последствий землетрясений в Восточной Сибири



Связаться с нами

О Системе ▾

Новости

Мероприятия

Имена

Партнёры

Проекты

Фотогалерея

Вопрос-Ответ

SEISMO | НОВОСТИ



АССОЦИАЦИИ



БИБЛИОТЕКА



ГРАД-ИНФО



ГРАДОРЕСУРС



НИЗКС



ЭНЦИКЛОПЕДИЯ



ОБСУЖДЕНИЕ

ВСЕ

АНОНС

БЕЗОПАСНОСТЬ

КРТ

МОНИТОРИНГ

НОВАЦИИ

ОБРАЗОВАНИЕ

СЕЙСМО

СТАНДАРТ

СТРОЙКА

ЦИФРА

ЭКСПЕРТИЗА



03.04.2023

Сильное землетрясение на
восточном побережье
Камчатки



02.04.2023

День геолога
Россия, г. Москва



01.04.2023

Испытания для определения
частоты колебаний
многоэтажных зданий путем
сброса нагрузки



01.04.2023

О единой цифровой платформе
Российской Федерации
«ГосТех»



31.03.2023

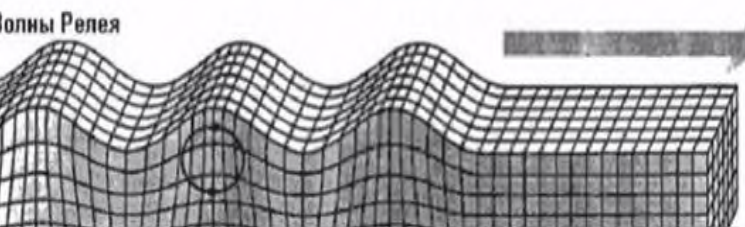
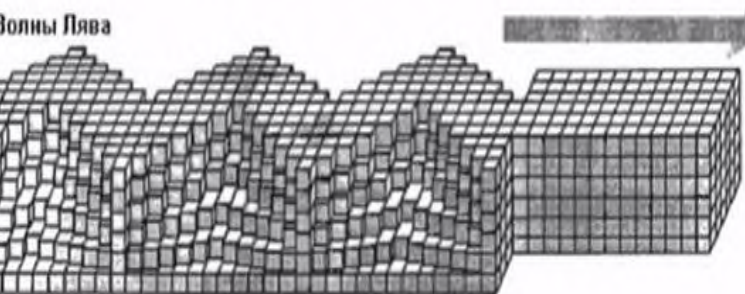
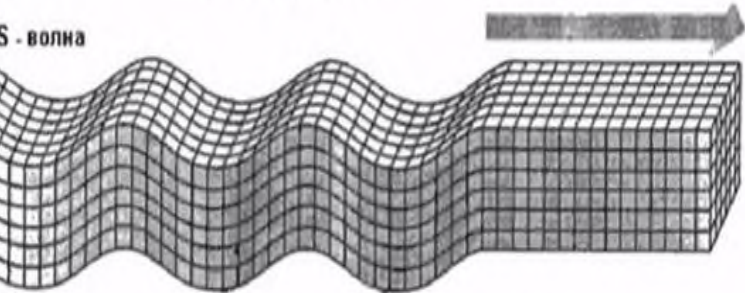
В России создали новую
систему прогнозирования
землетрясений



31.03.2023

Утверждены новые
национальные стандарты для
специалистов в области
строительства

Механизм возникновения и модели землетрясений



Почему случаются землетрясения

Землетрясение
подземные удары и колебания поверхности Земли, вызванные естественными причинами или искусственными процессами. Небольшие толчки могут вызывать также подъем лавы при вулканических извержениях

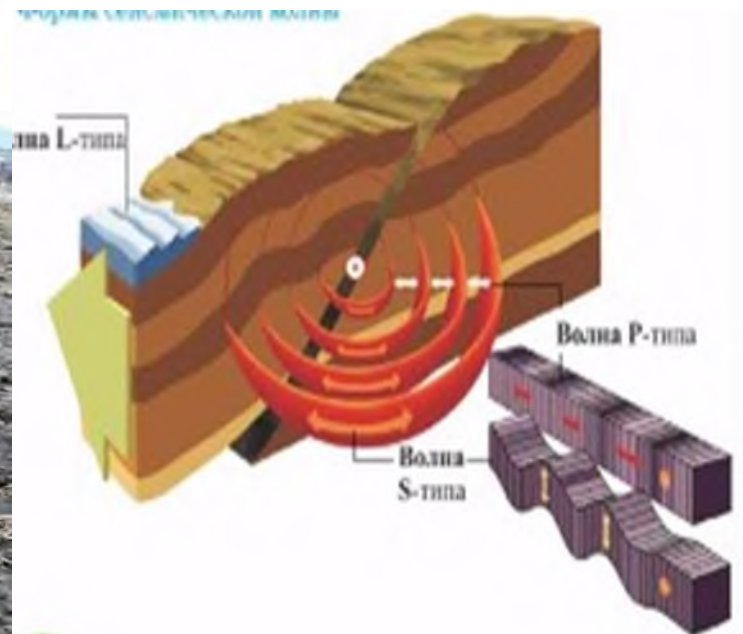
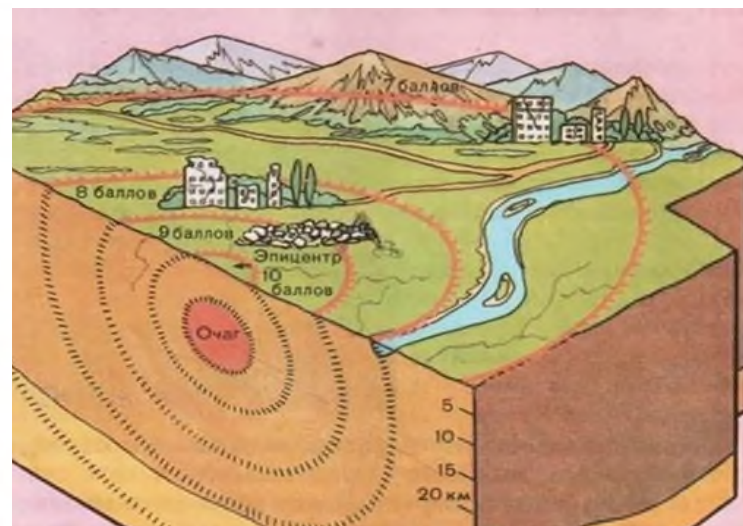
Другие виды землетрясений

- техногенные
- вулканические
- обвалы
- землетрясения искусственного характера (вызваны ядерными взрывами)

Прогнозирование землетрясений

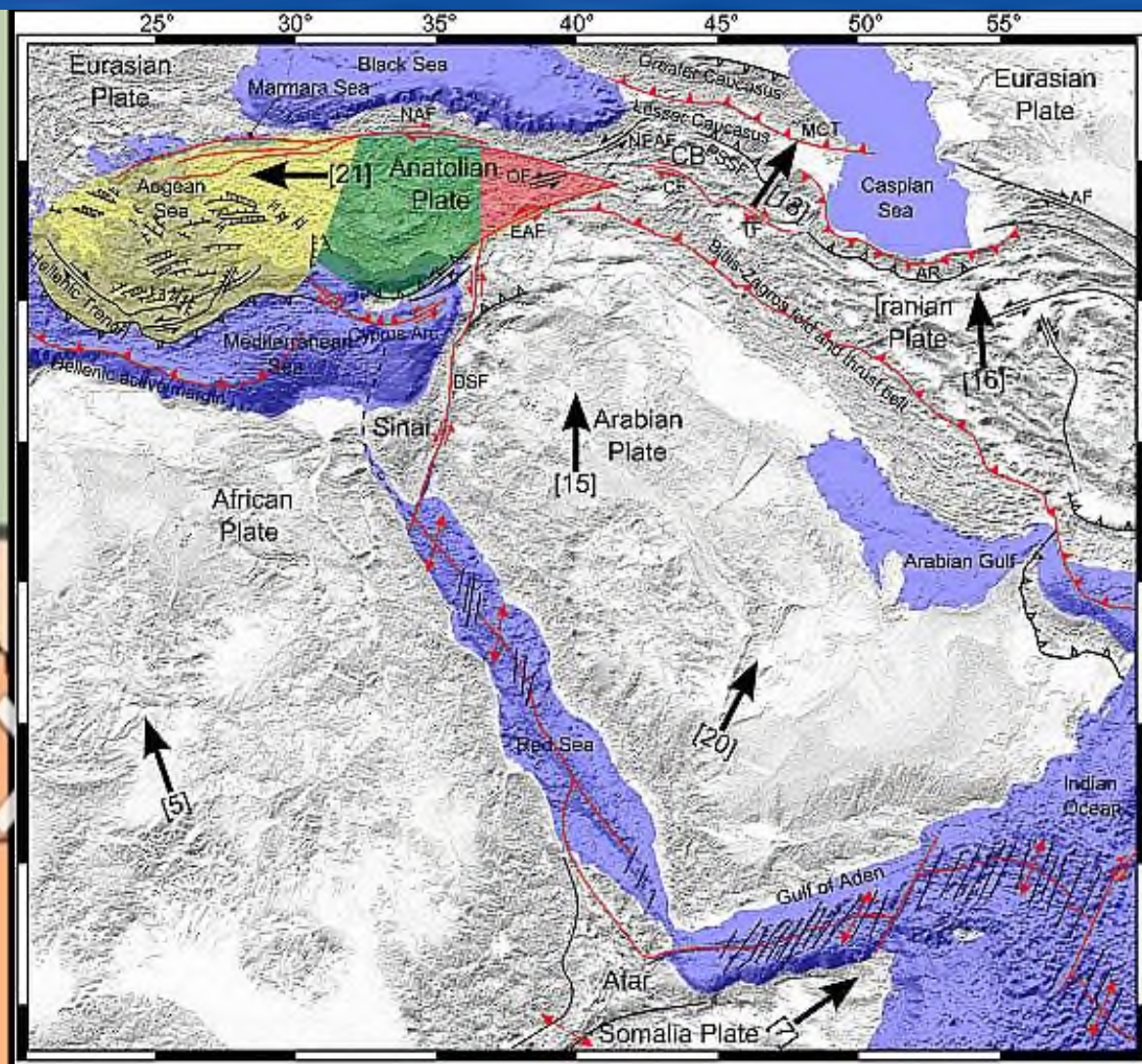
- измерение упругой деформации поверхности Земли с помощью теодолита или лазерного луча
 - исследование искривления поверхности земли наклономерами
 - постоянный мониторинг сейсмоопасных зон
 - исследование уровня воды в грунте
- Магнитуду землетрясения измеряют по шкале Рихтера: возрастанию магнитуды на единицу соответствует **30-кратное** увеличение освобожденной сейсмической энергии

Механизм образования землетрясений



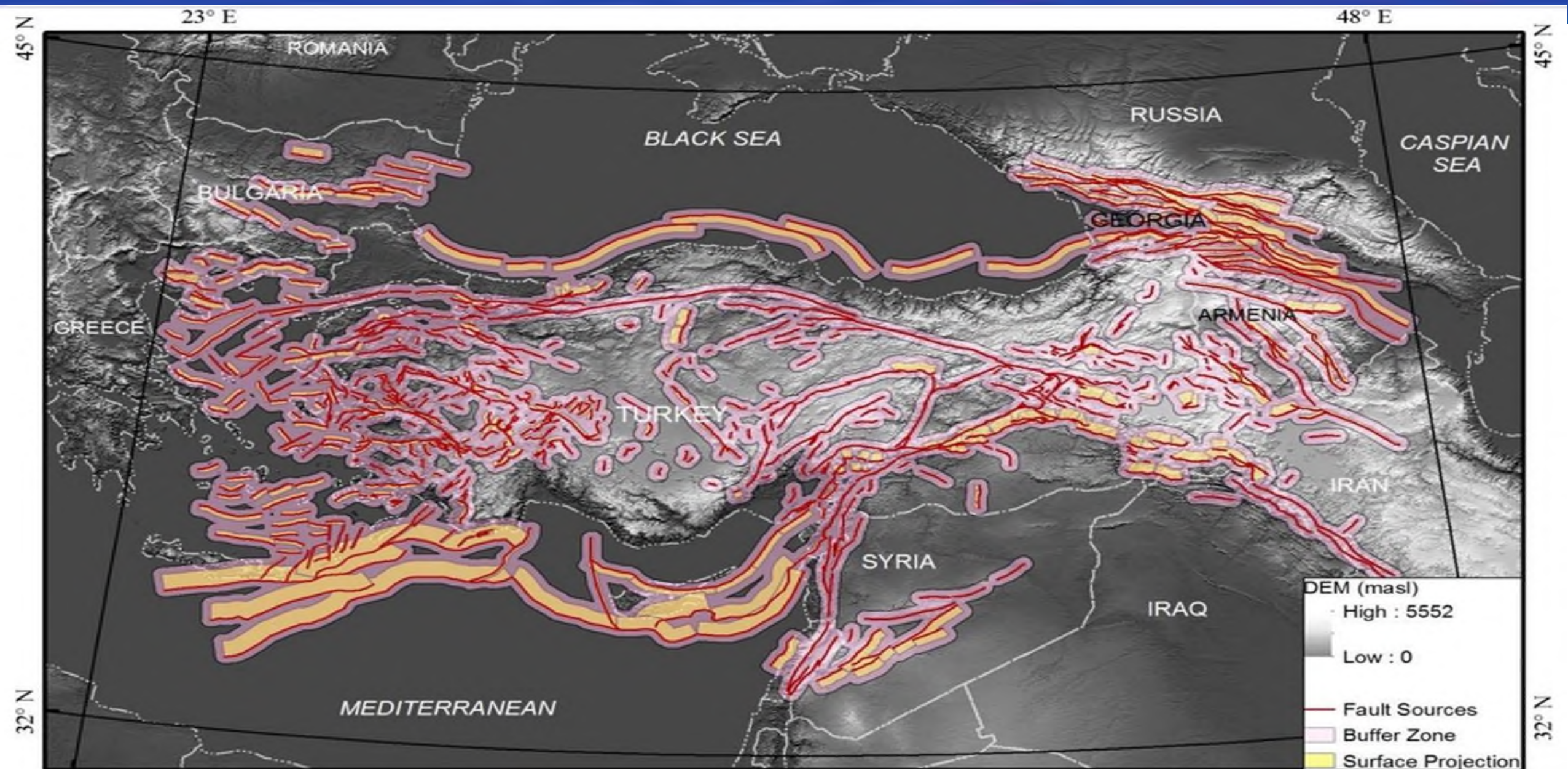
Сеймотектоническая обстановка в регионе

[Fraser, Vanneste, Hubert-Ferrari. 2010]



