

УДК 550.3

**НОВЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ, ПАЛЕО- И
АРХЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ЗОНЕ СОЧЛЕНЕНИЯ
ГОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ БОЛЬШОГО КАВКАЗА И КРЫМСКОГО
ПОЛУОСТРОВА**

**Рогожин Е. А., д.г.-м.н., проф., Горбатиков А. В., к.ф.-м.н.,
Овсяченко А. Н., к.г.-м.н., Корженков А. М., д.г.-м.н., Ларьков А. С.,
Андреева Н. В., Сысолин А. И.**

ИФЗ им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Введение

Несмотря на слабую современную сейсмичность, зона сочленения горных сооружений Большого Кавказа и Крыма отличается высокой тектонической активностью, которая проявлена разнообразными разрывно-складчатыми деформациями молодых отложений и форм рельефа. Им сопутствуют современные движения земной поверхности, грязевой вулканизм, перестройки речной сети и локальные ареалы аномально высокой активности процессов денудации. Основная особенность геологического строения региона – развитие многокилометровой толщи пластичных, флюидонасыщенных глинисто-песчаных кайнозойских осадков – определила формирование региональной структуры настолько необычного облика, что вопрос о её происхождении и возрасте остаётся ведущим в геологических исследованиях на протяжении всего последнего столетия.

Для решения разнообразных прикладных и теоретических задач, связанных в первую очередь с оценкой сейсмической опасности, необходима надежная геодинамическая модель, основанная на информации о строении всех активных геологических структур. При скудности инструментальных сейсмологических данных в такой ситуации на первое место выступают неотектонические, геофизические и палеосейсмологические исследования. Геолого-геофизические методы направлены на выявление проявлений тектонической активности в рельефе и молодых отложениях и изучение строения активных структур на глубине. Однако, поверхность региона за последние 2500 лет оказалась почти полностью изменена сельскохозяйственной и строительной деятельностью человека. Наряду с плохой обнаженностью, широким развитием оползней, мощным покровом плохо стратифицированных лёссовидных суглинков, регион отличается весьма активным моделированием рельефа абразионными и эрозионно-склоновыми процессами. Строение глубоких горизонтов осадочного чехла Керченско-Таманского региона сильно замаскировано мощной толщей пластичных глинистых отложений.

Перечисленные обстоятельства можно рассматривать в качестве основных причин относительно слабой изученности проявлений активной тектоники региона. В таких условиях особую важность приобретает комплексирование геологических и геофизических методов, что позволяет оценивать поведение приповерхностных структур на глубине. Кроме того, богатейшая материальная история и удивительная сохранность памятников древности самых различных эпох, даёт возможность

полноценного использования в рассматриваемом регионе методов архео- и исторической сейсмологии.

Палеосейсмологический подход основан на том, что сильнейшие землетрясения далёкого, часто доисторического прошлого оставляют на поверхности геологические следы – палеосейсмодислокации [Флоренсов, 1960; Солоненко 1962]. Это положение имеет фундаментальное значение в оценке сейсмической опасности, т. к. по следам древних землетрясений возможно выявление очагов сильных землетрясений будущего. Основная задача таких исследований сводится к выявлению и изучению всех возможных следов сейсмогенной активизации в молодых отложениях и формах рельефа – первичных сеймотектонических разрывов, разжижений грунта, оползней, обвалов и т. п. [Палеосейсмология, 2011, Рогожин, 2012].

Методы архео- и исторической сейсмологии, направленные на выявление и параметризацию сейсмических событий путём анализа архитектурных и литературных памятников древности. Распознавание сейсмической природы повреждений архитектурных памятников наиболее достоверно при выявлении преимущественно ориентированного обрушения и деформирования строительных элементов. Систематические наклоны, выдвигания, обрушения, повороты элементов древних строительных конструкций, характерные для стен определенных простираний, представляют собой кинематические индикаторы характера деформаций [Korzhenkov, Mazor, 1999; Корженков, Мазор, 2001 и др.].

Геофизические исследования были выполнены методом микросейсмического зондирования (ММЗ) – разработанный и запатентованный в ИФЗ РАН метод сейсморазведки [Горбатиков и др., 2008]. В качестве зондирующего сигнала метод использует фоновые колебания поверхности Земли и искажение амплитудного поля при взаимодействии со скоростными неоднородностями. Распределения амплитудной реакции неоднородностей на облучение микросейсмическими волнами позволяют выявлять конфигурацию как субвертикальных, так и субгоризонтальных скоростных границ на глубину до 60 км. Геологические объекты со сравнительно высокими сейсмическими скоростями проявляются в микросейсмическом поле как зоны с пониженными амплитудами, в то время как структуры с более низкими скоростями проявляются как области с повышенными амплитудами. На полученных разрезах отрицательные значения вариаций отвечают уменьшению скоростей поперечных сейсмических по сравнению со средней скоростной моделью в этом месте разреза региона и наоборот.

Принципиально новым в методических приемах обнаружения следов древних землетрясений является применяемый авторами данной статьи комплексный подход к использованию взаимно дополняющих друг друга методов палео- и архео-сейсмологии. Этот подход позволяет существенно расширить возможности оценки сейсмической опасности в детальном масштабе для недостаточно хорошо изученных регионов.

