

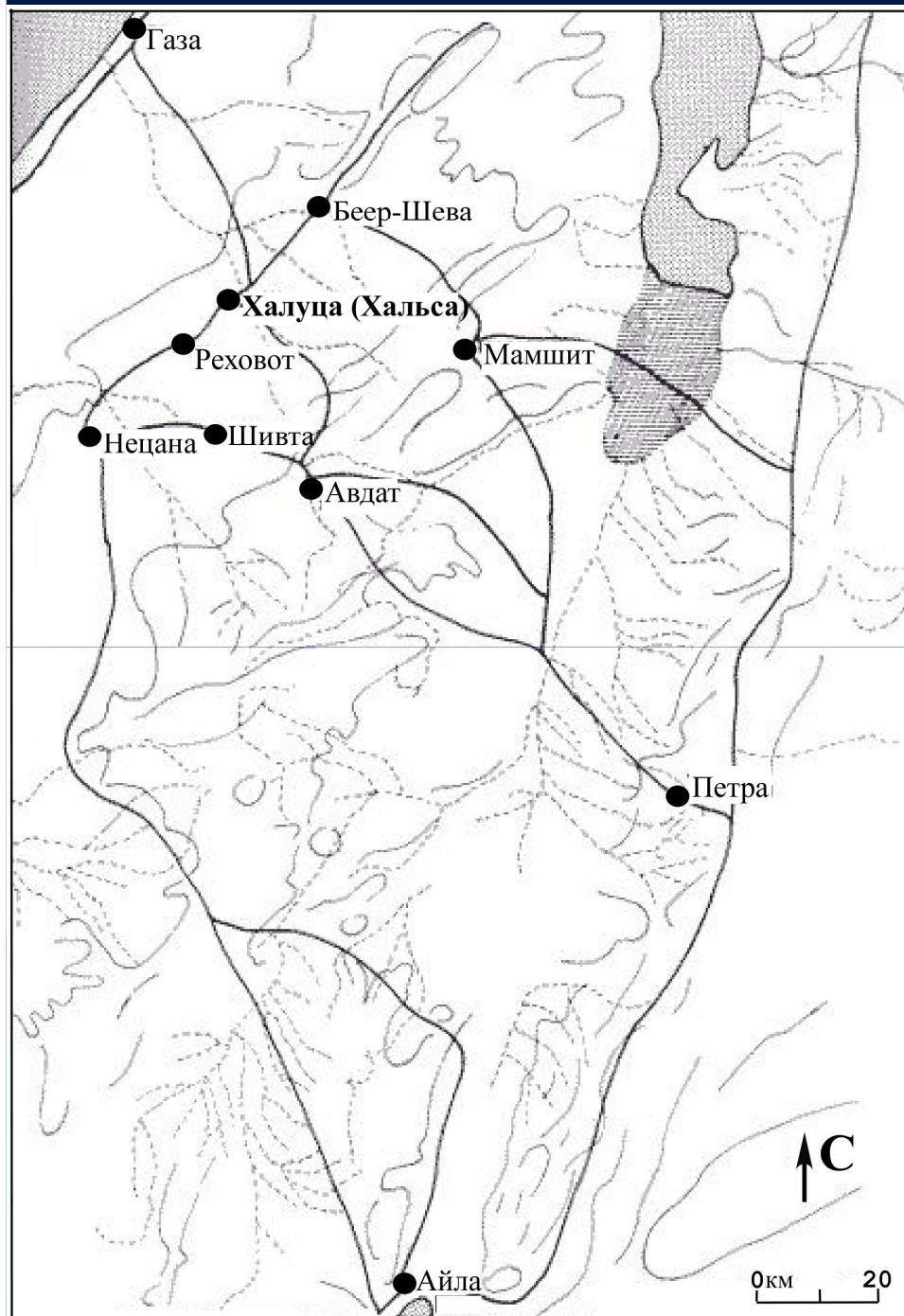
Типы сейсмических повреждений
в руинах городов II-VII веков
в пустыне Негев,
выявленные также в развалинах
поселка Хальса 110-летнего возраста

А.М. Корженков¹, Э. Мазор²

1. Институт физики Земли РАН, Москва; e-mail: amkor61@yandex.ru

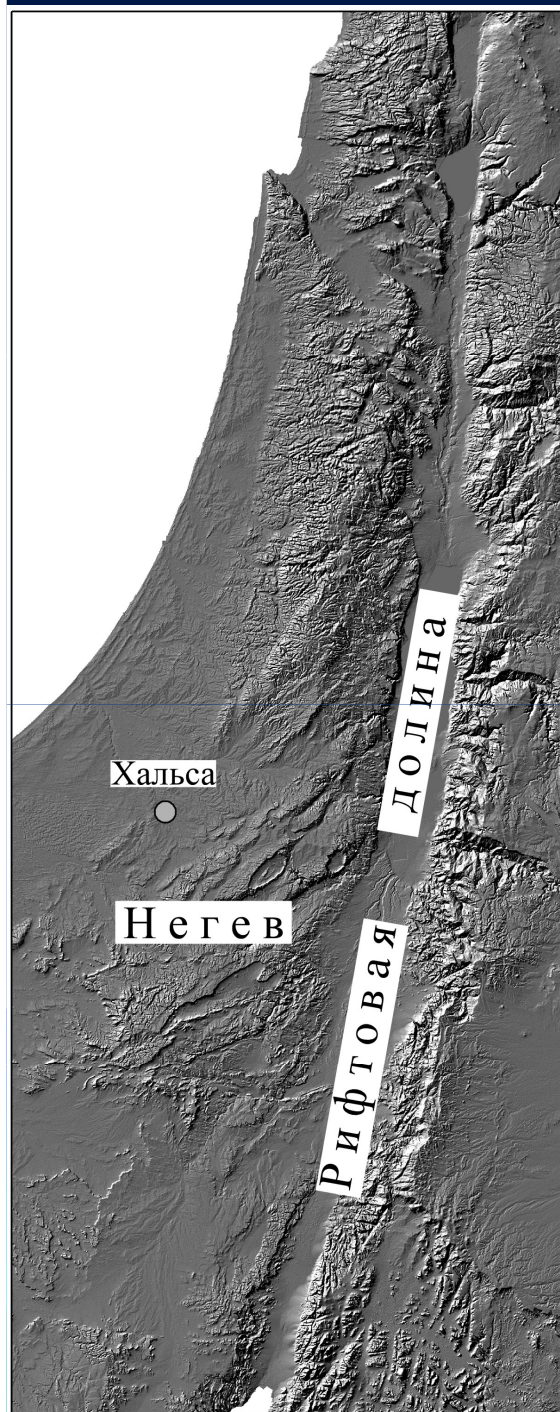
2. НИИ им. Вейцмана, Реховот; e-mail: emanuel.mazor@weizmann.ac.il





Древние города пустыни Негев и основные торговые пути.