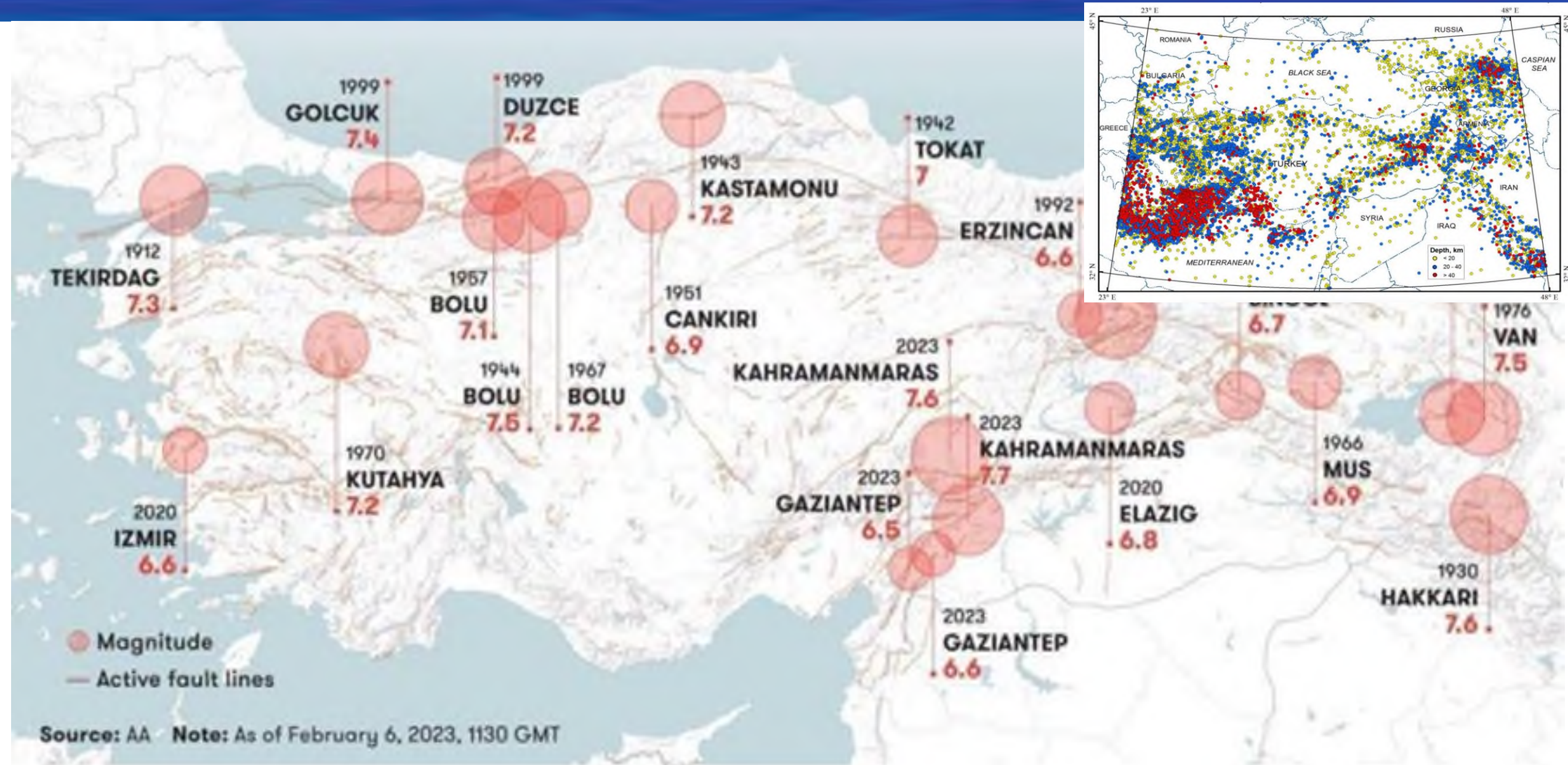
Зоны ВОЗ Турции и Сирии

[Demircioğlu et al., 2017]



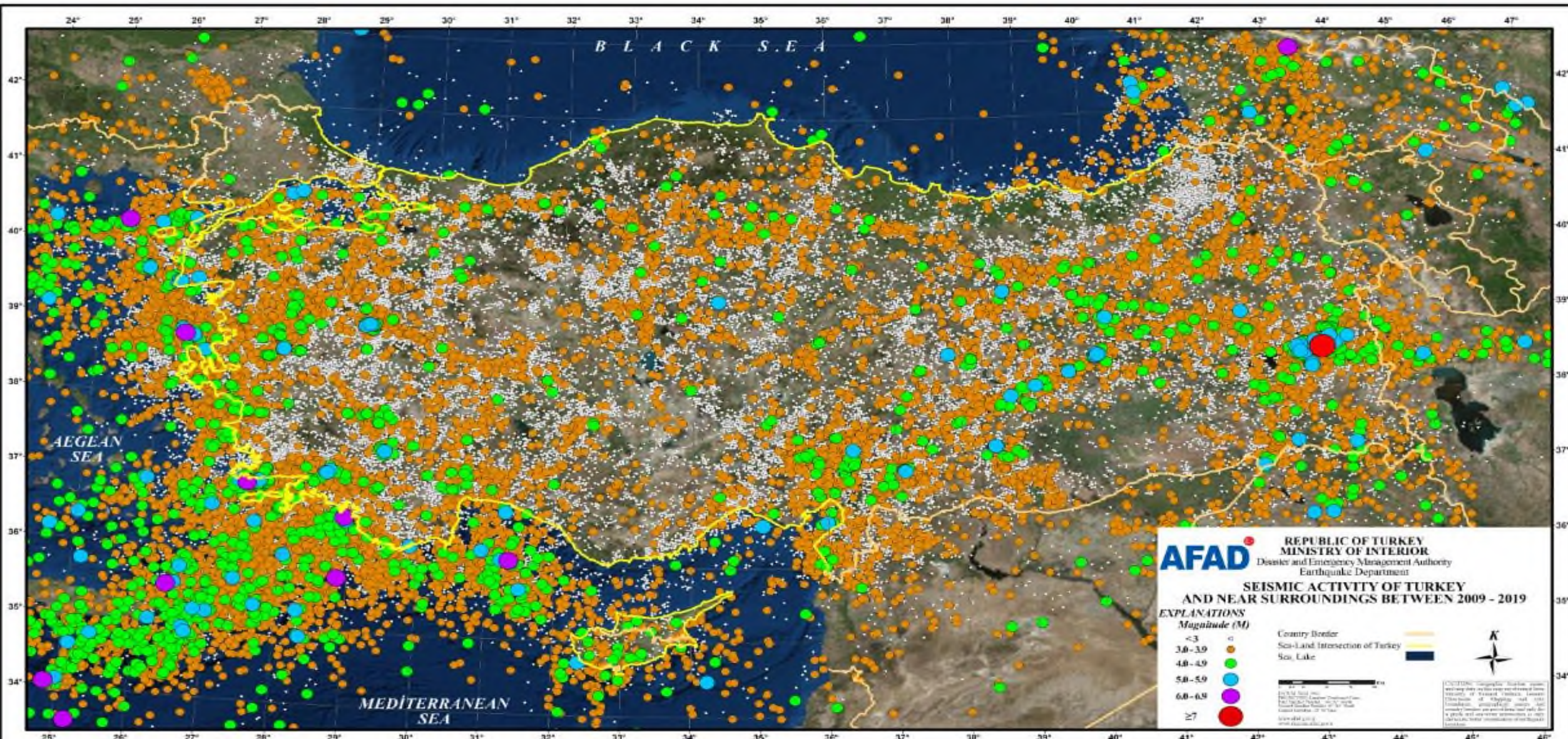
Крупнейшие землетрясения в новейшей истории региона

[Kadiroğlu et al., 2016]

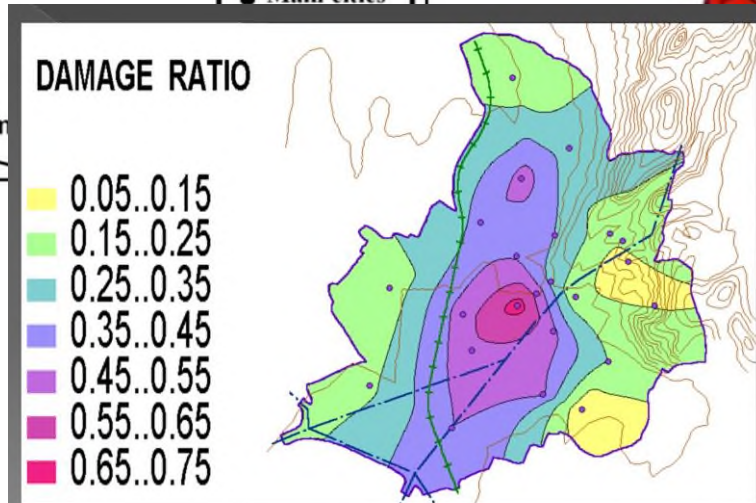
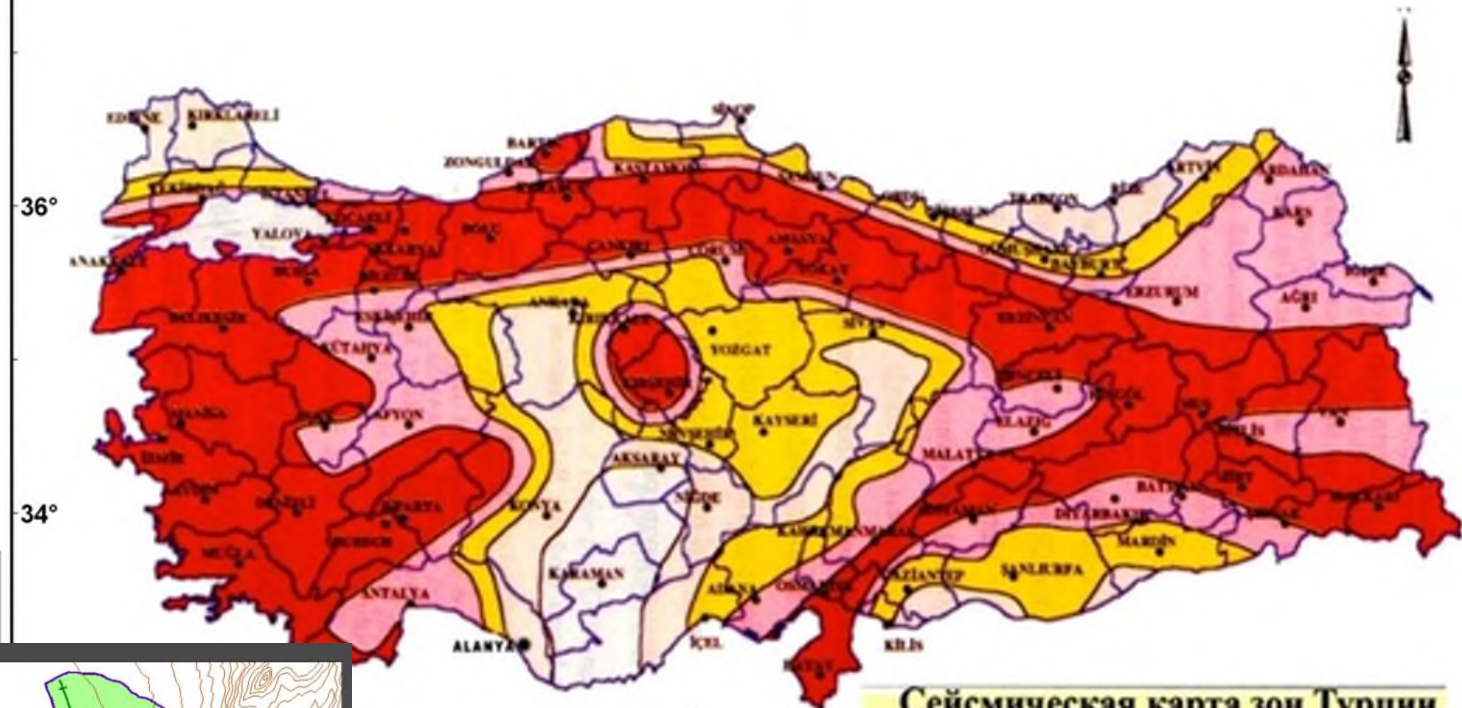
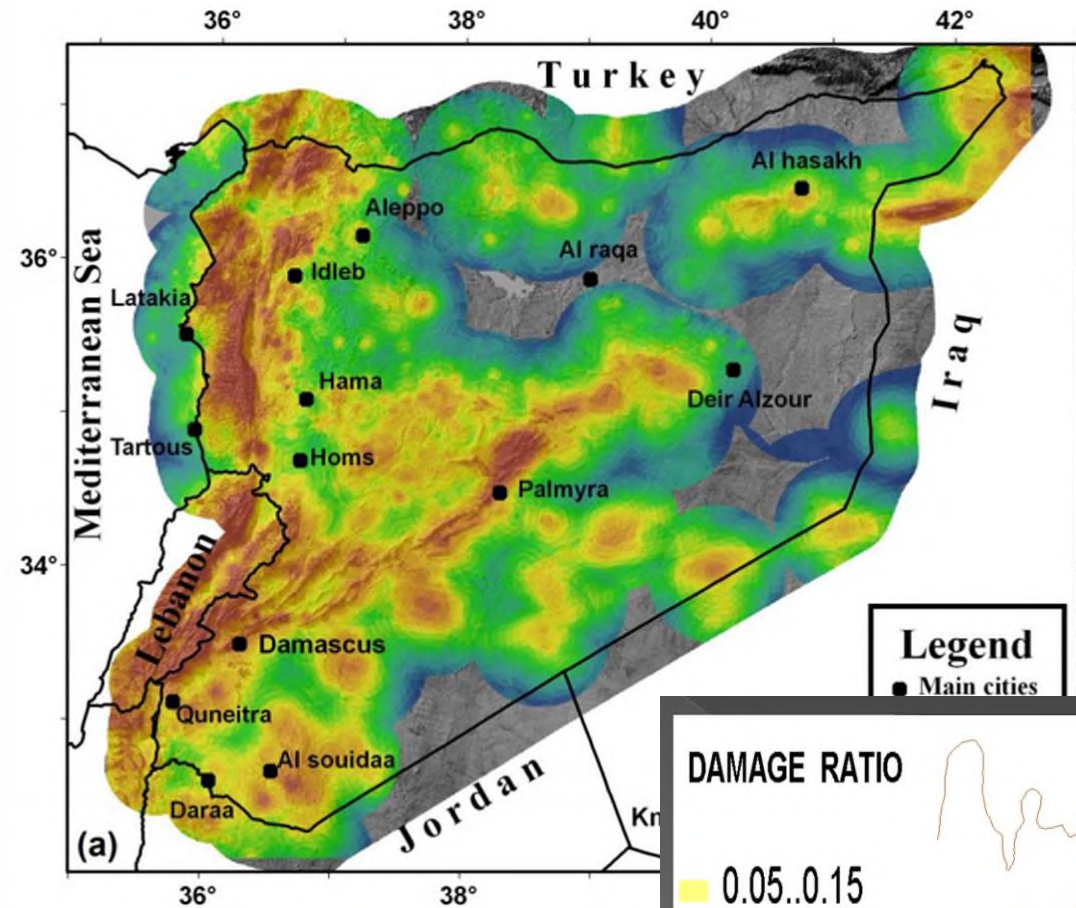


Сейсмичность территории Турции 2009 - 2019

[Alver et al., 2019]