Результаты исследований

Основное внимание было уделено активным разломам, демонстрирующим следы сеймотектонических подвижек и ассоциируемым с выходом очагов сильных землетрясений на поверхность. По результатам исследований составлена карта активных разломов – очагов сильных землетрясений (рис. 1, 2).

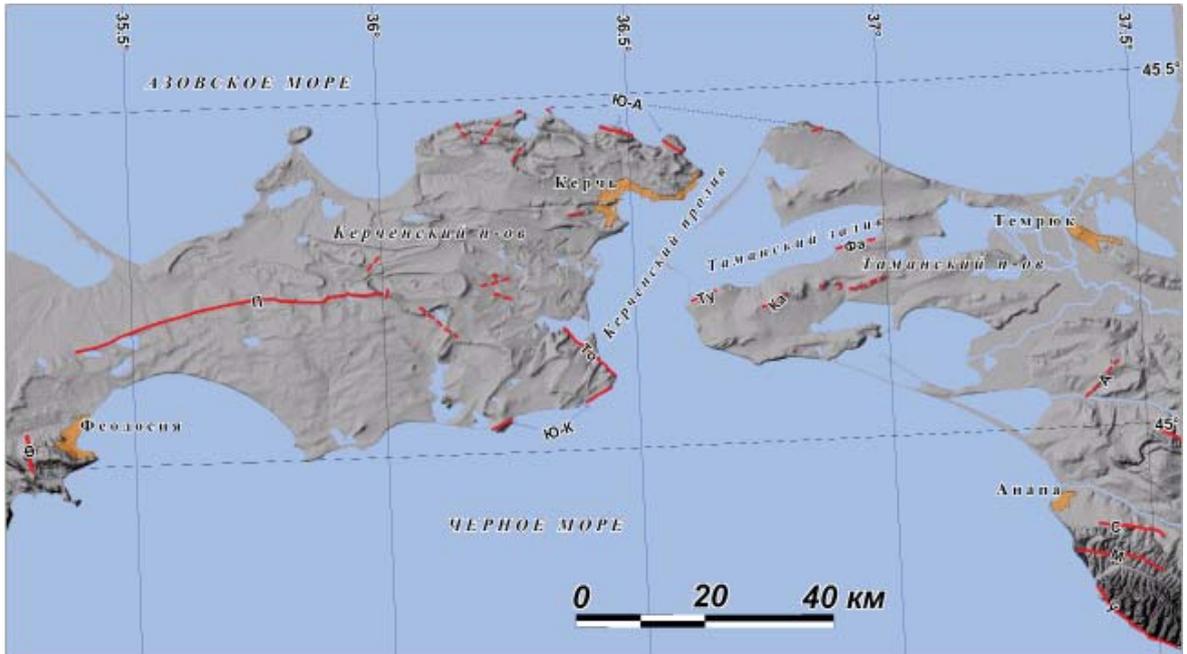


Рис. 1. Карта активных разломов зоны сочленения горных сооружений Большого Кавказа и Крыма

Сплошные линии – активные разломы с изученными следами сеймотектонических подвижек прошлого (Ф – Феодосийский; Ю – сегменты Южно-Азовского разлома; П – Парпачский; То – Тобечикский; Ю-К – сегменты Южно-Керченского разлома; У – Утришский; С – Супсекский; М – Марфовский); пунктирные – по структурно-геоморфологическим данным, связанные с грязевулканической деятельностью (Ка – Карабетовский), флексурные изгибы четвертичных отложений (Ту – Тузлинская, Фа – Фанагорийская, А – Анапская флексуры).