Использована карта с сайта
<http://www.nabateans.org/israel.htm>,
с изменениями



Месторасположение деревни Хальса.

Рифтовая долина является сегментом Великой рифтовой долины, которая протягивается от Восточной Африки до Турции. Ширина долины в этом сегменте около 10 км, а молодые отложения выполняют эту долину до глубины более 10 км. Формирование долины началось 20 млн. лет назад.

Края расходящихся (к востоку) Иорданско-Аравийской и (к западу) Негев-Синайской плит приподняты; Хальса расположена на высокоподнятом плоскогорье Негева. Современные сейсмические службы регистрируют в основном события малой интенсивности вдоль Рифтовой долины, и еще слабые и редкие события в Негеве.

Тем не менее, археосейсмологические исследования выявили здесь ряд опустошающих землетрясений, произошедших во II – VII веках н.э. Приведенной в данной статье исследование было проведено в Хальсе 110-летнего возраста



Карта Бедуинской Хальсы, вычерченная по аэрофотоснимку

1 – строения (вне масштаба),
2 – колодцы,
3 – Шоссе № 222,
4 – грунтовые дороги,
5 – русла сухих рек,
6 – схематический контур Набатийско-Римско-Византийского города Халуца.
Номера на карте соответствуют точкам наблюдения



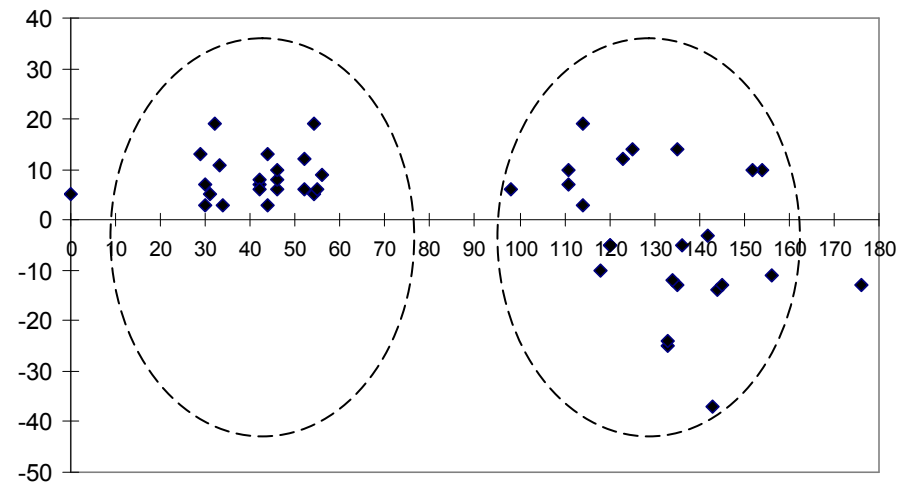
Обрушения стен в Хальсе.

(а) Часть СВ стены здания 3 с азимутом простираения 34° упала к СЗ на расстояния 2,7 м.

(б) Диаграмма. Систематическое обрушение к СЗ, которое было отмечено для стен с СВ (25° - 55°) простираением. В то же самое время, стены с ЮВ (110° - 145°) простираением обрушались в обе стороны.

Эти наблюдения свидетельствуют, что воздействие сейсмических движений происходило вдоль СЗ-ЮВ оси

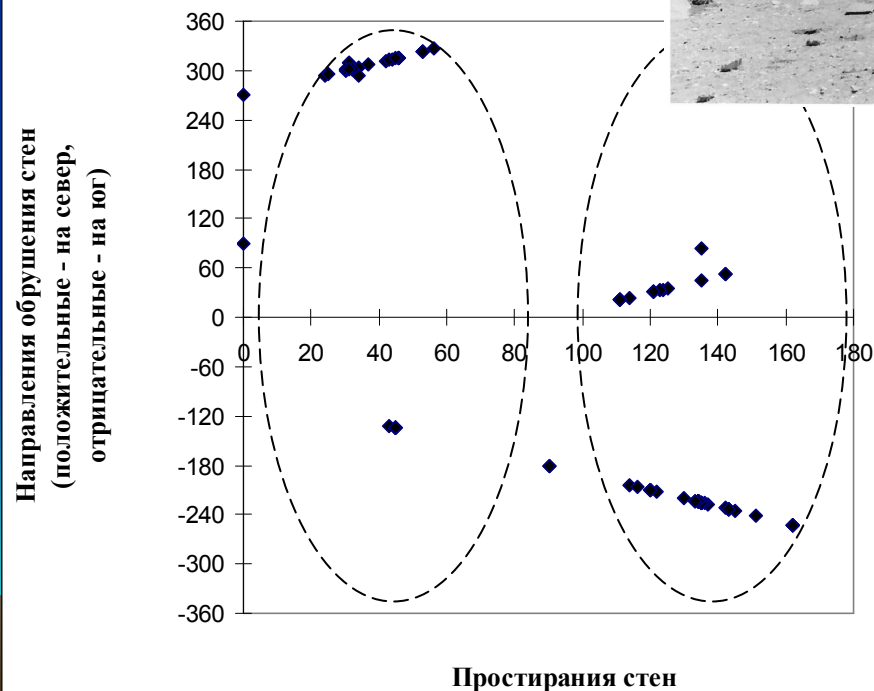
Углы наклона (положительные - к северу, отрицательные - к югу)