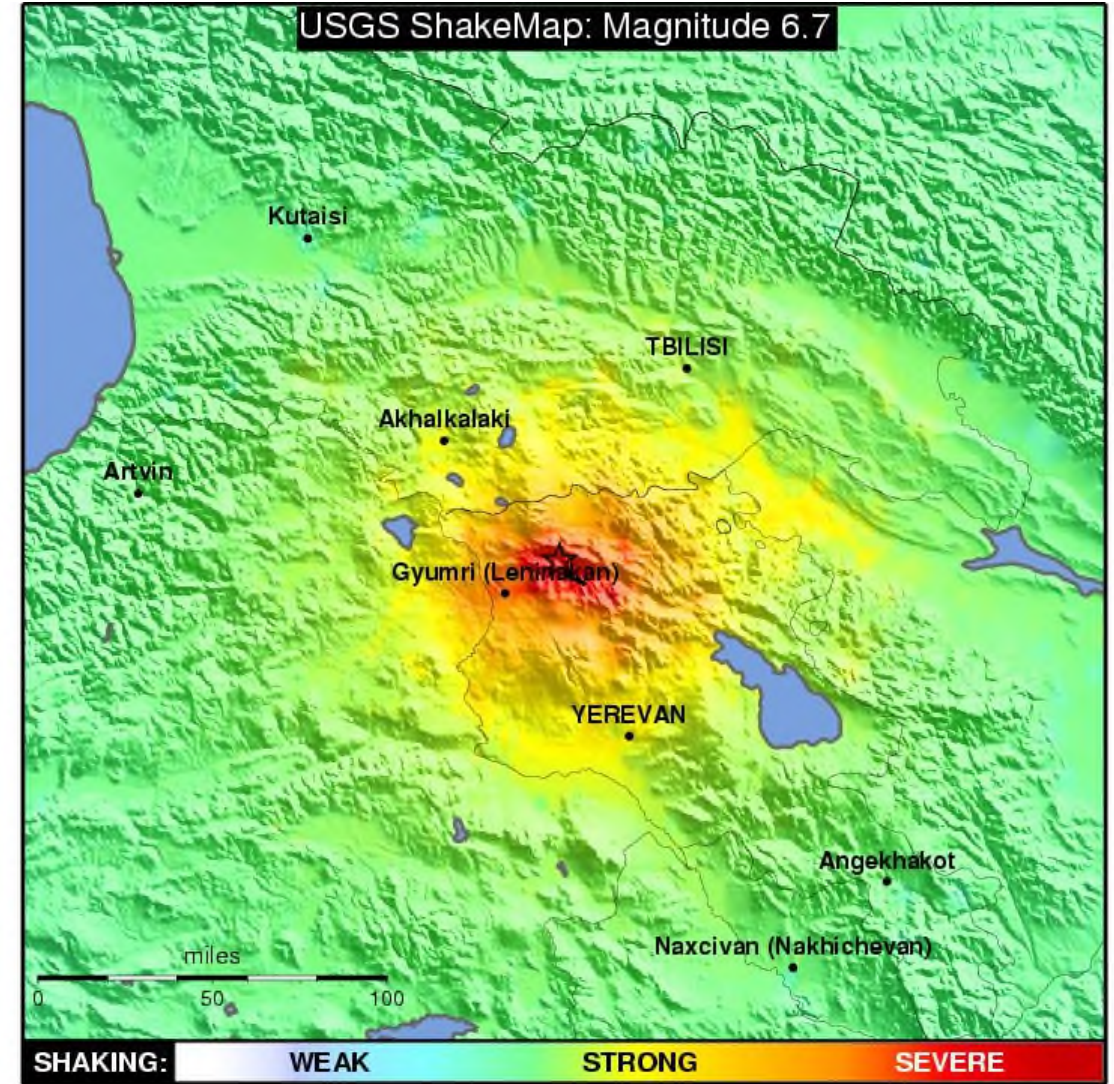
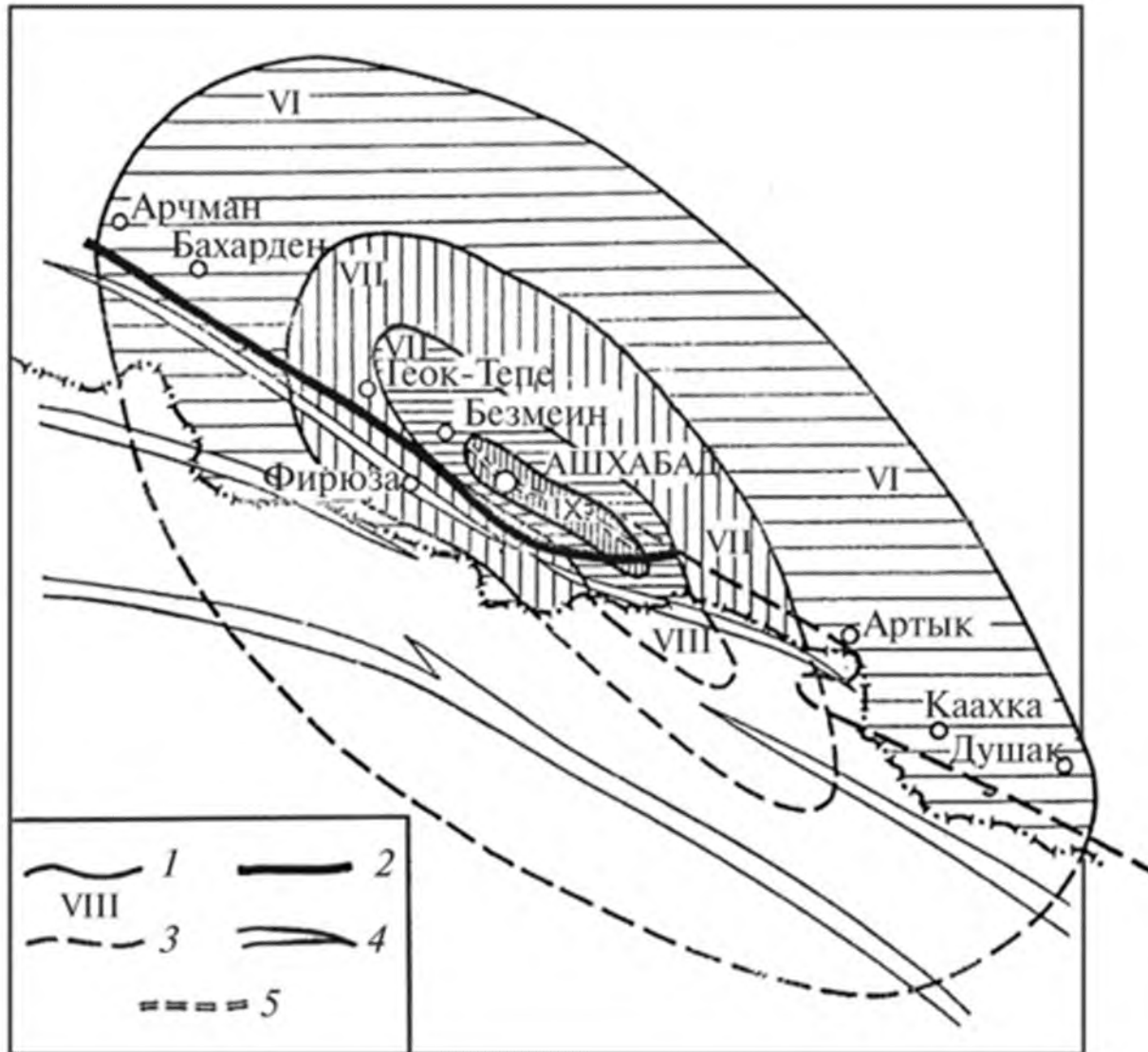
Нормативные карты сейсмической опасности



Анализ причин катастрофы в Турции и Сирии



Уроки Ашхабадского (10.05.1948) и Спитакского землетрясения (07.12.1988)



Уроки Ашхабадского землетрясения (10.05.1948)



Уроки Спитакского землетрясения (07.12.1988)



Уроки Измитского землетрясения (17.08.1999)

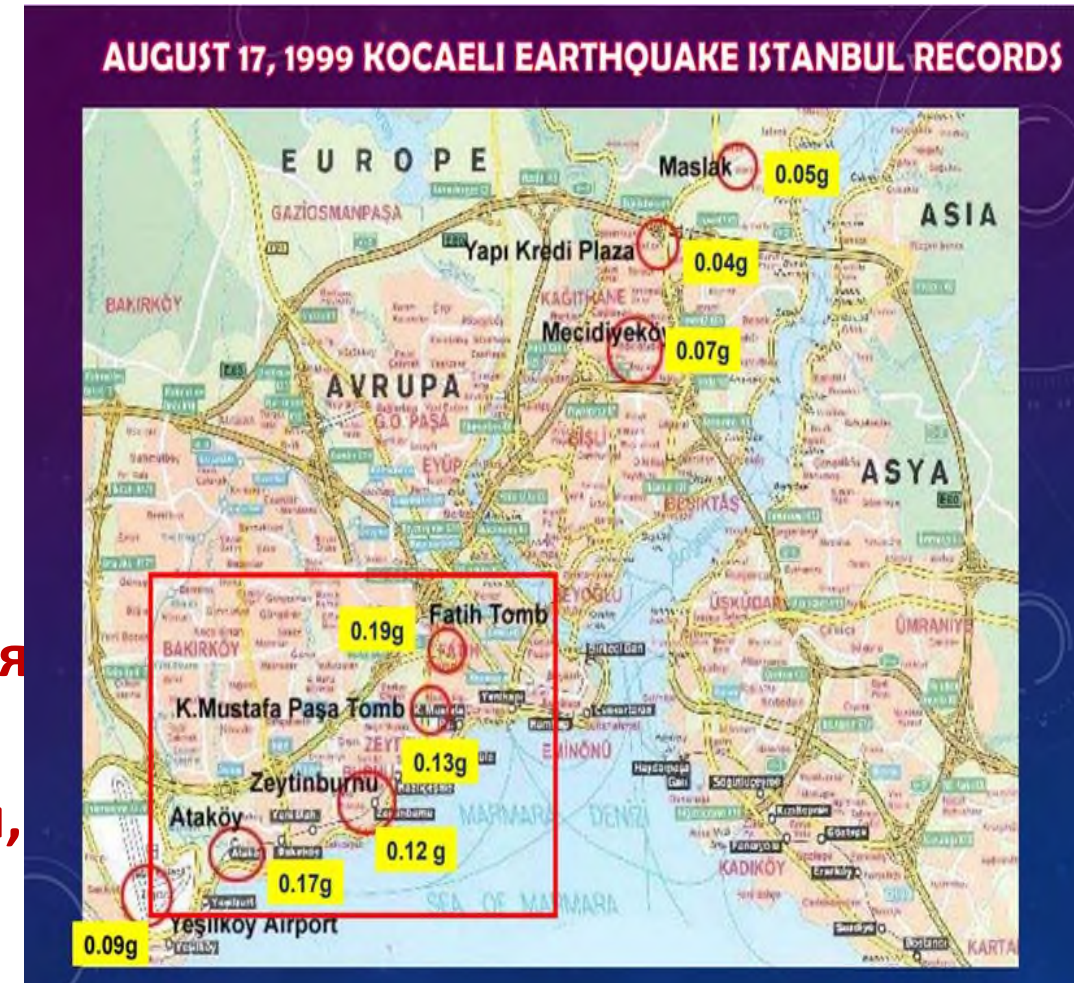


Уроки Измитского землетрясения 1999 г.

В период с 17.08.1999 г. вблизи г. Измит произошли два землетрясения с $M=7.4$ и $M=7.2$; в результате было разрушено или сильно повреждено от 50-70% строений в городах, которые попали в эпицентральную и близко к ней зону.

Выводы государственной комиссии: необходимо,

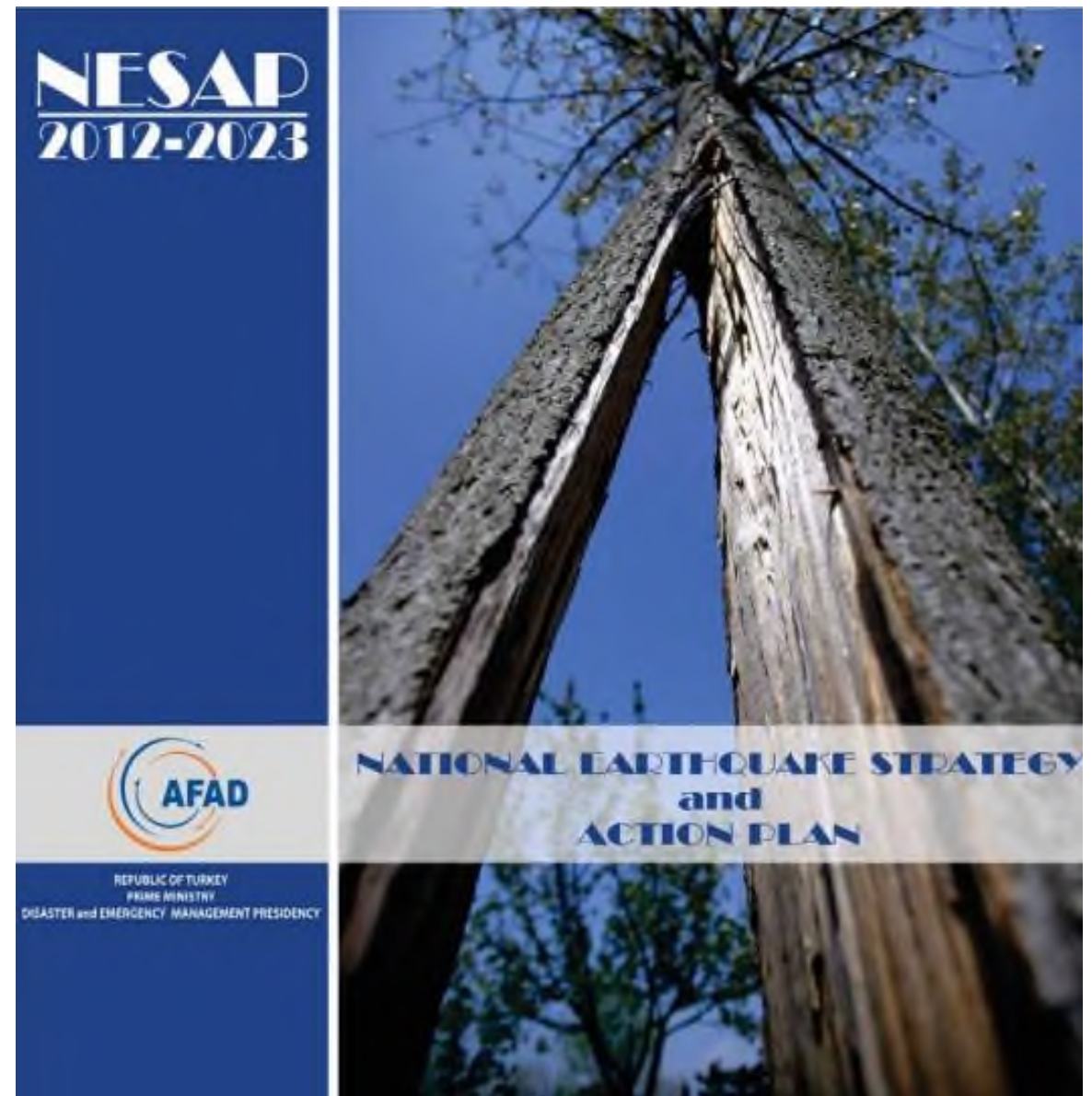
- корректировка нормативных документов (в части конструирования и расчёта) при проектировании ж/б каркасных зданий.
- нормативное и финансовое стимулирование применения инновационных, прошедших испытания сейсмостойких конструктивных систем.
- ужесточение требований и системы обеспечения качества проектирования и строительства.
- нормативное регулирование землепользования, в частности, застройки территорий вблизи тектонических разломов.