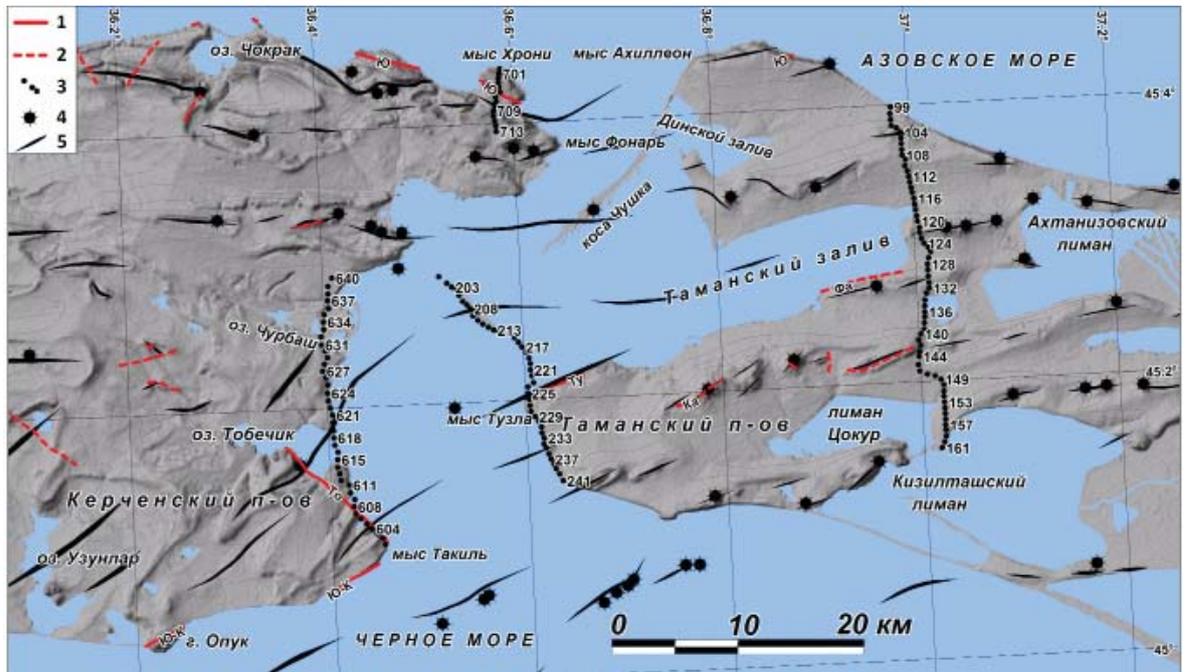


Рис. 2. Карта расположения геофизических профилей ММЗ.

1, 2, – см. рис. 1; 3 – точки геофизических профилей ММЗ; 4 – грязевые вулканы; 5 – оси антиклинальных складок деформирующих верхнемиоцен-плиоценовые отложения

Частично материалы палеосейсмологического изучения Южно-Азовского, Парпачского, Тобечикского, Феодосийского и Южно-Керченского активных разломов рассмотрены ранее [Овсюченко и др., 2015; 2017а; 2017б]. Более подробно ранее были рассмотрены результаты палеосейсмологического изучения Утришского, Супсехского и Марфовского активных разломов в районе Анапы [Рогожин и др., 2014]. С помощью ММЗ изучено глубинное строение ряда зон выделенных разломов на Таманском и Керченском п-овах [Рогожин, Горбатиков, 2015]. Для Южно-Азовского, Тобечикского активных разломов и Фанагорийской флексуры получено подтверждение их проникновения в глубокие недра.

По данным ММЗ в зоне Тобечикского разлома выявлено вертикальное смещение подошвы верхнего низкоскоростного комплекса, ассоциируемого с майкопской серией (олигоцен-миоцен), примерно на 1 км (рис. 3). Разлом был прослежен в рельефе и молодых отложениях от мыса Такиль до южного берега озера Тобечик (рис. 4). В морфоструктурном отношении он ограничивает приподнятый блок на юго-востоке Керченского п-ова с опущенными участками современного осадконакопления оз. Тобечик и Керченского пролива. Молодые тектонические смещения были обнаружены в четырех местах на простирании разлома протяженностью около 11 км. На крайнем юго-востоке полуострова (мыс Такиль) был обнаружен ветвящийся сдвиговый разрыв (сеймотектонический ров с погребенной палеопочвой). В урочище Печка задокументирован молодой надвиг, проникающий в позднеплейстоцен-голоценовые лёссы и почвенный покров [Овсюченко и др., 2017б]. Уже в 1.5 км к северо-западу от урочища Печка, в районе Акры, задокументирован позднеголоценовый сдвиг-сброс с опущенным северо-восточным крылом (рис. 5). О преобладании сдвиговой компоненты свидетельствуют ориентировка борозд скольжения и соприкосновение по разрывам разных фациальных разностей одних и тех же слоев, включая позднеголоценовые покровные отложения. По данным ММЗ разлом на этом участке на глубину порядка 8 км он имеет сбросовую морфологию с крутым падением на север и опущенным северо-восточным крылом. Изменчивость кинематики смещений в молодых отложениях связана с преобладанием сдвиговой компоненты смещений по разлому, не обнаруживаемой на геофизическом разрезе. Кроме того, в условиях Керченско-Таманского региона сеймотектонические подвижки в недрах на уровне сейсмогенерирующего слоя оказываются, в значительной степени, преобразованы толщей пластичных майкопских глин [Овсюченко и др., 2015].

Расположенное в опущенном крыле Тобечикского разлома античное городище Акра, в отличие от Ольвии, Херсонеса, Фанагории и Патрея, полностью затоплено и закрыто прибрежными наносами. Под водой, на глубине около 3 м, обнаружены остатки оборонительной стены высотой до 1,5 м [Шилик, 1988]. На момент возведения стены к середине IV в. до н.э. этот участок был сушей [Вахонеев, 2015]. В древности городище было расположено на мысу – естественном северном продолжении прибрежного склона холма, а древняя береговая линия пролегла в 200-220 м мористее современного. Северо-восточное окончание мыса было занято городищем, а сам мыс перегорожен крепостной стеной. В настоящее время морем и озером Яныш затоплено более двух третей общей площади распространения культурного слоя [Куликов, 2004]. Удивительно хорошая сохранность подводной оборонительной стены свидетельствует о том, что она избежала длительного воздействия морских волн в волноприбойной зоне. Это даёт основание предположить,