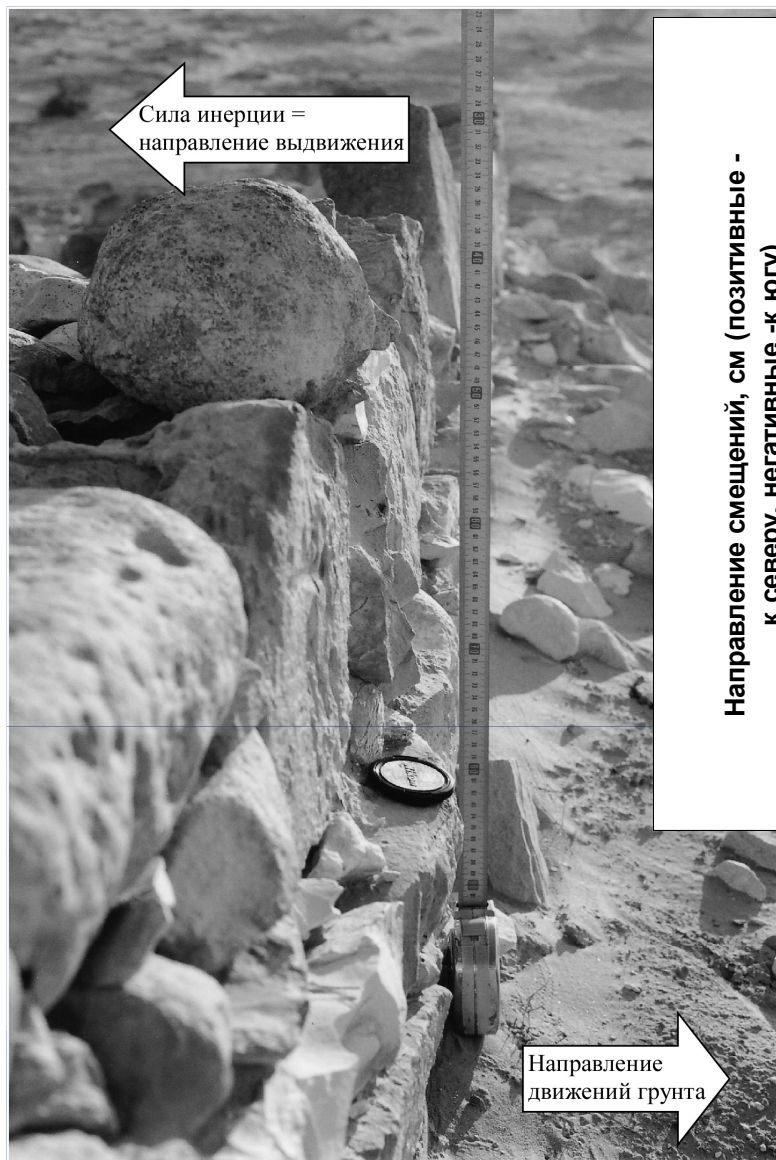
Простираение стен

Обрушения стен в Хальсе

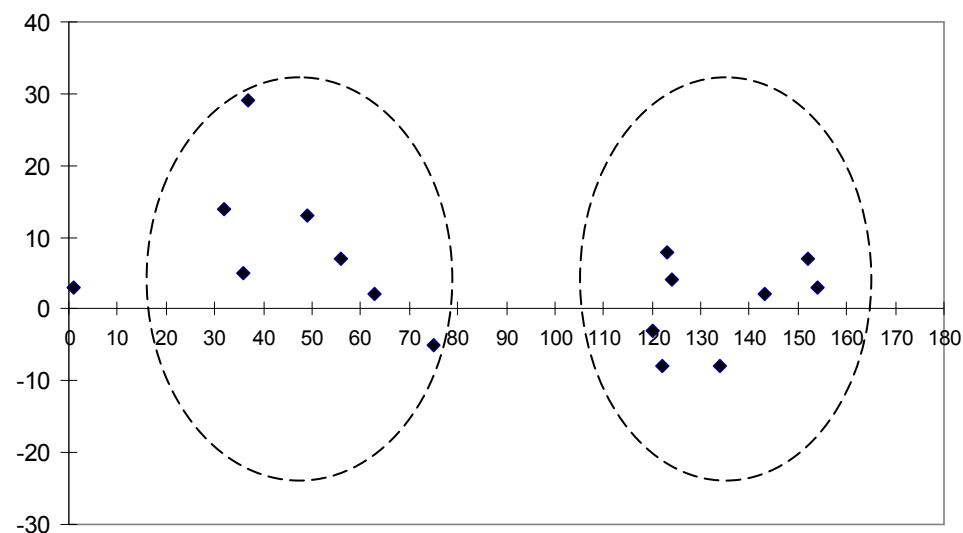
(а) Часть СВ стены здания 3 с азимутом простираения 34° упала к СЗ на расстоянии 2,7 м.



(б) Диаграмма. Систематическое обрушение к СЗ, которое было отмечено для стен с СВ (25° - 55°) простираением. В то же самое время, стены с ЮВ (110° - 145°) простираением обрушались в обе стороны. Эти наблюдения свидетельствуют, что воздействие сейсмических движений происходило вдоль СЗ-ЮВ оси.



Направление смещений, см (положительные - к северу, отрицательные - к югу)

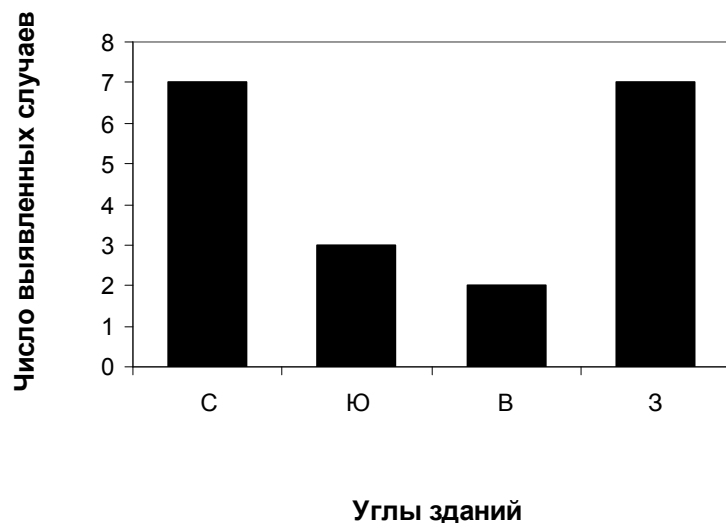


Простираие стен

Смещение фрагментов стен в Турецко-Британской Хальсе. (а) Верхний фрагмент сохранившей части СВ стены (азимут простираия 46° , точка наблюдения 15) была смещена к СЗ в горизонтальном направлении на 7 см.