Урок, усвоенный по результатам Измитского землетрясения

С середины 90-х годов во всем мире начали меняться подходы к обеспечению сейсмической безопасности территорий и застройки городов, в том числе в связи с началом реализации Международного проекта ООН-ХАБИТАТ по снижению сейсмической угрозы.

В этой связи в Турции была принята **Национальная стратегия с планом действий для смягчения последствий землетрясений (2012-2023)**.



«Сценарии бедствий» - международные модели прогноза и снижения рисков бедствий в сейсмических зонах



Градостроительное регулирование в Турции: услуги по изысканиям, проектированию, строительству



Анализ рынка архитектурных и инженеринговых услуг в Турции

возможности продвижения услуг российских экспортеров



Москва
2022

Вопросы законодательного регулирования строительства, архитектурных и инженерных услуг, иные требования – см. материалы Минэкономразвития РФ.

По данным Союза палат инженеров и архитекторов Турции, на 2021г. насчитывалось 579 868 инженеров в Турции».

Особенности	Акционерное общество	Компания с ограниченной ответственностью
Состав участников	Один и более учредителей	Один и более учредителей
Требования к объемам документов при регистрации	6 видов документов в пакете	6 видов документов в пакете
Требования к уставному капиталу	2733 долларов США	5465,14 долларов США
Требования к найму на управляющую должность гражданина Турции	Нет	Нет

Источники информации: «Правовое регулирование в сфере строительства в Турции».

NB! Для создания бизнеса в сфере строительных услуг на территории Турции необходимо воспользоваться Центральной регистрационной системой (<https://mersis.gtb.gov.tr/>). Регистрация займет не более 10 дней, совокупная стоимость составит около 809 долларов США.⁶



Анализ рынка строительных услуг в Турции

возможности продвижения услуг российских экспортеров



Москва
2022

Градостроительное регулирование в Турции: Строительный надзор и контроль

Осуществляемое строительство в Турецкой Республике подлежит специальному надзору в соответствии с Законом № 4708 от 12.07.2007 «О строительном надзоре»

Закон предъявляет требования к выполнению надзора за проектом и строительством в целях обеспечения безопасности жизни и имущества, а также высокого качества строительства зданий.

Все виды строительства в рамках действия Закона подлежат проверке агентствами строительного надзора, действующими совместно с администрациями муниципалитетов на основании разрешения, полученного от Министерства окружающей среды, градостроительства и изменения климата.

Агентства реализуют свою деятельность на основании договоров об оказании услуг, заключаемых непосредственно с владельцами (вероятно, заказчиками) строительства.



Градостроительное регулирование в Турции: Нормы сейсмостойкого строительства

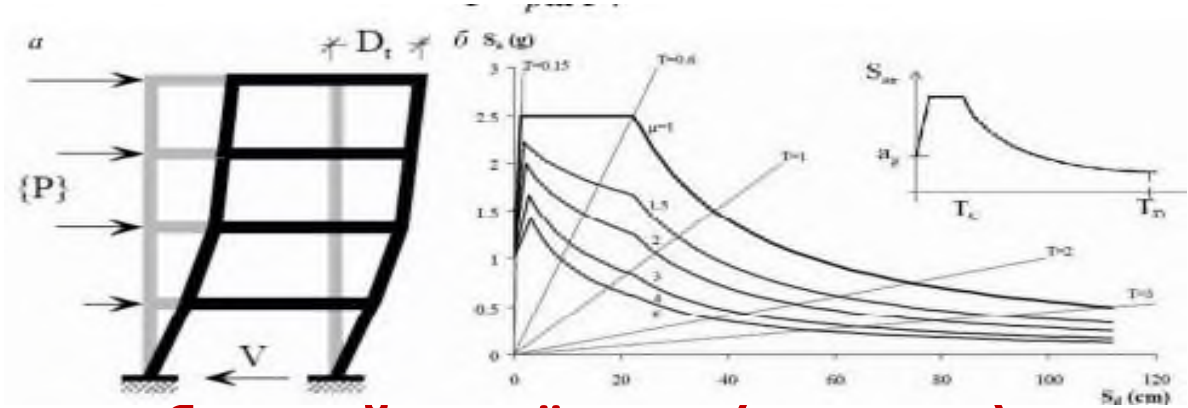
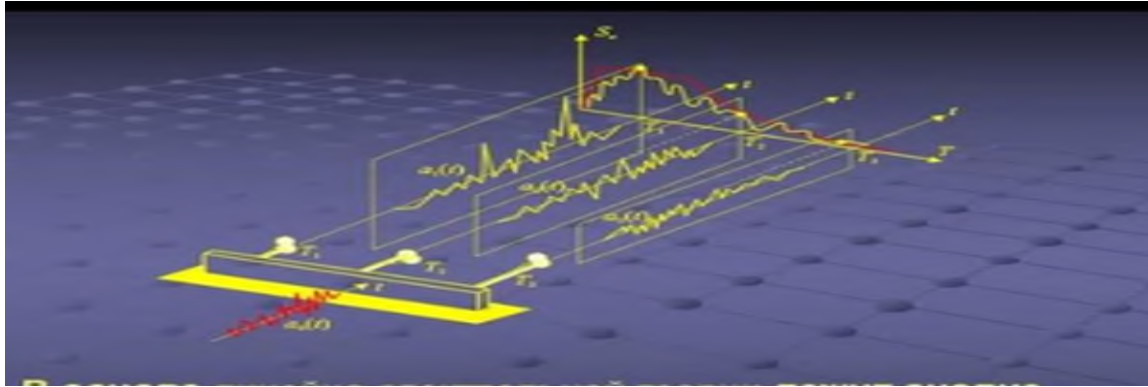
В Турции впервые нормы по устройству сейсмостойких зданий (строительный Кодекс) были введены с 1940 года (после землетрясения 1939 г.), положения которого до 1999 г. ориентировались на итальянские правила с графическими приложениями. Затем нормы неоднократно совершенствовались более 10 раз – в 1942, 1975, 1997 гг. и т.д.

После 50-х годов прошлого столетия в Турции начался период так называемой «неконтролируемой урбанизации», которая привела в городах и населённых пунктах к росту плотности застройки, этажности строений, перепланировкам без разрешений, в том числе во вновь возводимых зданиях.

Значительный объем строительства в современных городах был выполнен по нормам 1975 г., которые в конструктивной части, в основном, отвечали мировому уровню того времени, а вот в части расчёта зданий они были более «либеральными» по сравнению, например с нормами СССР (СНиП II-7-81 «Строительство в сейсмических районах»).

Нормы 1997 г. были уже ближе к нормам стран Армении, Казахстана, Узбекистана. Дополнительно нормы пересмотрели в сторону ужесточения после Измитского землетрясения 1999 г. В последний раз новые положения введены в 2020 году, в части учёта грунтовых условий.

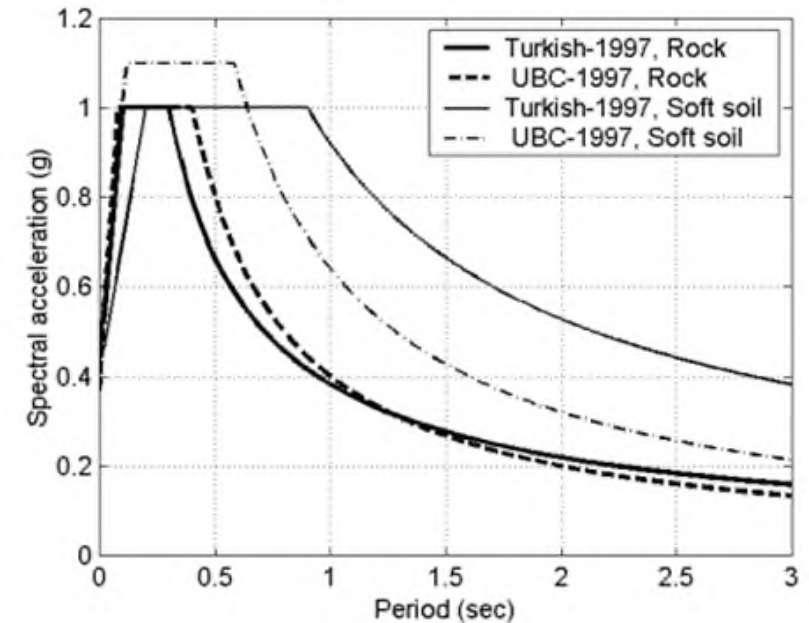
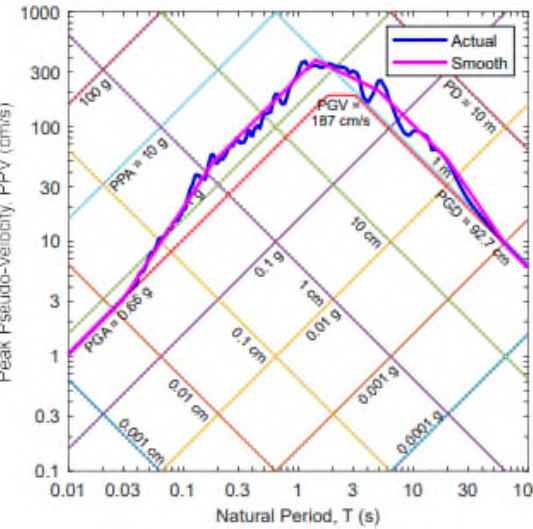
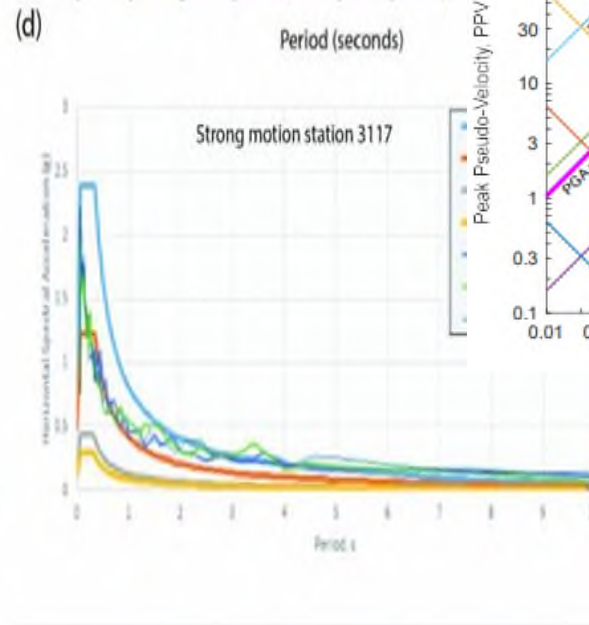
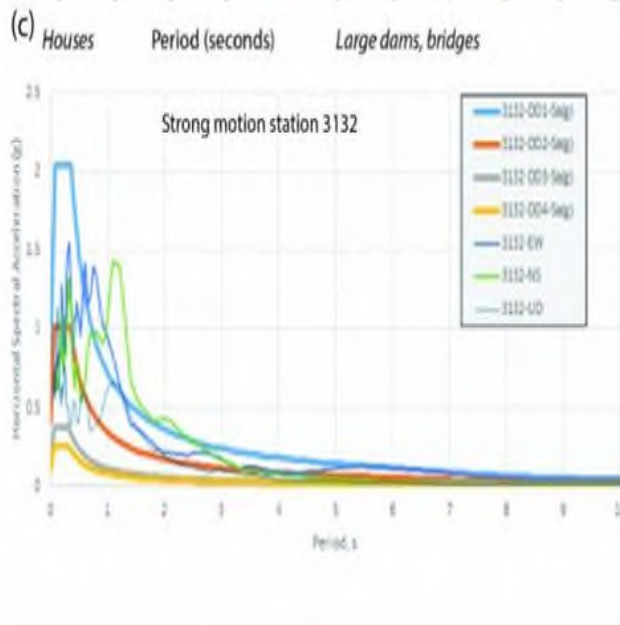
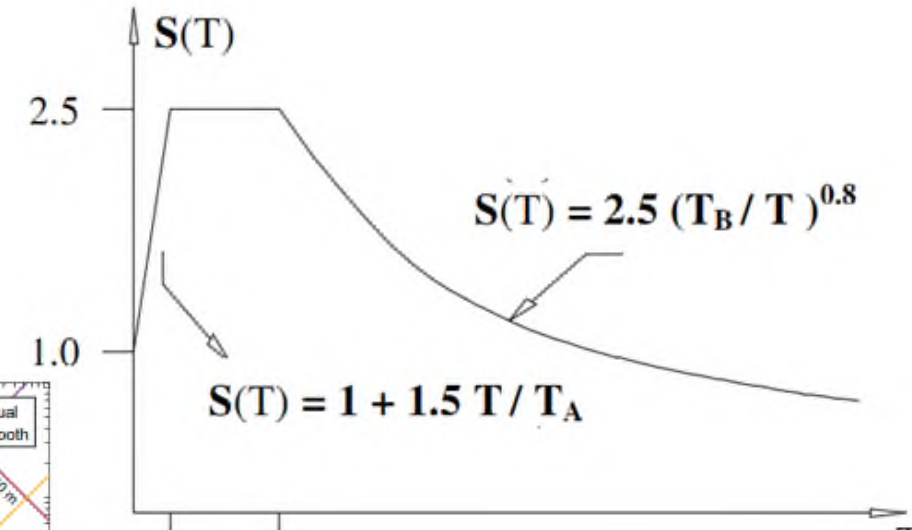
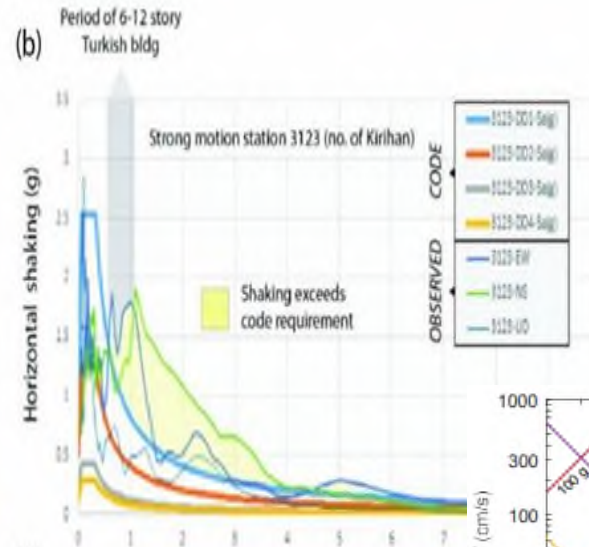
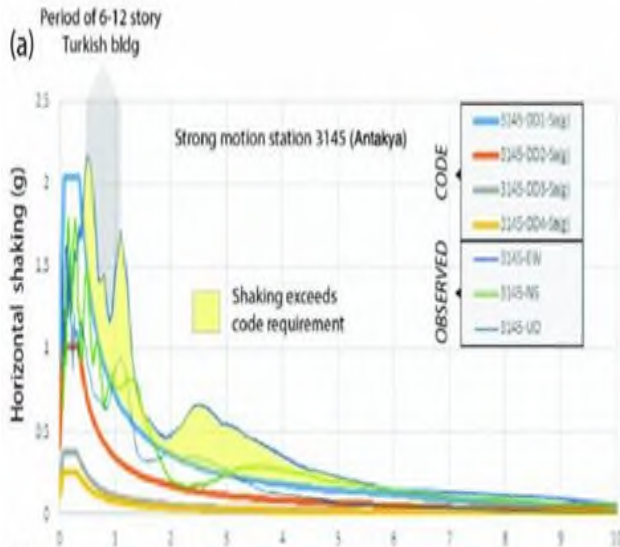
За основу для расчётов в нормах Турции, как России и странах СНГ, основанных на базовых положениях СНиП II-7-81*, принят **линейно-спектральный метод**.