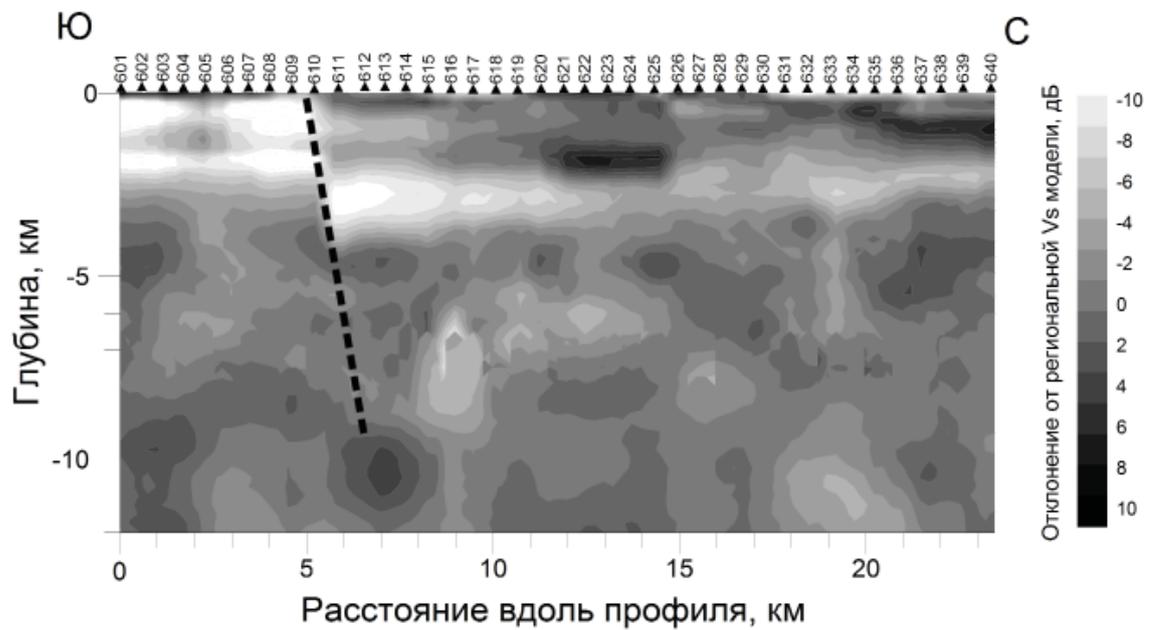


Рис. 3. Геофизический разрез ММЗ юго-восточной части Керченского п-ова (Заветное-Керчь). Штриховой линией показан Тобечикский разлом