(б) Диаграмма. Стена с СВ (30° - 65°) простираием демонстрируют систематические смещения их фрагментов в СЗ направлении. Фрагменты стен с перпендикулярным простираием (120° - 155°) выдвигались из стены в обоих направлениях. Эти наблюдения указывают, что сейсмические движения, вызвавшие этот тип деформаций, действовали вдоль СЗ-ЮВ оси

Деформации углов зданий в Турецко-Британских постройках Бедуинской Хальсы. Северный угол здания 3 в его верхней и нижней (б) частях почти вывалился. (в) Диаграмма, показывающая, что максимальное число выявленных случаев деформированных углов отмечено для северных и западных частей сооружений. Деформации в южных и восточных углах менее распространены. Эти наблюдения указывают, что направление действия сейсмических движений было вдоль СЗ-ЮВ оси





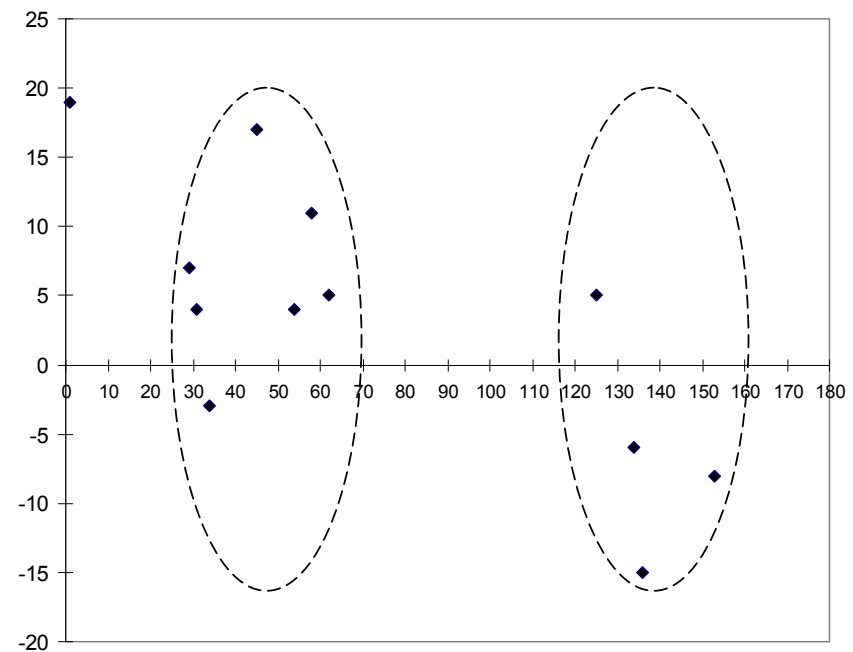
Систематические вращения в стенах Бедуинских построек Хальсы.

(а) Нижняя часть стены (азимут простирания 29°) здания 24 была повернута по часовой стрелке на 7° .

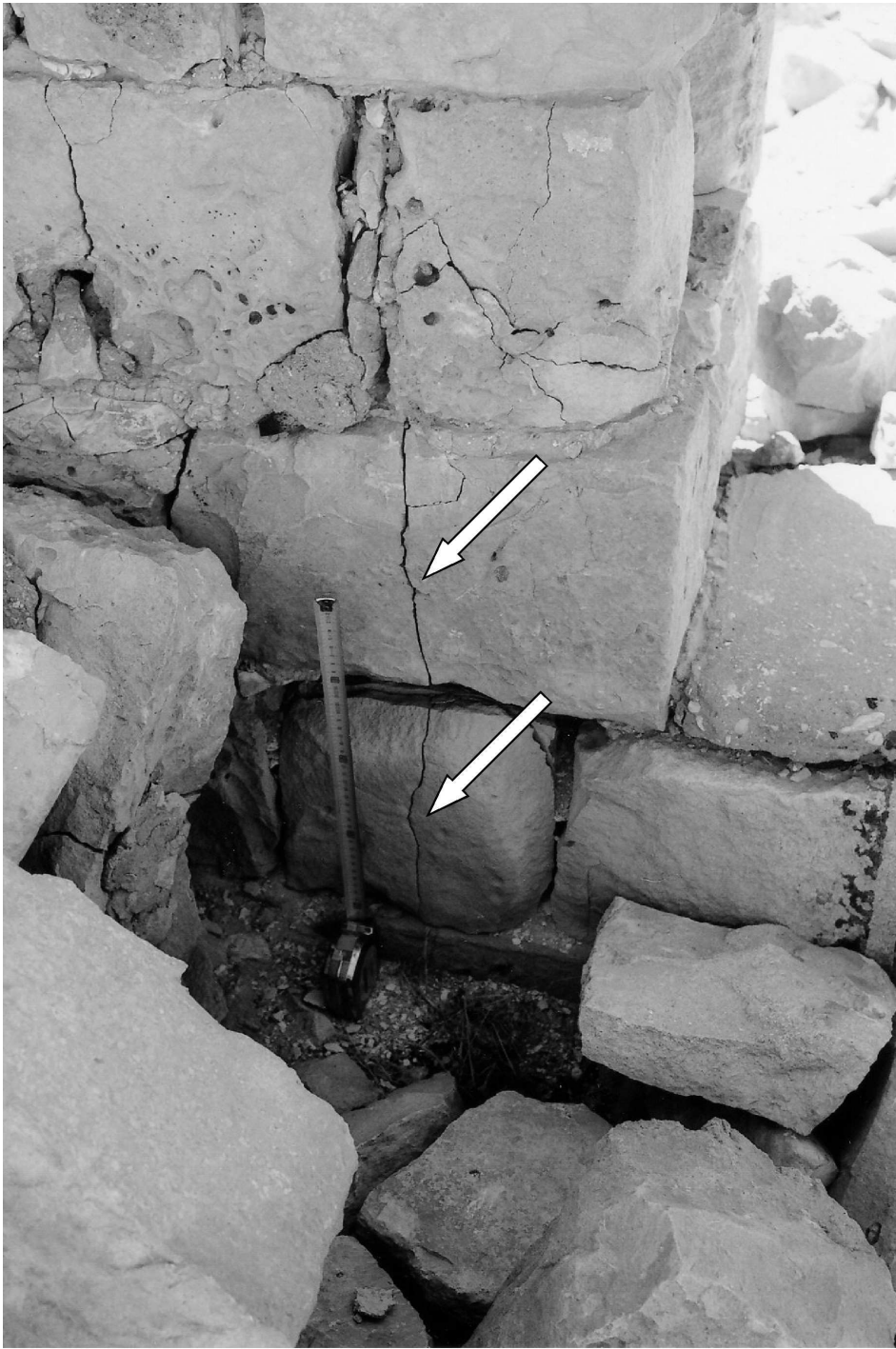
(б) Диаграмма, показывающая, что стены с СВ простиранием (25° - 60°) повернулись по часовой стрелке, в то время как стены ЮВ направления (130° - 150°) были повернуты против часовой стрелки.

Эти наблюдения свидетельствуют, что сейсмические толчки были под углом к стенам обоих направлений: вдоль ЗСЗ-ВЮВ оси.