На следующем слайде показано, что **характер огибающей расчётного (упругого) спектра реакций \Leftrightarrow коэффициент динамического усиления (см. следующий слайд) не отличается принципиально от установленного в российских нормах (СП 14.13.330.2018) и казахстанских нормах (СП РК 2.03-30-2017).**

После 2000 г. были ужесточены требования к составу инженерно-геологических изысканий, результатом которых является установление и устранение потенциальной возможности деградации грунтов и просадок фундаментов в момент возникновения и после землетрясений; установлены повышенные требования по глубине заложения фундаментов и используемым для их устройства материалам.

Учёт грунтовых условий



В нормах Турции, также как в СНГ предусмотрена **возможность учёта нелинейной работы конструкций** путём введения понижающих коэффициентов к расчётной нагрузке, полученной по линейной модели. Если развитие пластических деформаций для отдельных конструкций по СП 14.13330, СП РК 2.03-30 предполагает возможность понижения нагрузок в 3-4 раза, то в турецких нормах **для конструкций из железобетона и металла расчётная нагрузка может быть снижена от 5 до 8 раз!?**

В нормах Турции отсутствуют обязательные требования, как например в СП 14.13330.2018 (п.4.1) и пр.:

- **принимать регулярные конструктивные системы в плане и по высоте;**
- **обеспечивать пространственный характер работы сооружения, равномерное распределение нагрузок на перекрытия, масс и жёсткостей конструкций в плане и по высоте;**
- **обеспечивать устойчивость сооружений с учётом работы элементов и узлов соединений конструкций в области пластических деформаций.**

Желание застройщиков обеспечивать на нижних этажах свободные планировки, освобождая помещения и площади высотой 4-5м под офисы и магазины, а также перечисленное выше в итоге привело к широкому применению в Турции зданий каркасной системы без диафрагм жёсткости (или недостаточным числом диафрагм, в том числе с «гибкими этажами», аналогичными конструктивными схемами, весьма «уязвимыми» с точки зрения восприятия сейсмических нагрузок. Побочный эффект, минимальная толщина перекрытий, недостатки к устройству кладки стен и перегородок (см. ниже), активное применение НФС и светопрозрачных Конструкций.



Использованные строителями в Турции планировочные и конструктивные решения весьма чувствительны к:

- проявлениям неравномерных осадок грунтов оснований под фундаментами, например, в результате их замачивания водами техногенного происхождения;
- к крутильным формам колебаний, которые неизбежны при пространственных сейсмических воздействиях, возникновении «Р-Δ» эффектов второго рода, особенно при вертикальном «ударе» во время подземных толчков.

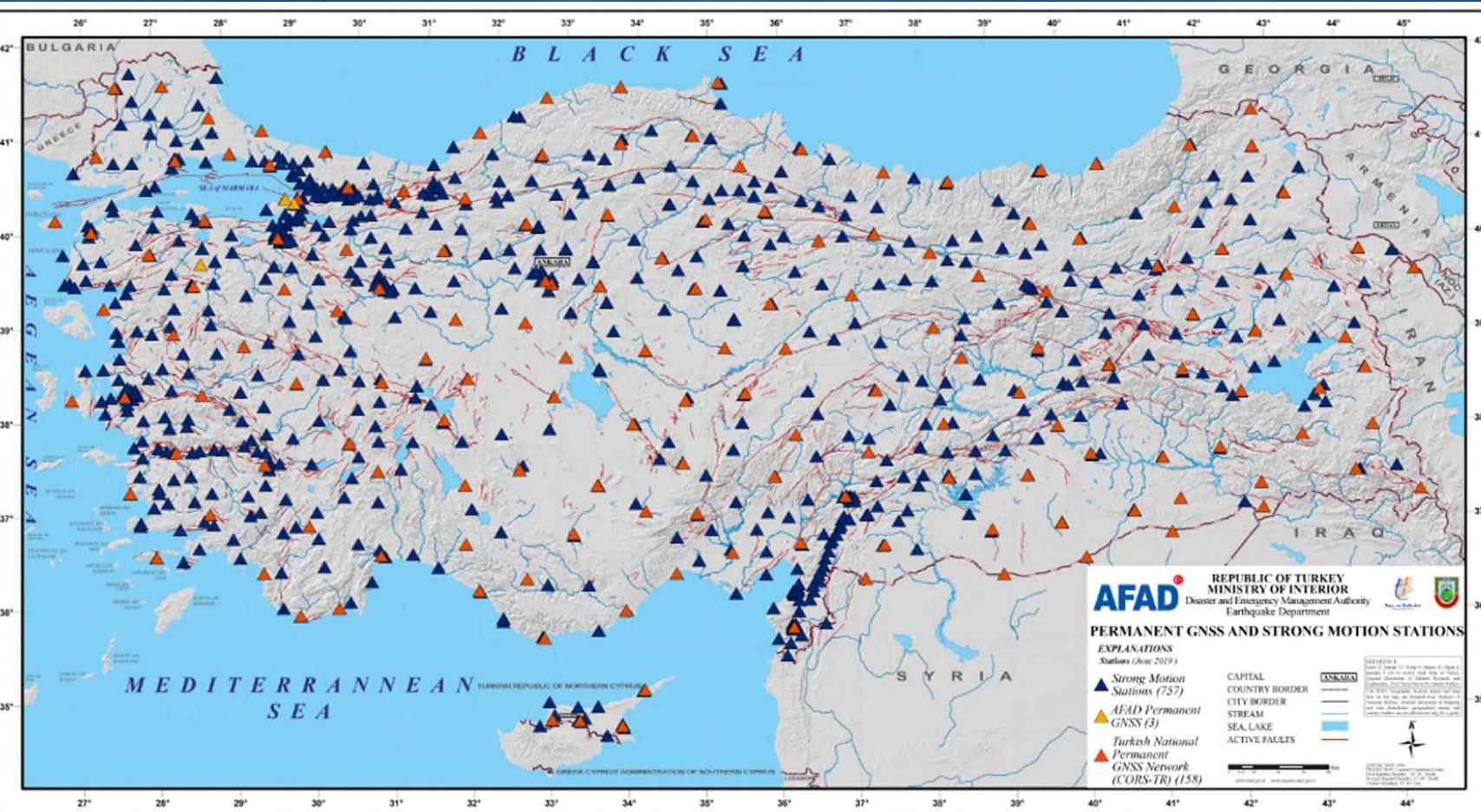
Вызванные недостатками норм сопутствующие факторы на практике приводят к повреждениям или разрушениям несущих конструкций нижних этажей, или в случаях сохранения остаточной устойчивости в последующем подвергаются прогрессирующему разрушению.

Землетрясения в Турции с $M \geq 7$ в XX веке происходили довольно часто: 1912 г. - в р-не Дарданелл; 1939 г. в Эрзинжаде; 1966 г. близ села Варто; 1999 г. – Измитское (M7.4).

Серия землетрясений 2023 г. M7.5-7.8 унесла жизни **43 566** человек пострадали **87 000** человек. Событие объявлено сильнейшим из зарегистрированных в Ближневосточном регионе. По смертоносности среди произошедших на территории Анатолии оно уступает только землетрясению в Киликии (1268), а с учётом последствий на региональном уровне – землетрясению в Алеппо (1822)



Служба инженерно-сейсмологических наблюдений [Alver et al., 2019]



Сейсмолог Валера слушает
движение Евразийской
тектонической плиты

Оценка интенсивности землетрясений

Балл. Сила землетрясения	Краткая характеристика
I. Не ощущается	Не ощущается. Отмечается только сейсмическими приборами.
II. Очень слабые толчки	Отмечается сейсмическими приборами. Ощущается только отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя в верхних этажах зданий, и очень чувствыми домашними животными.
III. Слабое	Ощущается только внутри некоторых зданий, как сотрясение от грузовика.
IV. Интенсивное	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стёкол, скрипу дверей и стен. Внутри здания сотрясение ощущает большинство людей.
V. Довольно сильное	Под открытым небом ощущается многими, внутри домов — всеми. Общее сотрясение здания, колебание мебели. Маятники часов останавливаются. Трещины в оконных стёклах и штукатурке. Пробуждение спящих. Ощущается людьми и вне зданий, качаются тонкие ветки деревьев. Хлопают двери.
VI. Сильное	Ощущается всеми. Многие в испуге выбегают на улицу. Картины падают со стен. Отдельные куски штукатурки откалываются.
VII. Очень сильное	Повреждения (трещины) в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные и плетневые постройки остаются невредимыми.
VIII. Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются. Падают фабричные трубы.
IX. Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов. Старые деревянные дома кривятся.
X. Уничтожающее	Трещины в почве иногда до метра шириной. Оползни и обвалы со склонов. Разрушение каменных построек. Искривление железнодорожных рельсов.
XI. Катастрофа	Широкие трещины в поверхностных слоях земли. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома почти полностью разрушаются. Сильное искривление и выпучивание железнодорожных рельсов, разрушаются мосты.
XII. Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникновение водопадов, подпруд на озёрах, отклонение течения рек. Изменяется рельеф. Ни одно сооружение не выдерживает.

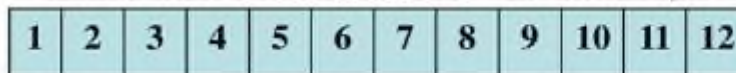
Шкалы интенсивности землетрясений

Сопоставление наиболее часто используемых сейсмических шкал (по Н.В. Шебалину)

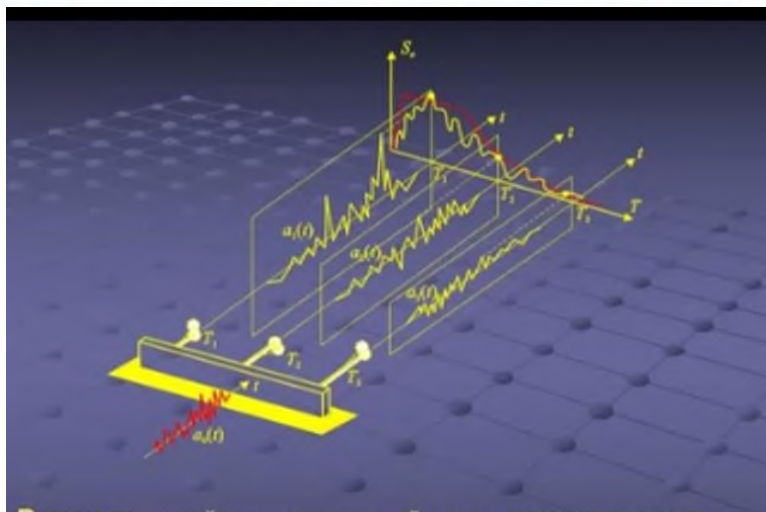
Шкала Росси-Фореля



Шкалы типа Меркалли - Канкани - Зиберга шкала MSK-64 Медведева - Шпонхойера - Карника