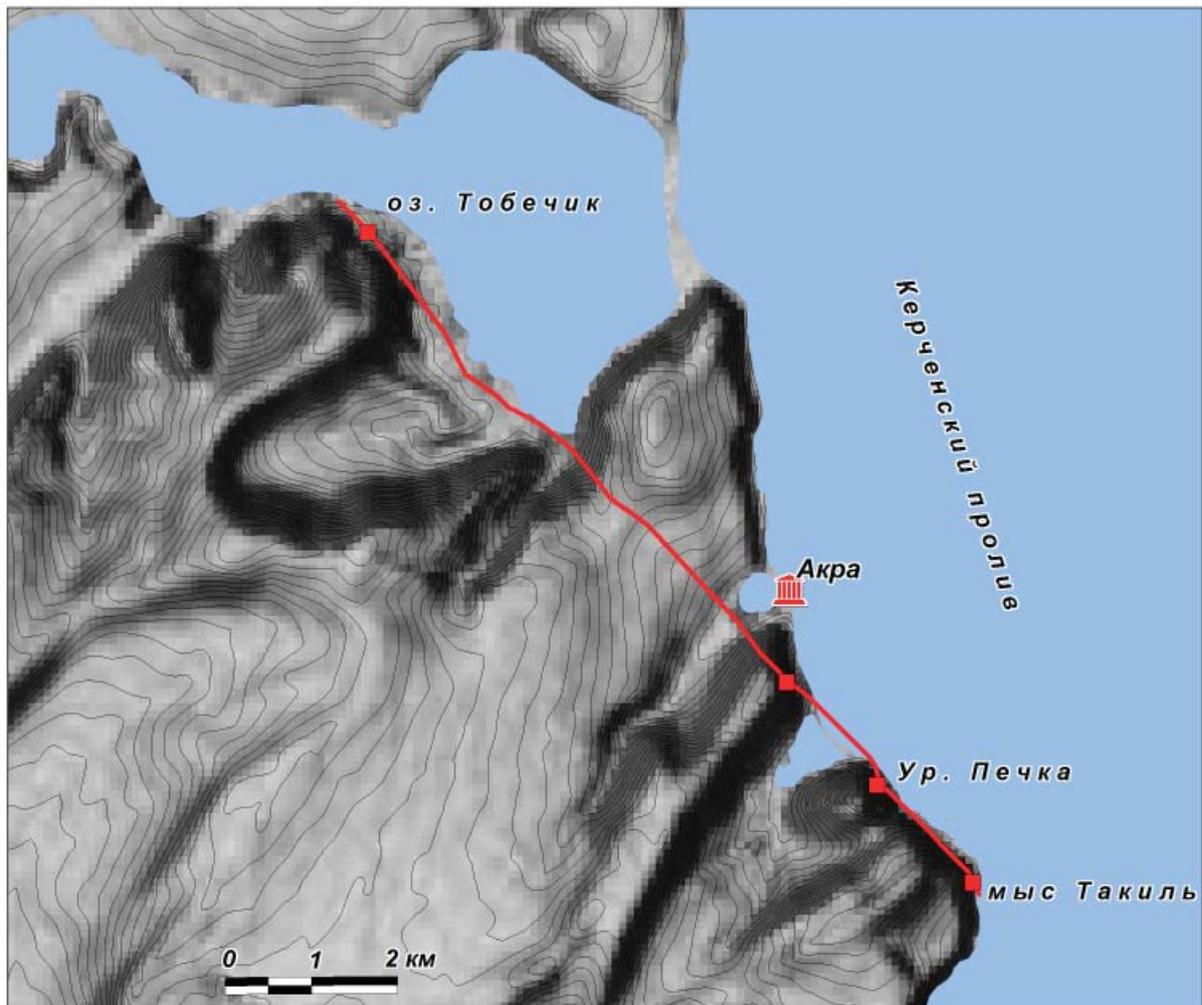


Рис. 4. Схема участков детального изучения Тобечикского разлома

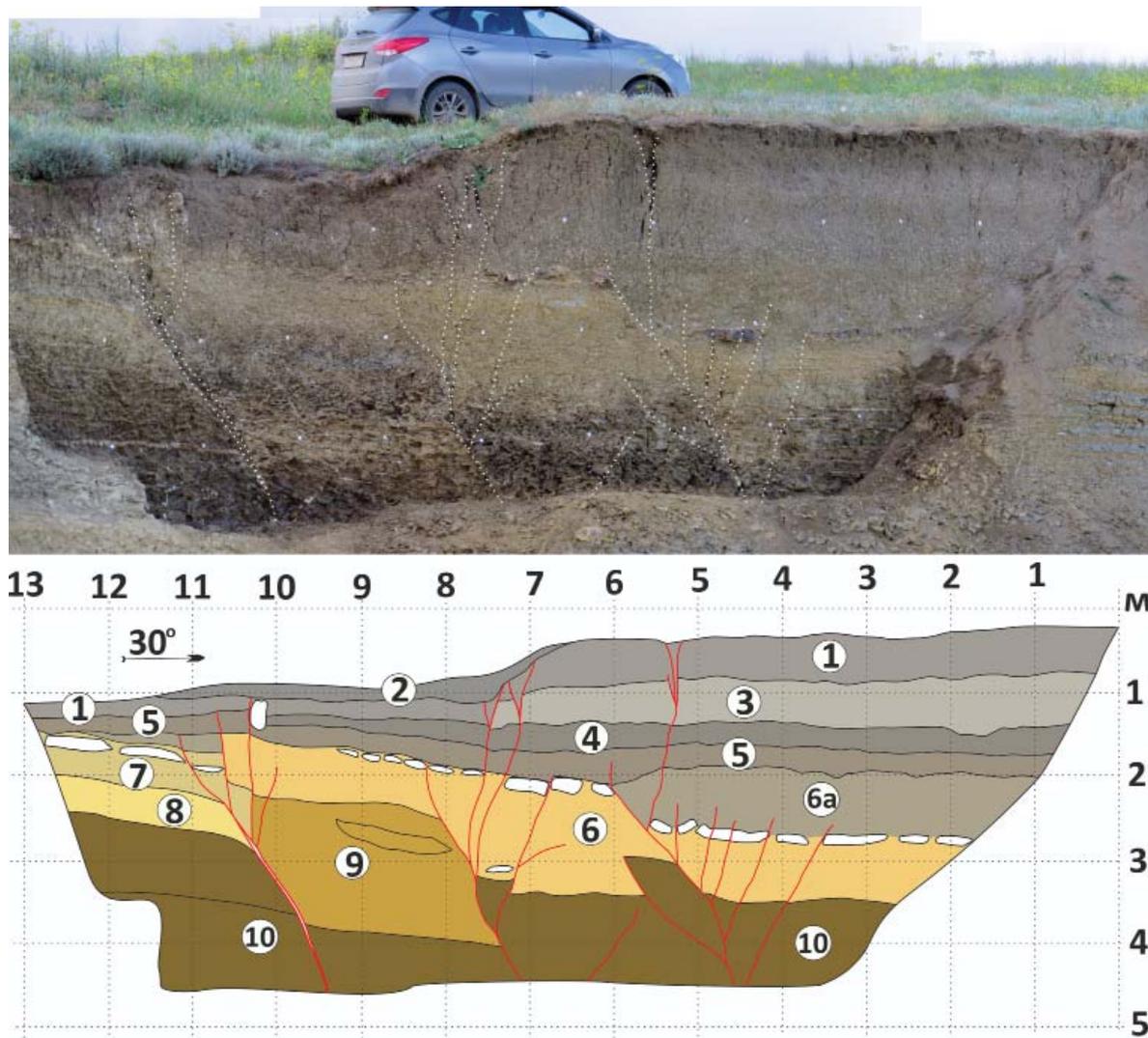


Рис. 5. Молодые тектонические разрывы в районе античного городища Акра (показаны красными линиями на разрезе). На фото пунктирные линии – разрывы. 1-5 – позднеголоценовые почвенные горизонты; 6-10 – позднемиоценовые песчано-глинистые отложения. Не покрашено – песчаники

что затопление городища произошло резко, в результате импульсной подвижки по разлому и погружении участка побережья.