Вращения элементов зданий, град. (положительные - по час. стрелке, отрицательные - против час. стрелки)



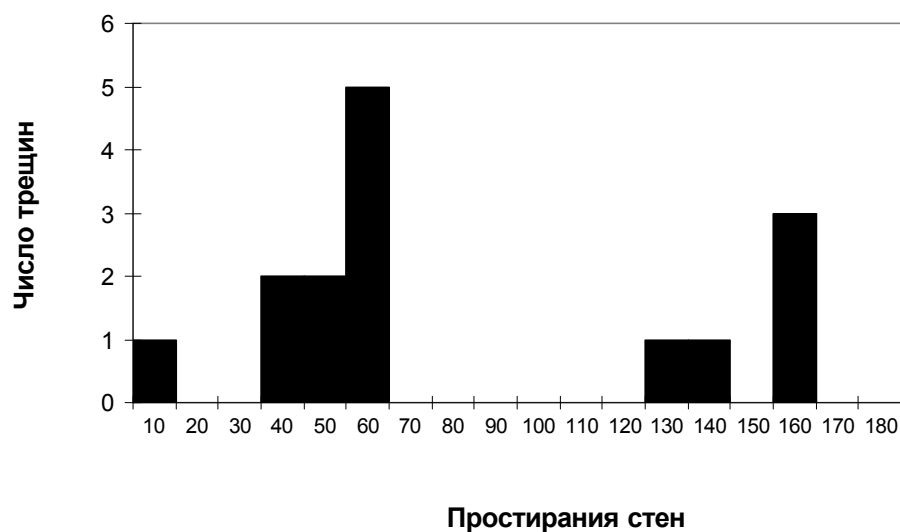
Простирания стен



- **Сквозная трещина в СВ стене**
- (азимут простираения 52°)
Полицейского участка сечет два соседних каменных блока (показана стрелками). Для появления подобной трещины требуется разрядка энергии значительной величины. Длина трещины 61 см.



Длинные сквозные трещины, секущие целиком целые стены в Бедуинской Хальсе. (а) Стена с азимутом простираения 152° в здании 1 рассечена тремя протяженными трещинами (показаны стрелками). Все они простираются от нижней части стены до ее верхней сохранившейся части. Ширина раскрытия этих трещин до 3,5 см. (б) Диаграмма, показывающая, что растрескивание стен определенного направления имеет систематический характер: стены с СВ простираением (40° - 60°) имеют максимальное число трещин; в перпендикулярных стенах было выявлено меньшее количество трещин. Данные наблюдения показывают, что сейсмические колебания были направлены перпендикулярно стенам СВ направления, то есть, вдоль СЗ-ЮВ оси



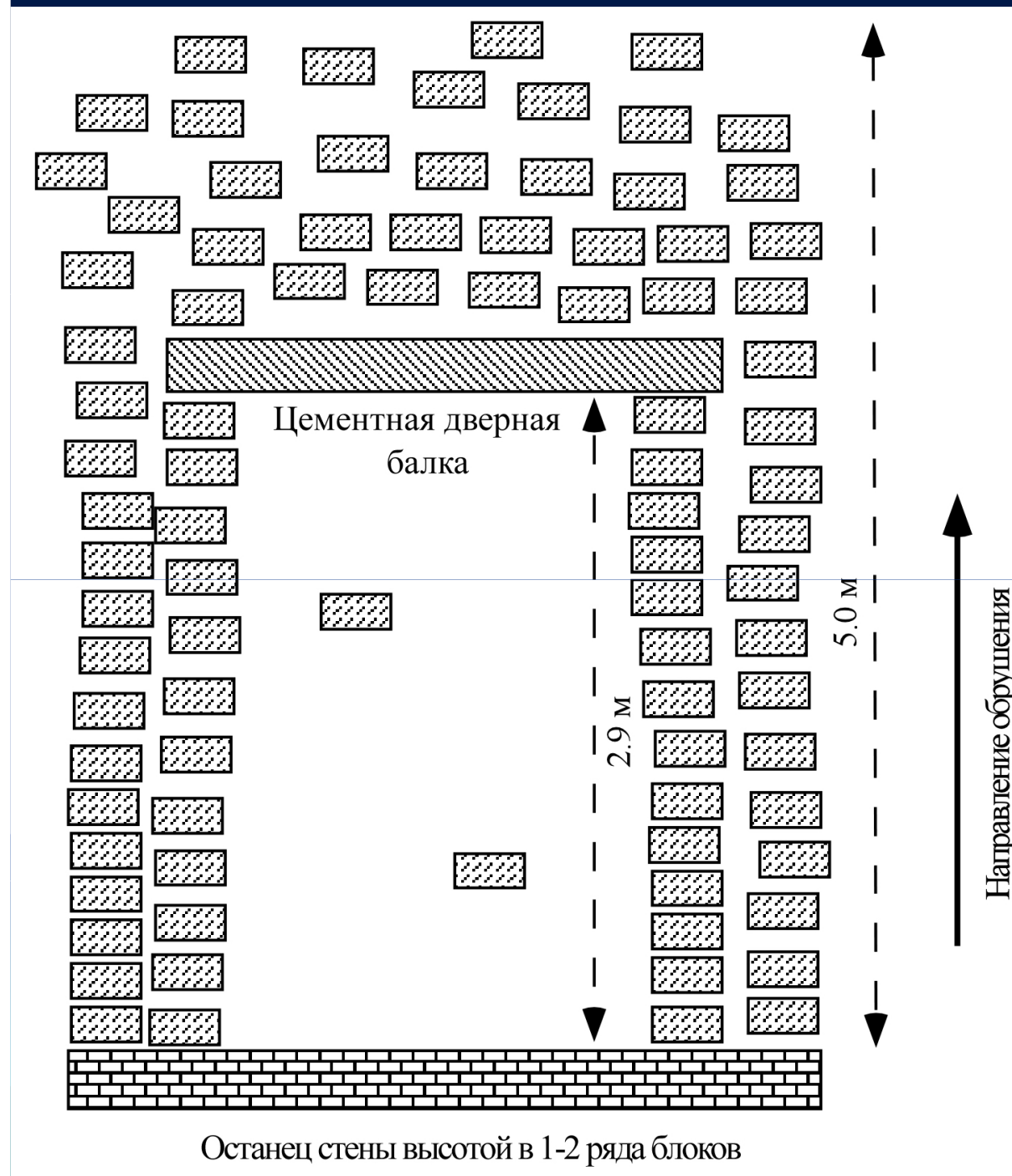
Трещины, секущие дверные и оконные каменные балки в Бедуинской Хальсе. (а) Все три каменные балки над окнами и дверь в северной стене (азимут простирания 90°) комнаты здания 22 треснули (трещины показаны стрелками)



Диаграмма, показывающая, что стены ВЮВ направления имеют максимальное количество трещин в каменных балках, оконные и дверные балки в стенах перпендикулярного направления имеют меньше трещин