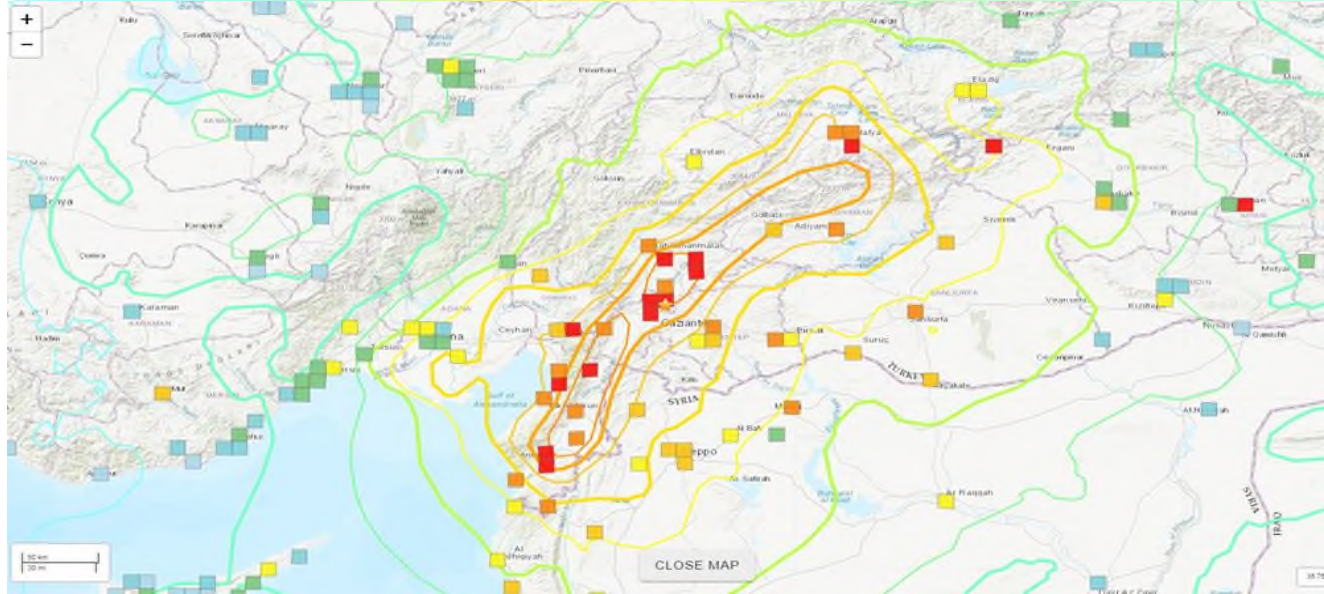
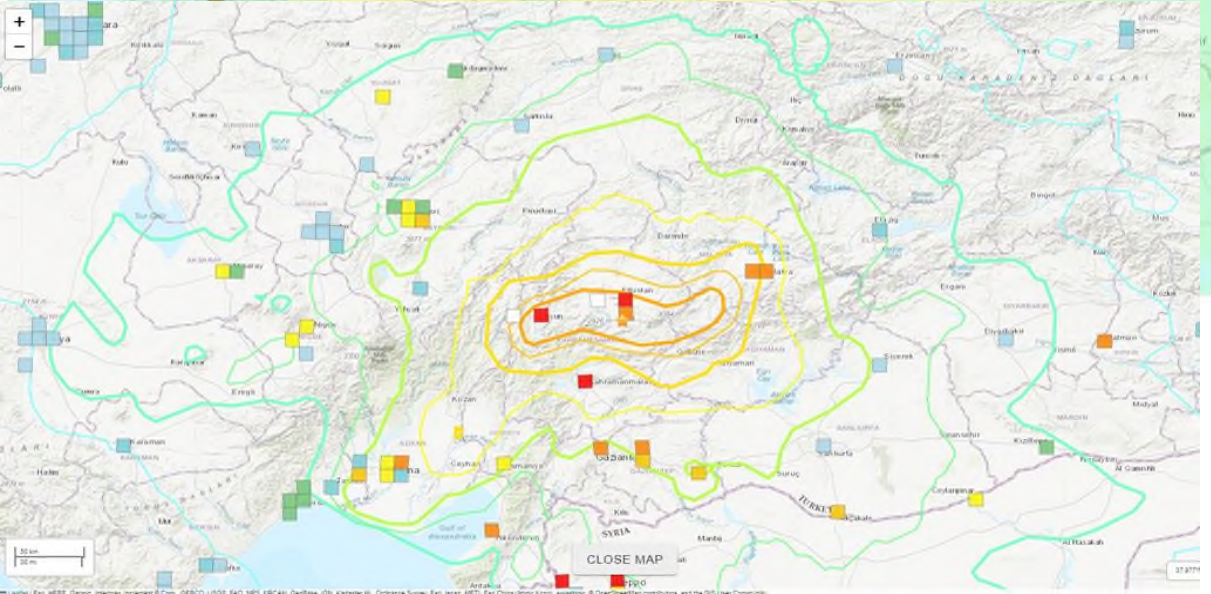
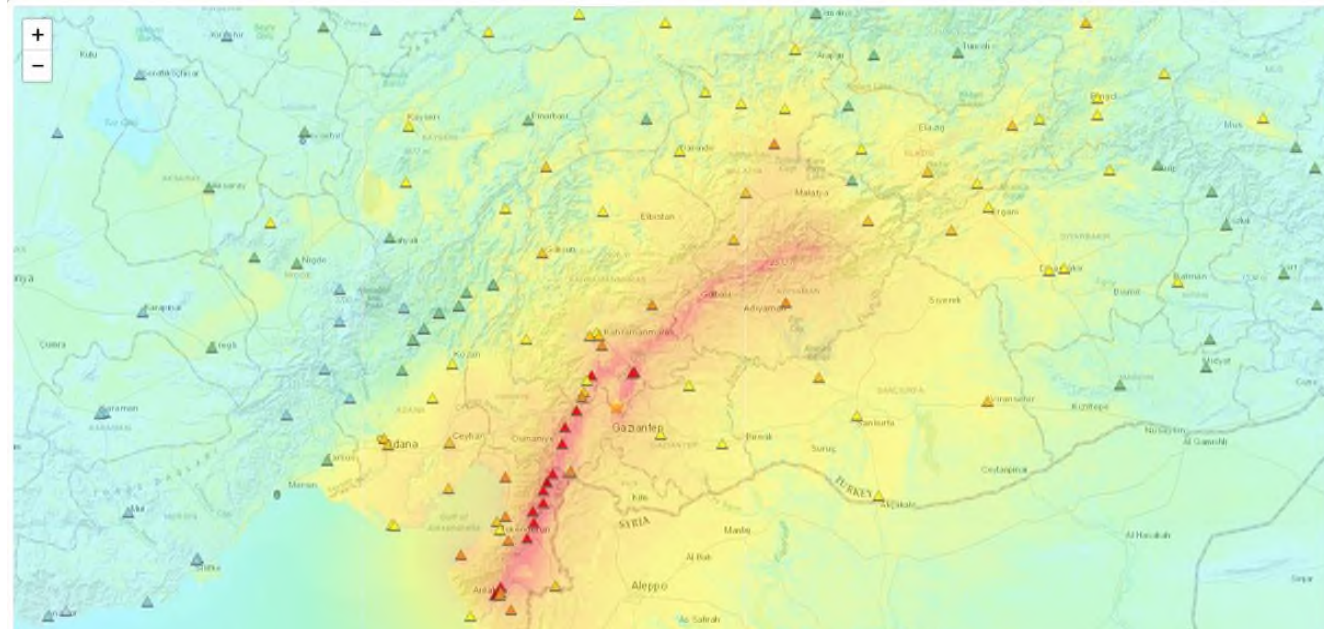
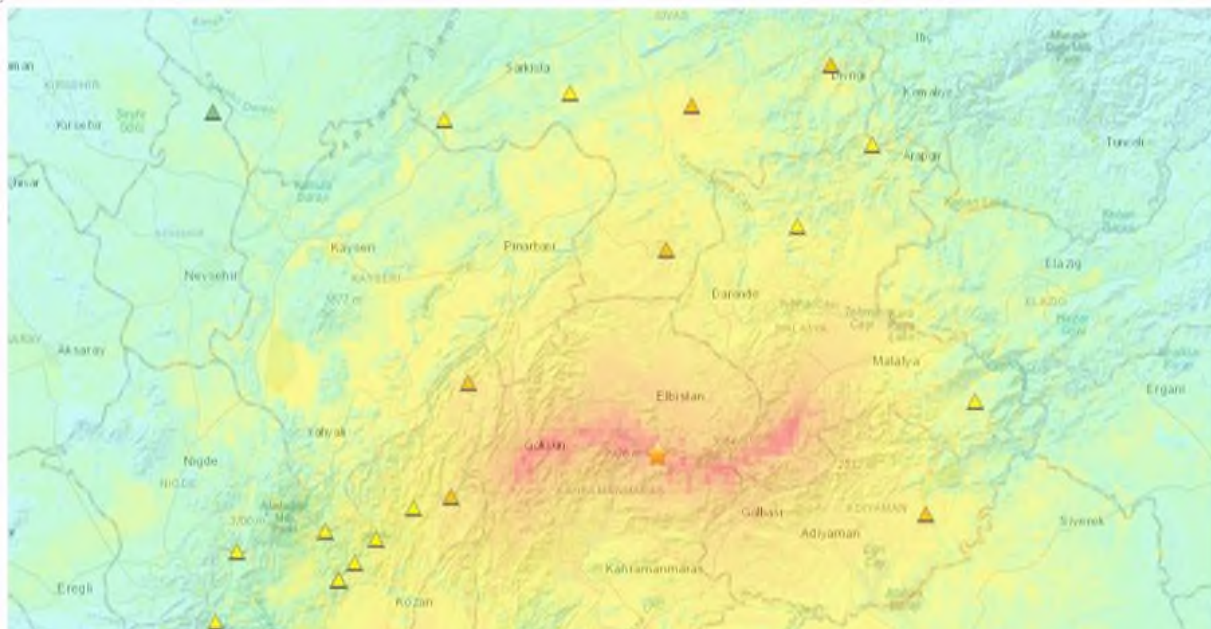
Шкала Японского Метеорологического Агентства



Магнитуда по Рихтеру	Интенсивность по шкале MSK-64 в баллах
2,0 и ниже	I-II
3,0	III
4,0	IV-V
5,0	VI-VII
6,0	VIII
7,0	IX-X
8,0 и выше	XI-XII

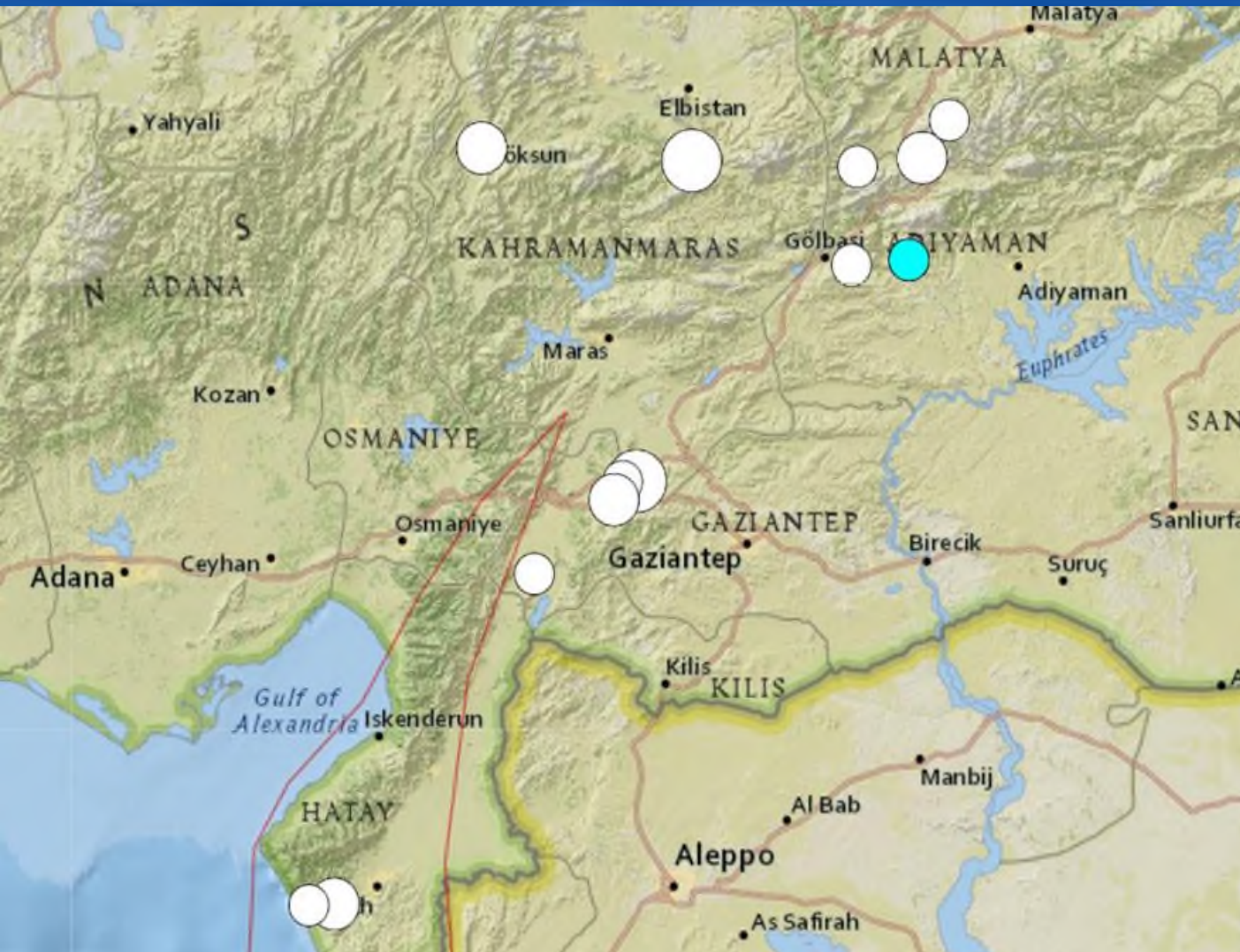
Шкала MSK	Последствия землетрясений	Шкала Рихтера
I	Почти неощутимые толчки	-
II	Толчки ощущают лишь немногие, особенно на верхних этажах	2
III	Толчки ощущают немногие, дребезжит стекло, раскачиваются висючие предметы	2,5-3
IV	Толчки ощущают все, кто находится внутри здания, трескаются потолки, звенит посуда	3,5
V	Толчки ощущают все, спящие люди просыпаются, в помещении раскачиваются висючие предметы	4-4,5
VI	Просыпаются спящие, люди покидают дома, останавливаются настенные часы с маятником, сильно раскачиваются деревья	5
VII	Трескаются стены домов, осыпается штукатурка	5,5-6
VIII	Образуются обширные и глубокие трещины в стенах, сдвигается-иногда опрокидывается мебель, трещины в грунтах достигают несколько сантиметров	6-6,5
IX	В стенах возникают бреши, рушатся перегородки, трещины в грунтах достигают 10 см	7
X	Здания рушатся, реки выходят из берегов, трещины в грунтах несколько дециметров, иногда около 1 м	7,4
XI	Повреждение большинства зданий, разрушение мостов, значительные деформации почвы, горные обвалы	8,0
XII	Почти полное разрушение, радикальное изменение земной поверхности	8,9

Макросейсмические карты двух землетрясений (USGS)



Основные характеристики землетрясения

06.02.2023



(1) 2023-02-06 01:17:34
37.225°N 37.021°E
10.0 km (± 1.8) depth
 $M_{ww}=7.8 \pm 0.1$
(USGS)

(2) 2023-02-06 10:24:49
38.024°N 37.203°E
10.0 km (± 1.8) depth
 $M_{ww}=7.5 \pm 0.0$
(USGS)

01:17:35 37.29°N 36.99°E
10 км
 $M_S=8.0$ mb=6.8
 $I_0=11.5$
(ФИЦ ЕГС РАН)

10:24:49 38.04°N 37.18°E
10 км
 $M_S=7.8$ mb=6.9
 $I_0=11-11.5$
(ФИЦ ЕГС РАН)

01:18:10 37.56°N 37.47°E
14.9 km (± 0.5)
 $M_S=7.8$
 $M_w=7.8$
Assumed half duration: 18.9
(GCMT)

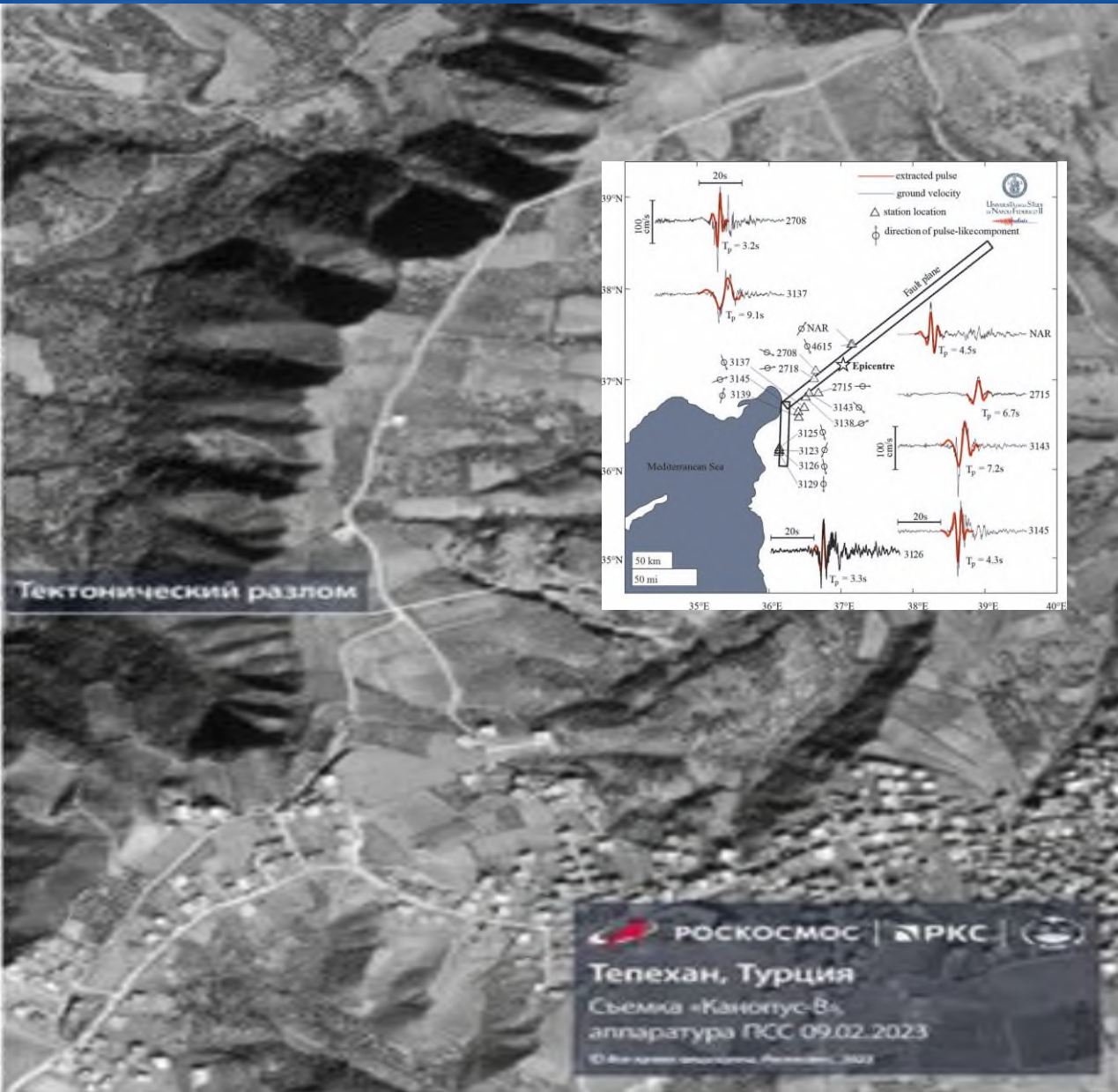
10:24:59 38.11°N 37.22°E
12 km (± 0.0)
 $M_S=7.5$
 $M_w=7.7$
Assumed half duration: 17.9
(GCMT)