Другой пример комплексного изучения можно привести на примере Тузлинской и Фанагорийской флексур. Они обе вытянуты вдоль берега Таманского залива. В четвертичных отложениях выражены изгибами слоев, тогда как миоценовые осадки смяты в антиклинальные складки. На разрезе ММЗ по профилю Вышестеблиевская – Кучугуры (рис. 6) четко выделяется близвертикальная зона пониженной прочности. Вдоль неё, в подошве «приповерхностного» низкодобротного слоя, ассоциируемого с майкопской серией, наблюдается ступень, отвечающая Фанагорийской флектуре. Аналогичная зона, не изученная в приповерхностном разрезе, наблюдается в северной части профиля.

В восточной части побережья Таманского залива Фанагорийская флексура трасируется в пределах средневекового городища Фанагория. Этот город существовал со второй половины 1-го тысячелетия до н.э. В начале X в. н.э. этот крупный тор-

Ю Вышестеблиевская-Кучугуры (№1) С

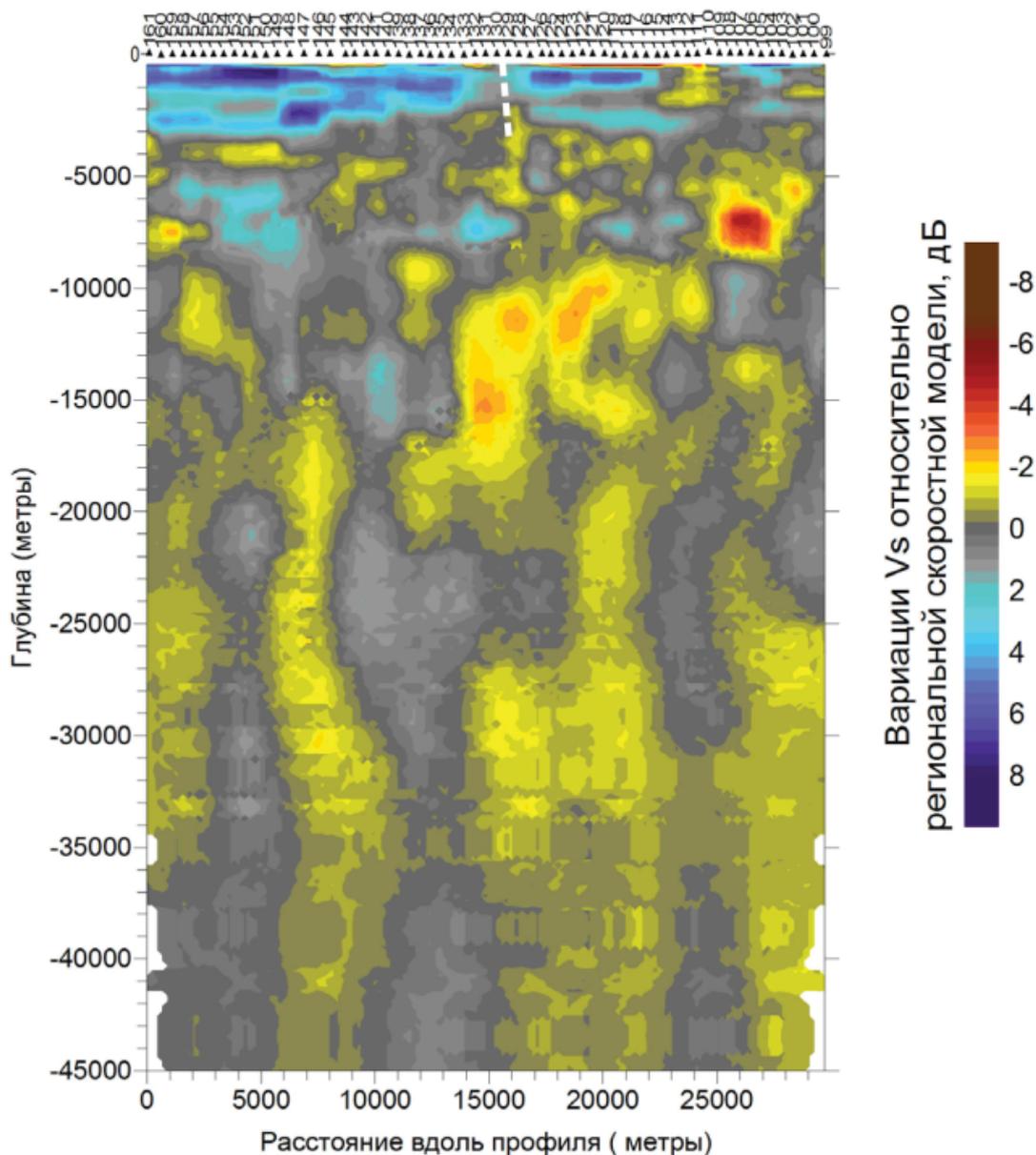


Рис. 6. Геофизический разрез ММЗ через Таманский п-ов от Кизилташского лимана до Азовского моря (Вышестеблиевская – Кучугуры). Штриховой линией показана Фанагорийская флексура

говый город Хазарского каганата, наряду с прилегавшими неукрепленными степными поселениями, был заброшен [Кропоткин, 1957]. На раскопе средневекового города нами были выявлены следы значительных сейсмических разрушений.