Расположение строительных блоков в упавшей стене в виде костяшек домино

во дворе здания 20. Стена обрушалась целиком; её дезинтеграция произошла лишь при ударе о грунт, поэтому в настоящее время можно наблюдать на земле регулярное расположение строительных блоков. Максимально каменные блоки были отброшены на расстояние в 5 м (высота стен обычно не превышает 3 м), а цементная балка была отброшена на 2,9 м (при её первоначальной высоте 2 м или менее)



Полицейский участок в Турецко-Британском поселке Хальса.
Две значительные цистерны для воды находятся близ восточного
угла СВ стены. Одна из них упала в СВ (52°) направлении.
Отметим, что часть СВ стены обрушилась к СВ вместе с цистерной



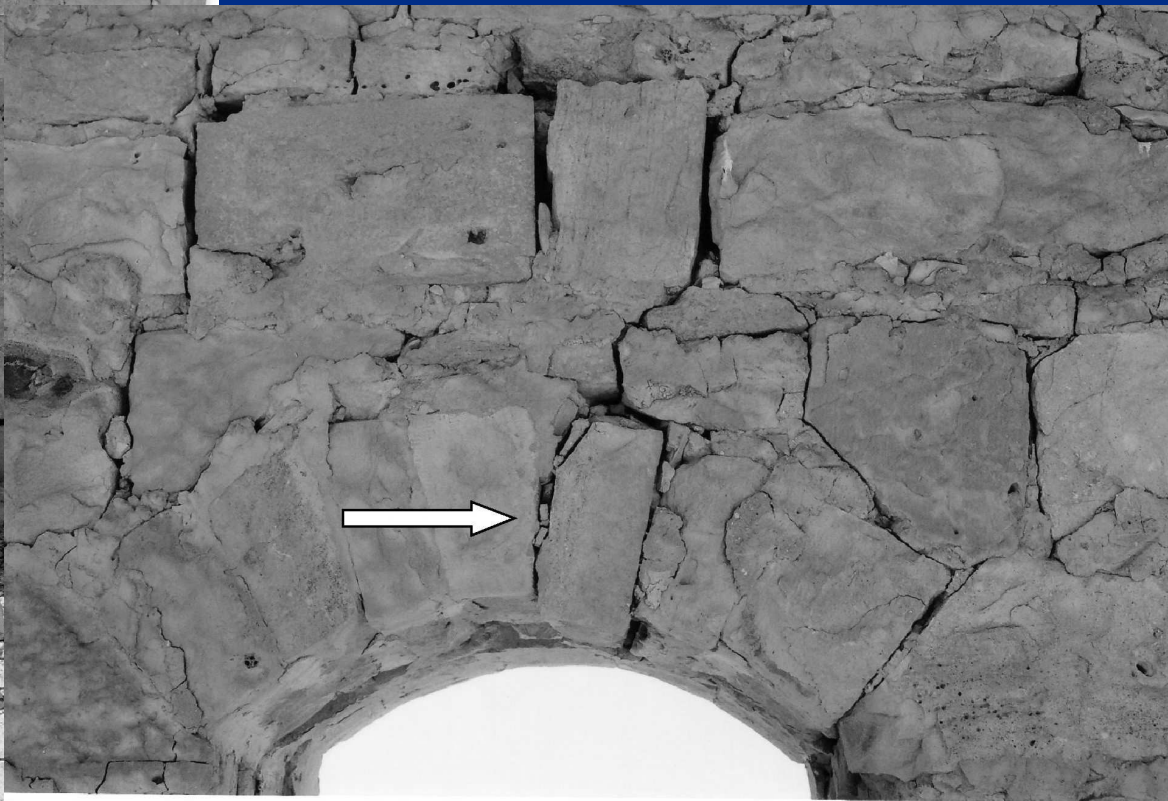
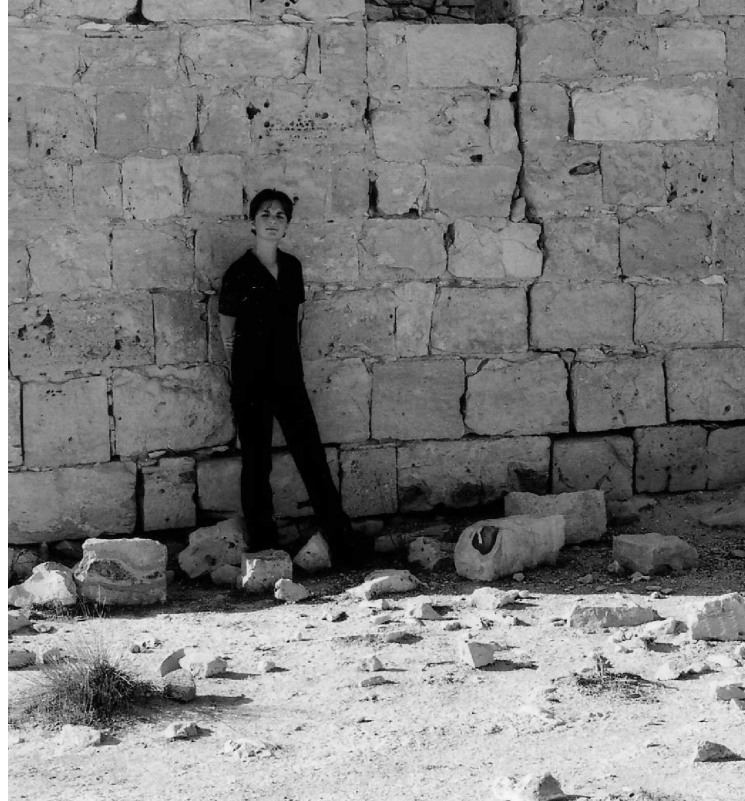
Почти полностью разрушенный Бедуинский дом

(точка наблюдения 8); азимут простирания сохранившейся стены 134°. Этот пример может означать, что сейсмические движения действовали вдоль СЗ-ЮВ оси – параллельно простиранию этой стены

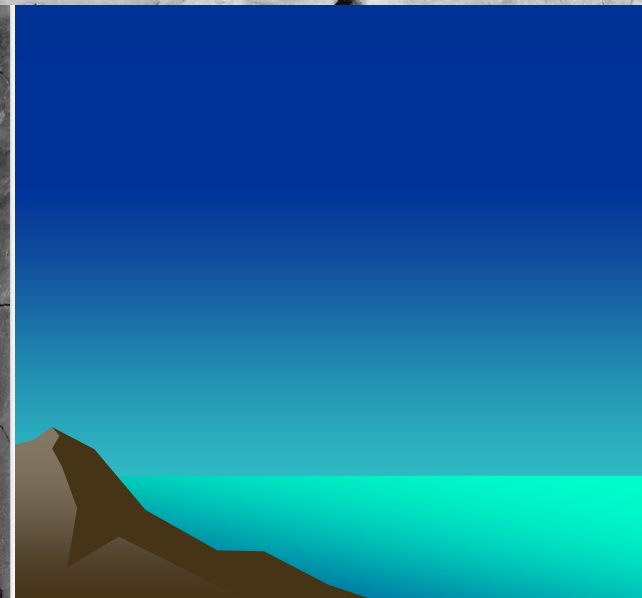


Провисшие замковые каменные блоки в оконных арках Полицейского участка: (а) в СЗ стене; (б) в ЮВ стене. Простирание арок - 52° .