Визуальное восприятие разлома и модель очага

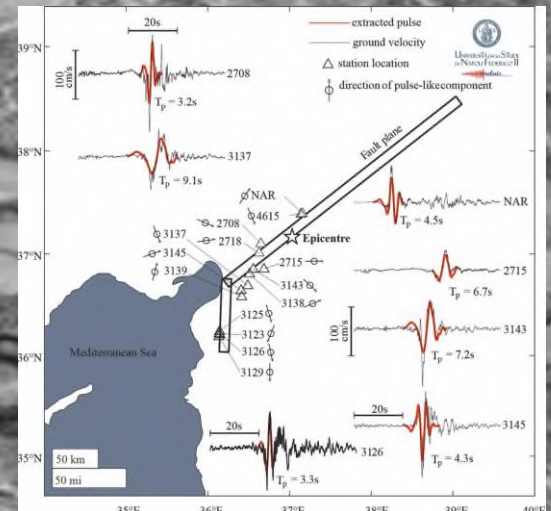
Мониторинг последствий землетрясения



Съемка «Ресурс-П» 12.07.2021



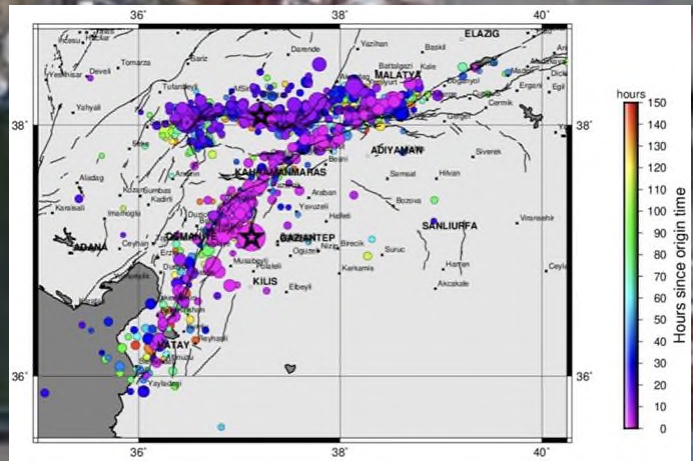
Тектонический разлом



Проявления последствий землетрясения на поверхности Земли



Масштаб разрушений в городах вблизи очага



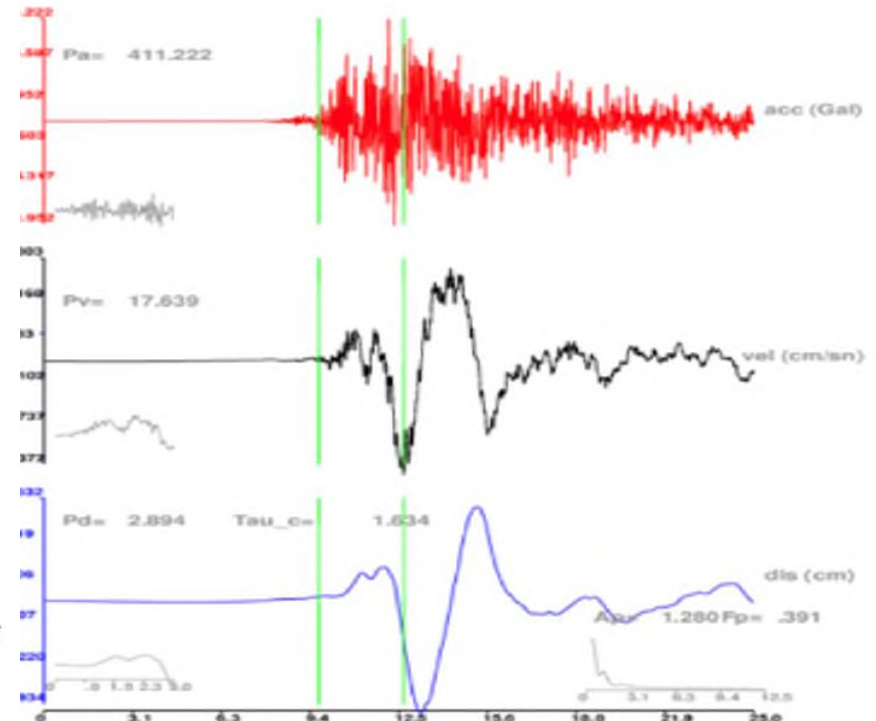
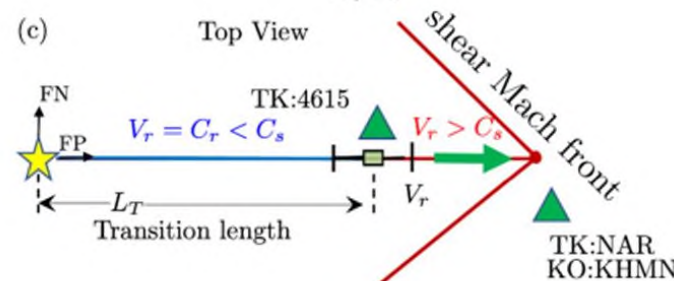
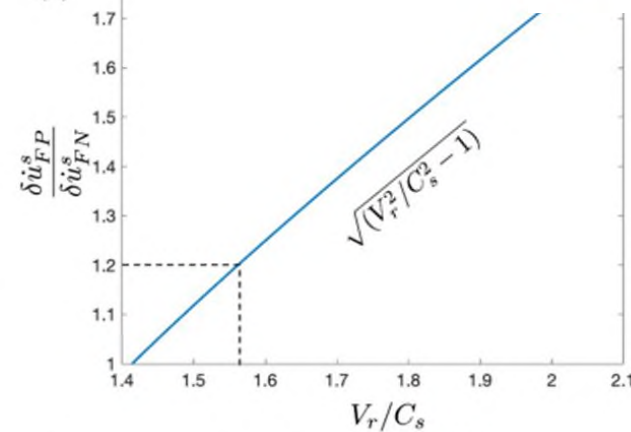
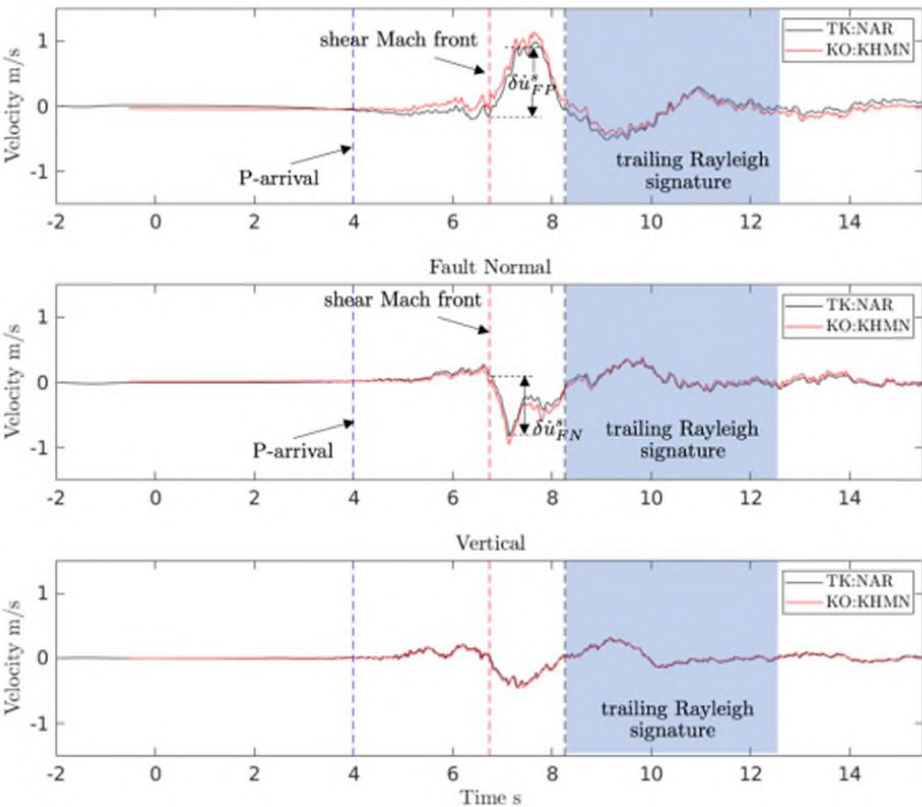
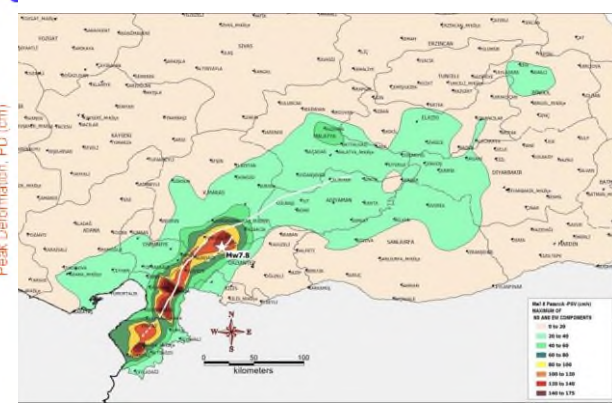
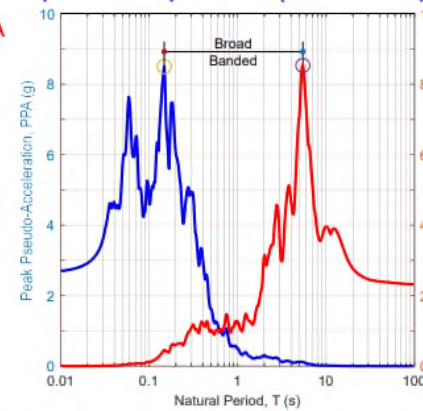
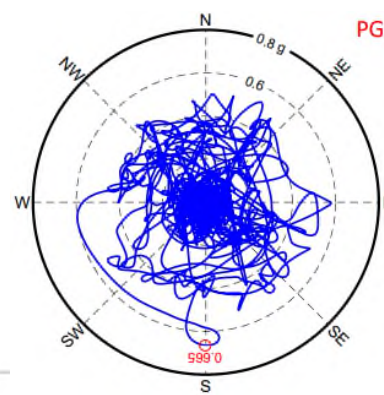
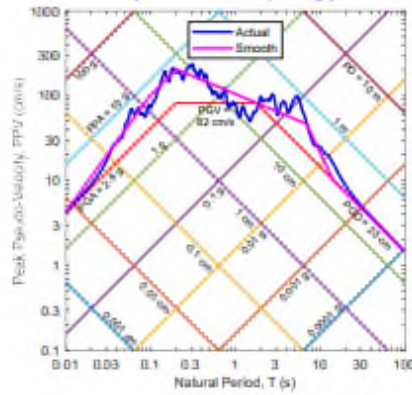
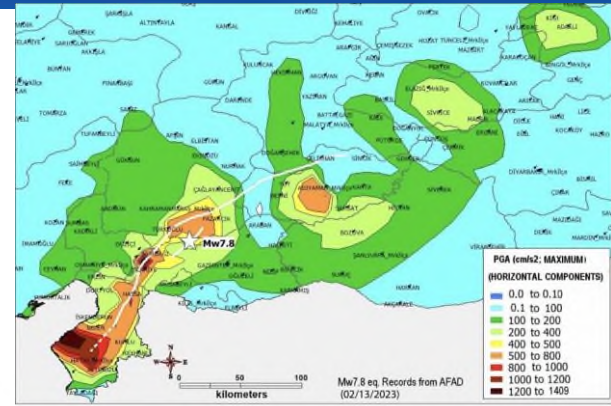
Ситуация в городах. Разрушения гражданских зданий



«Убивают здания, а не землетрясения» Каковы настоящие причины огромного количества жертв в Турции и Сирии?



Результаты обработки данных о землетрясении



Недооценена сейсмическая опасность

Анализ турецких норм (Кодекса) по сейсмостойкому строительству позволяет понять первую причину возникновения массовых разрушений, зафиксированных после землетрясения 6.02.2023 г.

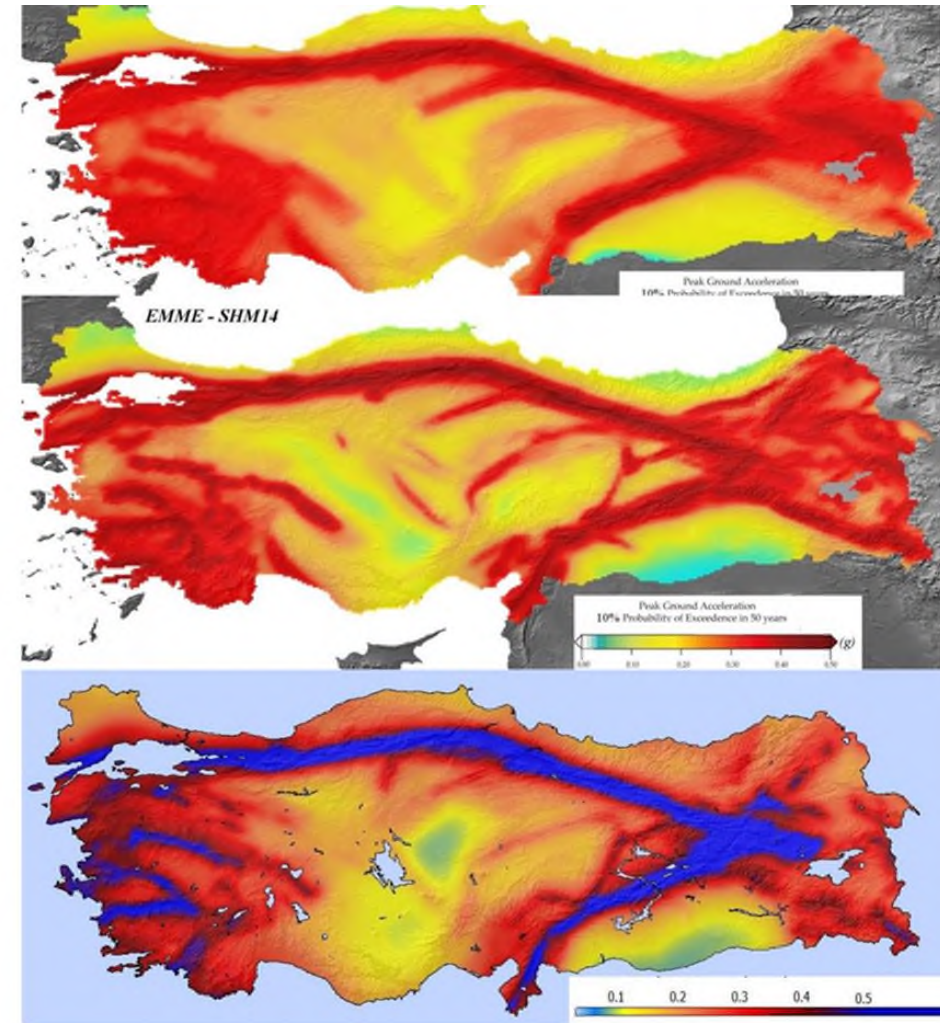
Согласно действующей редакции строительного Кодекса (с 2000 г.) территория Турции в зависимости от уровня сейсмической опасности и риска делилась на 5 зон, при этом регион, в котором произошло последнее землетрясение расположен в зонах от 1 до 3 уровня опасности с рисками от умеренного до очень высокого. Аналогичный подход к сейсмическому зонированию территории в Сирии.