Прежде всего, нами был установлен излом материка – поверхности, на которой строились древние здания на нижней площадке (рис. 7). Хотя от древних каменных кладок времени Хазарского каганата остались лишь фундаменты и (в редких случаях) 1-2 слоя надфундаментной каменной кладки, отчетливо виден наклон остатков стен меридионального простирания в обе стороны от оси Фанагорийской флексуры (разлома?). Северная часть археологического раскопа вместе с остатками строений наклонилась на север, что как-бы естественно – по уклону рельефа и в соответствии с силами гравитации. В то же время, южная



Рис. 7. Излом древней площадки – археологического материка, на котором были построены древние постройки хазарского времени в Фанагории. По обе стороны от флексуры стены каменной кладки (в ёлочку) меридионального простираения систематически наклонилась на север и на юг. «+» – висячее крыло Фанагорийской флексуры (разлома?), «-» – лежачее (опущенное) крыло. Вид на восток

часть площадки – археологического материка наклонилась на юг. Этот наклон никак нельзя объяснить гравитацией, он произошел против уклона рельефа. В данном случае деформации всего археологического памятника имели место сейсмотектонические причины.

Можно предполагать, что очаг землетрясения вышел на поверхность в виде флексуры, которая пересекла и разрушила средневековый город. Традиционно считается, после X в. н.э. город Фанагория, в отличие от соседней Тамани, не возрождался, о чем свидетельствует отсутствие упоминаний о нем в средневековых письменных источниках [Кропоткин, 1957]. О землетрясении второй половины X в. имеются косвенные свидетельства из средневековых слоёв Тамани [Плетнёва, 2000]. Однако, окончательно выяснить причину и возраст разрушения Фанагории предстоит после окончания ведущихся по настоящее время раскопок и обработки археологического материала. В то же время, очаг этого землетрясения помещен А. А. Никоновым [1996, 2000] в акваторию Керченского пролива, а магнитуда оценена как $M=7.0 \pm 1$. Собранные данные позволяют существенно уточнить имеющиеся представления о расположении потенциальных очагов сильных землетрясений и активных геологических структур.

В целом, археологические и историко-архитектурные исследования древних строительных комплексов Керченского п-ова, изученных нами с помощью археосейсмологического метода, позволили с той или иной степенью вероятности датировать выявленные здесь сейсмические разрушения [Винокуров и др., 2015, Белик и др., 2016, Корженков и др., 2016 а, Корженков и др., 2016 б]. На этих памятниках

нами был выявлен и проанализирован широкий спектр сейсмических деформаций: наклоны, выдвигания и обрушения строительных конструкций, а также их развороты вокруг вертикальной и горизонтальной осей, деформации арочных конструкций (например, провисшие замковые камни), сквозные трещины, пробивающие несколько строительных блоков подряд, субвертикальные межблоковые трещины на высоту всей стены и др. В отдельных случаях удалось определить направления прихода максимальных суммарных сейсмических колебаний. Повсеместно мы определяли силу сейсмического воздействия древних сейсмических событий. Она оказалась довольно высокой – I=VIII-IX баллов по шкале MSK-64. Таким образом, были собраны многочисленные свидетельства сейсмических разрушений древности на археологических памятниках самых разных эпох.

Заключение

Предложен и доведен до практического применения принципиально новый подход к обнаружению следов древних землетрясений, базирующийся на совместном использовании взаимно дополняющих друг друга методов геофизики, палео- и археосейсмологии. Этот комплексный подход позволяет существенно расширить возможности оценки сейсмической опасности в детальном масштабе.

Ранее, в качестве основной сейсмогенерирующей структуры региона рассматривалась Южнобережная (Черноморская) складчато-надвиговая зона, протягивающаяся в акватории Черного моря вдоль Южного берега Крыма. Однако нами были получены сведения о многих исторических землетрясениях, очаги которых расположены в пределах Керченского и Таманского п-овов.

По мере детализации полевых геофизических, палеосейсмологических и неотектонических исследований, всё более явственно проступает основная особенность региона, которая заключается в четкой приуроченности современных побережий к зонам крупных активных разломов. Это обстоятельство предопределяет надежность морфотектонических критериев при выделении активных геологических структур. Керченский и Таманский п-ова демонстрируют признаки классических морфоструктур, обнаруживая конформность рельефа геологическим структурам и четкое соответствие динамики современных экзогенных процессов темпам и характеру молодых тектонических движений.