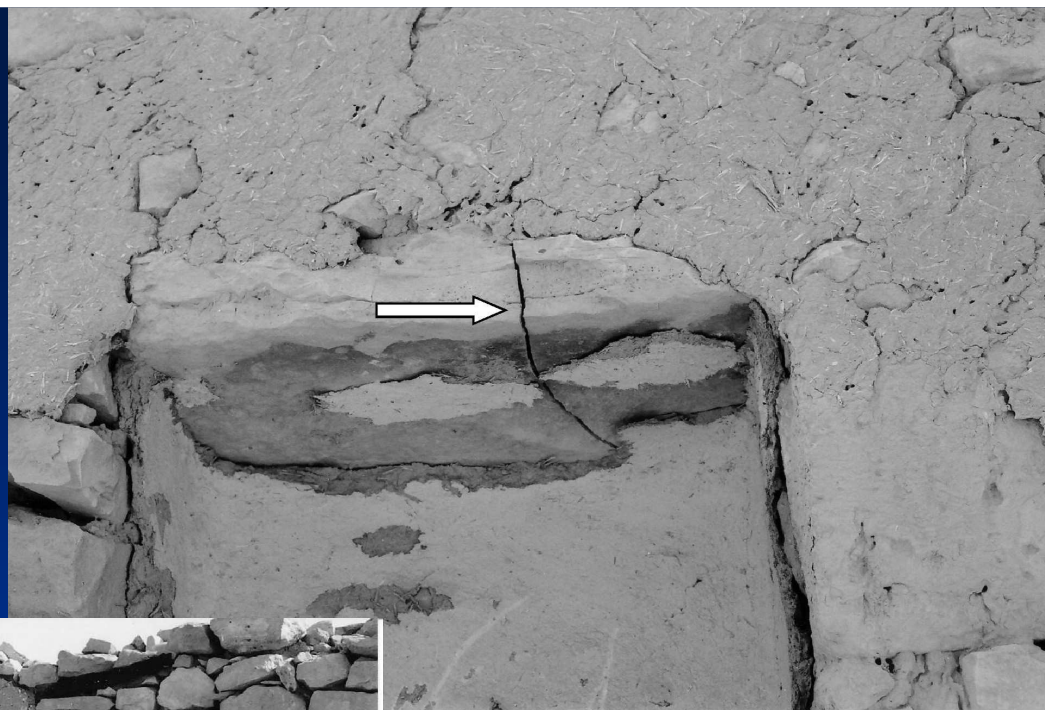
Эти примеры свидетельствуют, что распространение сейсмических волн, вызвавших деформацию, должно было быть параллельным простиранию арок. Отметим сквозную трещину через все стену; она проходит справа от провисшего блока



(в) Ремонт скобами и
(г) закладка оконных
проемов кирпичами в
ЮЗ стене
полицейского участка
для предотвращения
возможного будущего
разрушения



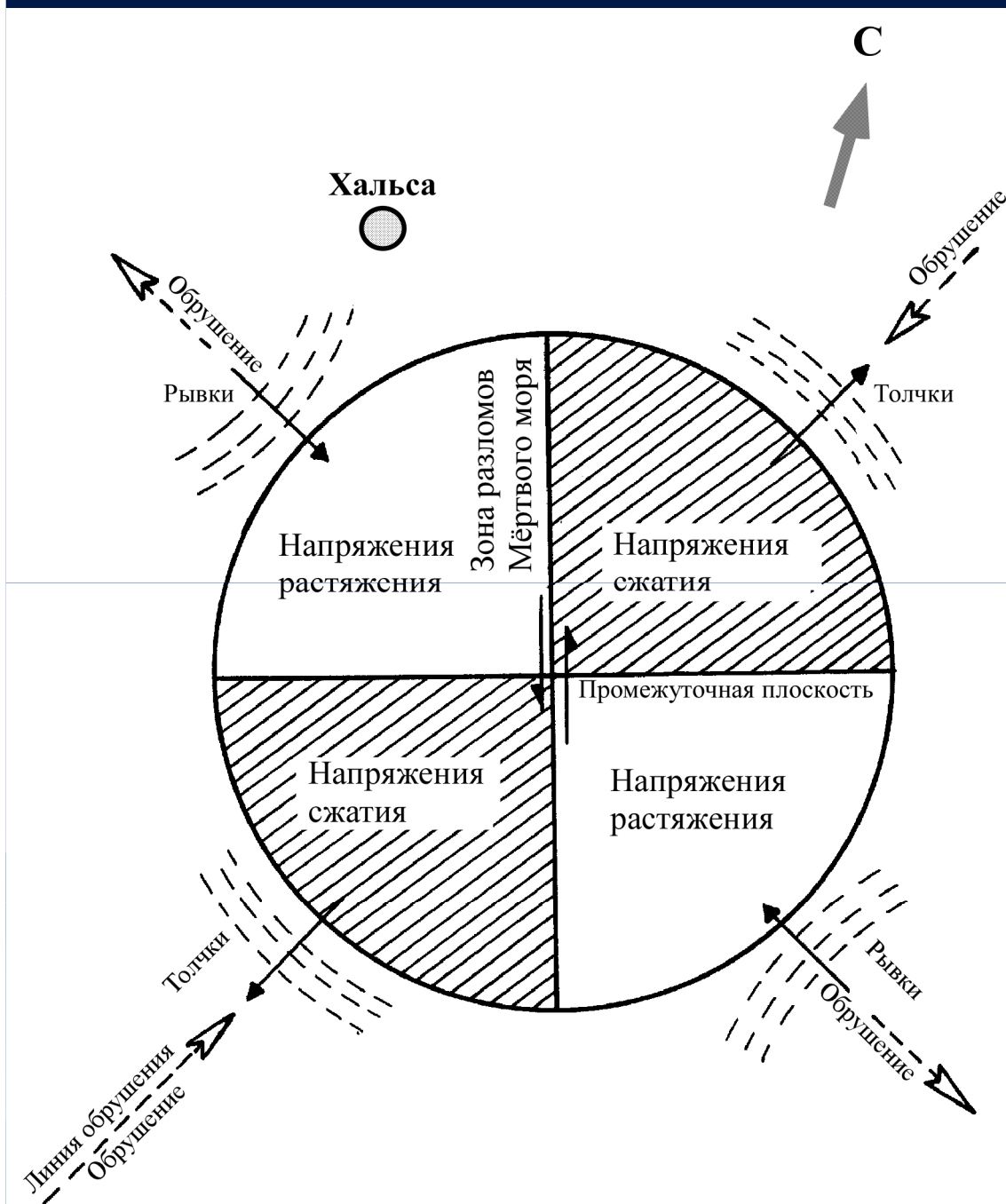
Блокирование дверных и оконных проемов в зданиях Хальсы. (а) Бывший широкий вход во двор (точка наблюдения 21) был заложен каменными блоками. Обратите внимание на треснутую бетонную балку над входом (показана стрелками) – вход был заблокирован для предотвращения его возможного будущего обрушения.