Модель зонирования после землетрясения 2023 года показывает недооценку сейсмической опасности вблизи разломов.

SHARE

EMME

The
new
Turkey
model

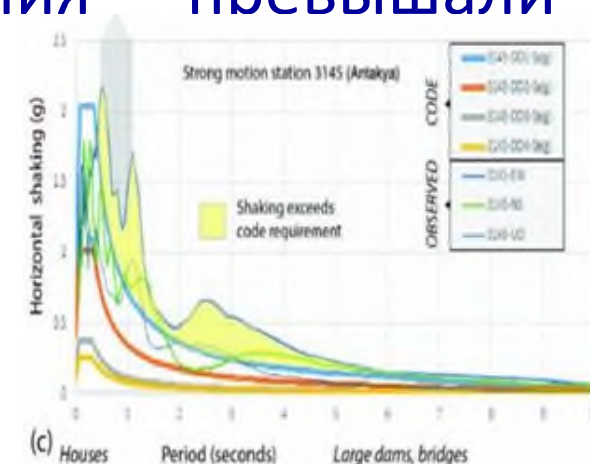


По данным сейсмологической станции, расположенной в 30 км от эпицентра землетрясения, пиковые ускорения грунта - PGA достигали величин 500-600 cm/s^2 , скорость, не менее 50 cm/s , с амплитудами перемещений грунта +/- 20-25 cm (размах колебаний до 0.5 м).

В районе провинции Хатай (Hatay Province) общий вектор горизонтального ускорения PGA достигал величин порядка **1000-1400** cm/s^2 и скорости 140-145 cm/s , что связано с грунтовыми особенностями бассейнов Средиземного и Мёртвого морей.

Максимальные ускорения PGA на грунте: **E-W 0.595 g; N-S 0.665g; Up 0.857g**; в ряде мест вертикальные ускорения превышали горизонтальные, что привело к разрушениям за счёт P-Delta эффекта в несущих конструкциях зданий.

Стандартные строительные спектры были серьёзно превышены в диапазоне частот от 1.0 до 2.0 Гц, что привело к повреждению даже высотных низкочастотных зданий.



Количество разрушенных и сильно повреждённых зданий достигло **156 000**. Умеренно и слабо повреждены **43 000** зданий. Количество блоков для проживания (апартаментов, квартир и т.д.) среди разрушенных и сильно повреждённых зданий составляет около **507 000**, что предопределило такое большое количество жертв.

Из 150 плотин и дамб ни одна не была разрушена, хотя некоторые из них получили повреждения в виде трещин.

2 большие тепловые станции, из 3-х в регионе, получили повреждения и вышли из строя, что создало дополнительные трудности при ликвидации последствий землетрясений.

Нефтяные, газопроводы, распределительные системы, железные дороги, шоссе и дороги были повреждены из-за больших относительных смещений, прежде всего на границах разломов, разжижения грунтов и оползней.

Из 1000 мостов в регионе повреждено 15 и 2 обрушились.

В аэропорте Хатай повреждена взлётная полоса. Другие аэропорты также не функционировали несколько дней.

Порт Iskenderun был повреждён и выведен из строя последовавшим пожаром.

Выявлены массовые нарушения при изготовлении конструкции, низкое качество бетона, отсутствие поперечной арматуры, недостаточные сечения колонн



Низкое качество нового строительства, несоблюдение норм, отсутствие контроля

ÖNCESİ

SONRASI



22 daireden
sadece 2 kişi
sağ kurtuldu
**Şantiye şefi
gözaltında**

Еще один пример, как красивый новый дом рассыпался в пыль буквально. Надпись - из 22 квартир выжило только два человека. Подрядчик задержан.

Нарушения при устройстве оснований и фундаментов

Фундаменты зданий часто выполнялись в виде монолитных железобетонных лент или, на площадках со слабыми или обводнёнными грунтами, в виде сплошных ж/б плит. Заглубление фундаментов не всегда было достаточным.



Недостатки конструирования и разрушения колонн

По данным обследований после землетрясения 1999 г. и 2023 гг.

- Колонны ж/б каркасов часто не квадратного, а прямоугольного сечения размером (25-30) × (25-70) см, ригели каркасов сечением (20-30) × (40-60) см.
- Монолитные ж/б перекрытия плоские или ребристые.
- Армирование колонн и ригелей, как правило, велось гладкой стержневой арматурой (класс по прочности сопоставим с А-I в России) Ø14-16 мм, поперечная арматура (хомуты) Ø6-8 мм.
- Шаг хомутов 200-300 мм, что не обеспечивает вертикальные стержни от потери устойчивости при сжатии.
- Армирование несущих конструкций стержнями большего диаметра встречается крайне редко, т.к. такая арматура, как и стержни периодического профиля, стоят дороже



Недостатки по устройству кладки стен и перегородок

Для кладки наружных стен и перегородок применялся кирпич с пустотами более 50%. Толщина стенок кирпича около 1 см, высота кирпича 15 см. Качество - очень низкое; хрупкость высокая; качество низкое. Кирпичная кладка не армировалась и не крепилась к конструкциям каркаса.



Были обследованы каркасные здания, которые кроме прямоугольных колонн имели несколько вертикальных железобетонных стен (диафрагм жёсткости - ДЖ) в количестве 2-3 шт. на этаж; их длина составляла всего от 1.5 до 3.0 м, а толщина 20-25 см. Армирование стен осуществлялось аналогично колоннам - гладкой стержневой арматурой $\varnothing 12-14$ мм. Вертикальные и горизонтальные стержни располагались по длине с шагом 15-20 см. Такие ДЖ не могли существенно повысить жёсткость здания.

Расчётно-конструктивный анализ каркасных зданий (без ДЖ) показал, что здания обладают значительной гибкостью. Расчётные периоды колебаний по основному тону 4-этажных каркасов находится в пределах $T=0.6-0.8$ с; а 8-этажных может превышать $T \geq 1.0$ с.

Интенсивные сейсмические колебания вызвали образование трещин в наиболее нагруженных частях колонн, чаще всего, в зоне соединения колонн с ригелями или с фундаментами. И, по мере развития трещин и падения жёсткости зданий, амплитуды колебаний увеличивались, а бетон (в т.ч. плохо провибрированный) в местах наибольших деформаций разрушался. Продольная арматура под действием вертикальной нагрузки от собственного веса здания и сейсмической нагрузки теряла устойчивость и, деформируясь в поперечном направлении, разрывала хомуты. Колонны подламывались в нижнем этаже и здание наклонялось или заваливалось. Происходил коллапс (обрушение).

Характерные разрушения зданий в связи с обозначенными выше нарушениями строительных норм и правил



1. Несмотря на прогнозную вероятность возникновения катастрофического события в зоне Восточно-Анатолийского разлома, учёными в этом регионе не ожидалось землетрясение такой силы, прежде всего, двух сильных толчков с коротким промежутком, а также большого количества афтершоков. Землетрясения высокой интенсивности, ранее произошедшие в регионе отличаются от прогнозируемых действующими картами сейсмического зонирования территории Турции. По совокупности оценок интенсивность землетрясения в эпицентральной области и близлежащих городах, где произошли массовые разрушения, оценивается силой **от 8 до 10 баллов по шкале MSK-64.**
2. В Национальной стратегии Турции (2012-2023) одной из потенциальных угроз безопасности сооружений и городов была предопределена **«неконтролируемая урбанизация»**, результатом которой стала **густонаселённость** центров и даже развивающихся спальных районов, кроме того, в ряде случаев здания, как новые, так и старой постройки оказались с **дефицитом сейсмостойкости.**

3. Дефицит сейсмостойкости существующей застройки связан в первую очередь с недооценкой сейсмической опасности и риска территорий, несовершенством норм (см. выше), низким качеством применяемых строительных материалов, возрастающим износом несущих конструкций зданий.

В большинстве зданий за весь период жизненного цикла, как правило, не проводились плановые ремонтно-восстановительные работы или усиление, реконструкция с учётом современных норм, которые кроме того постоянно обновлялись.

4. Сведения о последствиях турецкого землетрясения позволяют сделать вывод, что фактический дефицит сейсмостойкости зданий, которые были повреждены или разрушены в зависимости от времени строительства и соблюдения правил эксплуатации составляет от 2 до 4 баллов, т.е. некоторые здания подверглись нагрузкам до 4 – 8 раз превышающих расчётные.

5. Масштаб и характер разрушений, причины их происхождения в целом являются «типичными» для аналогичных событий, обусловлены: недооценкой специфики сейсмической активности и опасности региона; недостатками, несовершенством и нарушением норм по сейсмостойкому строительству; необоснованной экономией материалов, низким качеством строительства; отсутствием необходимой ответственности участников градостроительной деятельности; отсутствием контроля за состоянием зданий при эксплуатации и пр., которые при турецком землетрясении проявились в наиболее неблагоприятной форме.

6. Очевидны недостатки строительных норм Турции в части установления требований к расчётам и проектированию сейсмостойких конструкций зданий, касающиеся подходов по учёту пространственного характера, нелинейной работы, применяемым схемам и принципам конструирования.

7. Характерным для существующей застройки в Турции, где произошли массовые повреждения и разрушения, является **не соблюдение строителями требований по регулярности строений в плане и по высоте, которые в реальной жизни усугубилось необоснованными перестройками / перепланировками** (данные из оперативных заключений экспертов).

8. **Значительное число разрушенных зданий в Турции было построено по безригельной конструктивной схеме, в том числе с «гибкими нижними этажами», с перекрытиями минимальной толщины и недостаточным армированием, которые в связи с отсутствием необходимого числа вертикальных диафрагм (стен и связей) не могли обеспечить пространственный характер работы сооружений и их требуемую сейсмостойкость. Имеющиеся материалы свидетельствуют о наличии в основании некоторых таких зданий неблагоприятных для них «мягких» грунтов; по всей видимости они также попадали в зону близкую к резонансной.**

9. Не учтён мировой опыт по анализу последствий сильных и разрушительных землетрясений, который показывает, что в общем, на «мягких» грунтах следует возводить здания с жёсткой конструктивной системой, а на жёстких грунтах – гибкой; следует проектировать здания с периодами, отличающимися от преобладающих периодов грунтов площадки строительства в 1.5-2 раза в большую или меньшую сторону, т.е. отдалить период собственных колебаний проектируемого сооружения от резонансной зоны. Такой принцип «регулирования сейсмической реакции» применяется, например, в России при проектировании зданий с «выключающимися» и «включающимися» связями.

10. В регулирующих и нормативных документах Турции выявлены недостатки, оказавшие негативное влияние на «уязвимость» зданий, в том числе не учитывалась возможность повышения сейсмических воздействий, их характер на площадках строительства, территориях близлежащих городов и населённых пунктов к очаговым зонам.

11. Важным фактором увеличения масштаба разрушений зданий в городах, близкорасположенных к эпицентру является характер сейсмических воздействий - высокая интенсивность вертикальных, как и горизонтальных составляющих, повторность сейсмических толчков, приведших к деформированию элементов конструктивных систем в области «малоциклового усталости», что не учитывается нормами ни в одной стране, включая Турцию.

Вышеизложенные факторы привели к наиболее неблагоприятному «сценарию» бедствия при землетрясении 6.02.2023 г. и серии афтершоков - к полному разрушению 6217 зданий, в том числе: в Адане (24), Адиямане (600), Газиантепе (581), Диярбакыре (20), Кахраманмараше (310), Килисе (50), Малатье (130), Османии (101), Хатае (278), Шанлыурфе (201).

- 1. В большей степени риски при землетрясениях связаны с разрушением существующей застройки, объем которой оказался значительно больше по сравнению с вновь вводимыми в эксплуатацию объектами нового строительства.**
- 2. Обеспечение сейсмической безопасности сооружений и городов является комплексной проблемой, которая должна решаться целевыми методами, путём системного выявления территорий и объектов повышенного риска в пределах границ застроенных территорий, с построением «сценариев бедствий» и ситуационных изменений, с построением на их основе и реализацией плана превентивных градостроительных мероприятий по снижению сейсмической угрозы на уровне микрорайона и/или города и/или агломерации.**
- 3. Проблема сейсмической безопасности существующих объектов и территорий, в первую очередь должна решаться градостроительными средствами и методами, и уже далее посредством проектирования и строительства новых сейсмостойких зданий.**

4. На первый план выходят задачи по организации проведения непрерывного мониторинга качества и безопасности градостроительных объектов, необходимость проведения сплошной паспортизации с оценкой дефицита сейсмостойкости после ввода таких объектов в эксплуатацию, планирования и реализации мероприятий, направленных на сохранение / обеспечение приемлемого уровня безопасности объектов на протяжении всего жизненного цикла (реконструкция, усиление, восстановительные ремонты).

5. Необходимо уточнять или при отсутствии определять характеристики потенциально возможных очагов сильных землетрясений, активных разломов, их расстояния до городов и населённых пунктов, оценивая усиления их воздействий на площадках строительства, устанавливая преобладающие амплитуды и периоды (спектры), соответствующим образом отражая вновь полученные данные в нормах как «региональные модели воздействий» или «сценарные землетрясения».

6. Рекомендуется формировать предложения для возведения на конкретных площадках зданий и сооружений с конструктивными системами, наиболее «устойчивыми» с точки зрения сейсмической безопасности, а это, как правило, позволяет возводить оптимальные по ТЭО здания и сооружения.

7. При строительстве и реконструкции зданий и сооружений вблизи разломов (в зависимости от расстояний до очагов) следует учитывать повышение интенсивности горизонтальных, так и вертикальных составляющих сейсмических воздействий, эффект которых в нормах Турции, России, Казахстана никоим образом не учитываются. По примеру норм США такие факторы в зависимости от категорий разломов и расстояния от 2 до 10 км до строительной площадки при ожидаемых ускорениях грунта 0.4g можно учесть коэффициентом к нагрузке от 1.5 до 1.0. В нормах Армении в 3-й сейсмической зоне (0.4g) для строительных площадок, расположенных на расстоянии менее 10 км от зон активных разломов значение ожидаемого ускорения грунта (A) умножается на коэффициент 1,2.

8. Необходимо разработать и внедрять для применения на практике методы расчёта на малоцикловую усталость элементов конструктивных систем и как следствие, прогрессирующее разрушение при землетрясениях, которые в отечественных нормах сейсмостойкого строительства пока не учитываются.

Для этого рекомендуется проанализировать и обобщить мировой опыт и результаты имеющихся исследований по малоцикловой прочности при действии нагрузок типа сейсмических высокого уровня (статически неопределимые балки, колонны со смешанным армированием, узлы каркасных зданий и пр.).

Соответствующие предложения направлены в Минстрой России.



Спасибо за внимание!