Проведённые исследования убедительно показали, что уровень сейсмической активности инструментального этапа наблюдений далеко не всегда характеризует реальный уровень сейсмической опасности даже в самом общем виде. Можно полагать, что в настоящее время Керченско-Таманский регион находится в стадии сейсмического затишья, возможно, перед сильным землетрясением с интенсивностью VII-IX баллов. В то же время выявленный очень большой период повторяемости между высокомагнитудными сейсмическими событиями далекого прошлого дает основание полагать, что ожидаемое разрушительное землетрясение может случиться не в ближайшие годы, а в обозримом будущем. Это делает весьма актуальными продолжение сеймотектонических работ в регионе и активизацию исследований в области прогноза землетрясений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-05-06197).

Литература

1. Белик Ю. Л., Корженков А. М., Куликов А. В., Ларьков А. С., Мараханов А. Н., Овсюченко А. Н., Рогожин Е. А. Сейсмогенные деформации в стенах позднесредневековой крепости Ени-Кале в Восточном Крыму. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016. Т.43, № 2. С. 17-35.
2. Вахонеев В. В. Подводное городище Акра и изменение уровня моря в IV в. до н.э. // Боспор Киммерийский и варварский мир в период античности и средневековья. Географическая среда и социум. Боспорские чтения. Вып. XVI. Керчь, 2015. С. 43-47.
3. Винокуров Н. И., Корженков А. М., Родкин М. В. К оценке сейсмической опасности района Керченского пролива по данным археосейсмологии // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т. 42, № 2. С. 51-66.
4. Горбатилов А. В., Степанова М. Ю., Кораблев Г. Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм. // Физика Земли. 2008. № 7. С.66-84.
5. Корженков А. М., Мазор Э. Структурная реконструкция сейсмических событий: руины древних городов как окаменевшие сейсмографы // Изв. МОН РК, НАН РК. Серия общественных наук. 2001. № 1. С. 108-125.
6. Корженков А. М., Овсюченко А. Н., Ларьков А. С. Сейсмические деформации в древнем городе Илурате. // Природа. 2016а. № 10. с. 30-38.
7. Корженков А. М., Ларьков А. С., Мараханов А. В., Молев Е. А., Овсюченко А. Н., Рогожин Е. А., Хршановский В. А. Следы сильных землетрясений в крепостных стенах античного города Китей, Керченский полуостров. // Элита Боспора и боспорская элитарная культура. Материалы международного круглого стола. СПб.: ПАЛЛАЦО, 2016б. С. 372-381.
8. Кропоткин В. В. О производстве стекла и стеклянных изделий в средневековых городах Северного Причерноморья и на Руси // Краткие сообщения Института истории материальной культуры. 1957. Вып. 68. С. 35-44.
9. Куликов А. В. О хронологии культурных слоев античного городища Акра. // Боспорский феномен: проблемы хронологии и датировки памятников. Ч. 1. С. Пб.: Изд-во Гос. Эрмитажа, 2004. С. 160-163.
10. Никонов А. Л. Сильные землетрясения Северного Кавказа и Крыма. // Основные достижения Объединенного института физики Земли за 1992-1996 гг. М.: ОИФЗ РАН, 1996. Т. 1. С. 109-113.
11. Никонов А. А. Сейсмический потенциал Крымского региона: Сравнение региональных карт и параметров выявленных событий. // Физика Земли. 2000. № 7. С. 53-62.
12. Овсюченко А. Н., Шварев С. В., Ларьков А. С., Мараханов А. В. Следы сильных землетрясений Керченско-Таманского региона по геологическим данным. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т.42, № 3. С. 33-54.
13. Овсюченко А. Н., Корженков А. М., Ларьков А. С., Мараханов А. Н., Рогожин Е. А. Новые сведения об очагах сильных землетрясений в районе Керченского полуострова. // Доклады АН. 2017а. Т.472, № 1. С. 89-92.
14. Овсюченко А. Н., Корженков А. М., Ларьков А. С., Рогожин Е. А., Мараханов А. Н. Оценка сейсмической опасности низкоактивных областей на примере

Керченско-Таманского региона. // Наука и технологические разработки. 2017б. Т. 96, № 1. С. 15-28.

15. Палеосейсмология. В 2-х томах./Ред. Дж. П. Мак-Калпин. М.: Научный Мир, 2011.

16. Рогожин Е. А. Очерки региональной сейсмотектоники. М.: ИФЗ РАН, 2012. 340 с.

17. Рогожин Е. А., Овсяченко А. Н., Лутиков А. И., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е., Горбатиков А. В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. М.: ИФЗ РАН, 2014. 256 с.

18. Рогожин Е. А., Горбатиков А. В. Результаты детальных геофизических исследований в районе Керченского пролива // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т.42, № 2. С. 67-72.

19. Солоненко В. П. Определение эпицентральных зон землетрясений по геологическим признакам // Изв. АН СССР, Сер. геол. 1962. № 11. С. 58-74.

20. Флоренсов Н. А. О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области. // Геология и геофизика. 1960. № 1. С. 74-90.

21. Шилик К. К. Ещё один город на дне Керченского пролива. // Человек, море, техника. Л.: Судостроение. 1988. С. 191-193.

22. Korzhenkov A. M., Mazar E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs // Science and New Technologies. 1999. No. 1. P. 62-74.