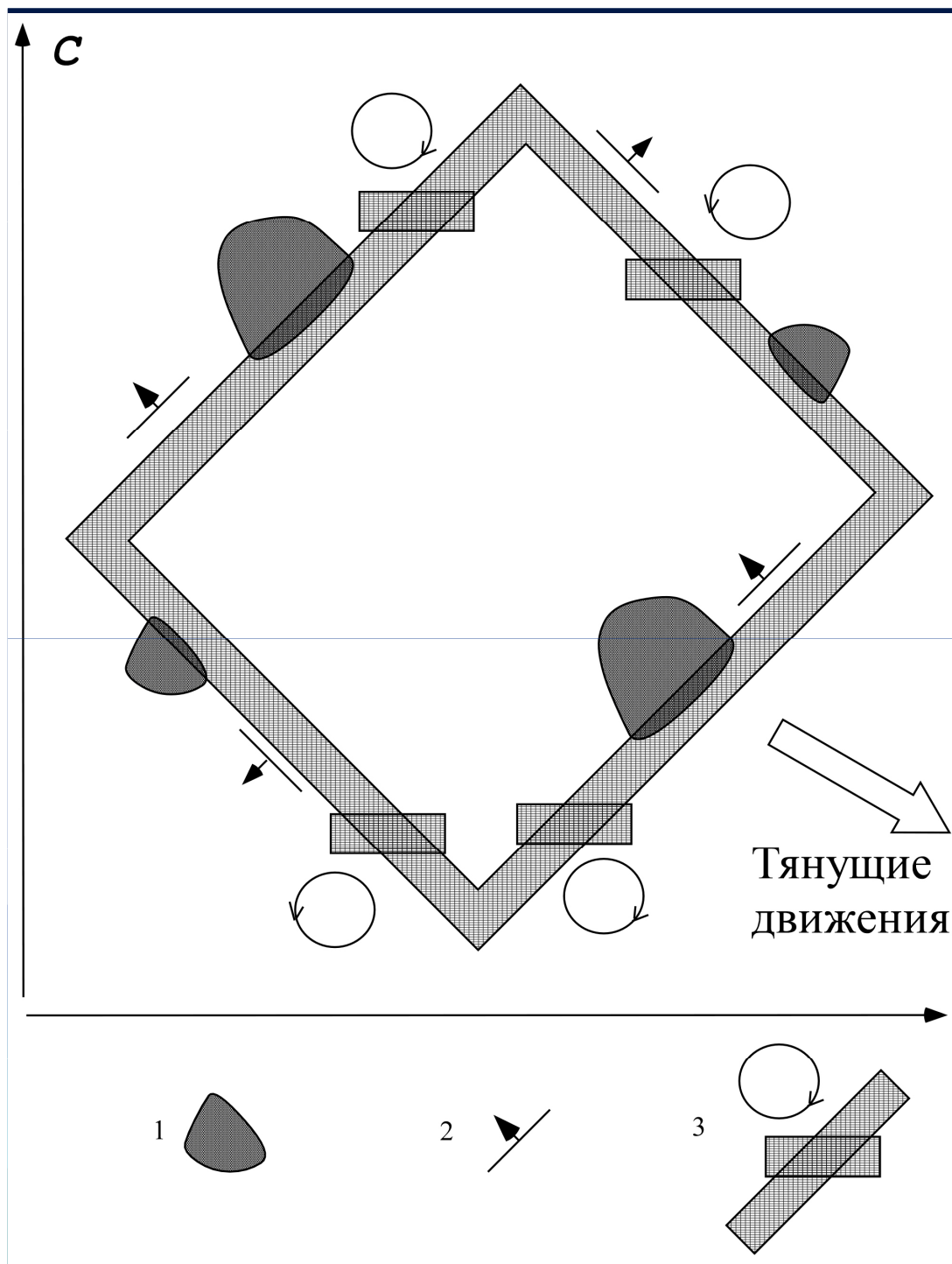
(б) Окно было заблокировано в связи с трещиной в каменной балке над оконным проемом (показана стрелкой) в соседнем дворе

Последствия Турецкого землетрясения 1999 г. с $M=7,6$
(Фото Эрхана Алтунеля)





- Направление тянущих сейсмических движений, исходящих из очага землетрясения, определенное на базе наблюдаемых усредненных направлений наклонов, смещений и обрушений стен к СЗ.
- (а) Местоположение Хальсы относительно зоны разломов Мертвого моря. Хальса находится в тетрагонали растягивающих напряжений, вызванных тянущими движениями, исходящими от Акабского землетрясения 1995 г.



Модель, объясняющая наблюдаемые сейсмические повреждения в Хальсе:

1 – обрушение стен,
2 – наклон и смещение
фрагментов стен ,
3 – вращение
фрагментов стен,
показано направление
их вращения (по или
против часовой стрелки)

- **Заключение**

- Археосейсмологические свидетельства в Хальсе указывают, что деревня была в значительной степени разрушена несколько раз в период своего существования.
- Сейсмические толчки, имели место во время современных сильных землетрясений XX века.
- При последнем событии 1995 г. местная сейсмическая интенсивность достигала I = VII-(VIII) баллов (по шкале MSK),
- сейсмический эффект другого события – 1927 г. составил I=VII баллов. Эпицентр Иерихонского землетрясения 1927 г. по-видимому, располагался под дном Мертвого моря – вдоль разломов Мертвого Моря.
- Степень сейсмических повреждений в Хальсе могла быть увеличена до двух единиц шкалы MSK в связи с местными неблагоприятными грунтовыми условиями.
- Таким образом, эти результаты демонстрируют, что регион, считавшийся сейсмически безопасным, может подвергаться сильным землетрясениям с продолжительным интервалом (сотни лет) повторения сильных землетрясений.

