

УДК 550.34

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НИЗКОАКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ПРИМЕРЕ КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОГО РЕГИОНА

© 2017 г. А.Н. Овсяченко, А.М. Корженков, А.С. Ларьков,
Е.А. Рогожин, А.В. Мараханов

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Представлены результаты комплексных палео- и археосейсмологических исследований Керченско-Таманского региона. Получены данные о местных потенциальных очагах сильных землетрясений, определяющих уровень сейсмической опасности рассматриваемой территории. Проведенные исследования убедительно показали, что уровень сейсмической активности инструментального этапа наблюдений далеко не всегда характеризует реальную оценку сейсмической опасности даже в самом общем виде. Выявлены сейсмогенерирующие зоны с магнитудами ожидаемых землетрясений от 6.0 до 7.0. Полученные результаты позволяют заключить, что в настоящее время регион находится в стадии сейсмического затишья, возможно, перед сильным землетрясением.

Ключевые слова: сейсмическая опасность; сеймотектонические исследования; палеосейсмология, археосейсмология, активные разломы; сейсмогенерирующие структуры; Крымский полуостров; Таманский полуостров.

Введение

В соответствии с приказом Министерства регионального развития РФ № 624 от 30 декабря 2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» сеймотектонические исследования, наряду с сейсмологическими и сейсмическим микрорайонированием, выделены в отдельный вид работ и внесены в перечень инженерно-геологических изысканий [СП 47.13330.2012]. Эти исследования проводятся в сейсмоопасных районах. Цель сеймотектонических исследований — оценка опасности сейсмических и тектонических явлений для строительных объектов. К опасным явлениям относятся сеймотектонические разрывы, возникающие моментально в результате выхода сейсмического очага на земную поверхность, медленные смещения по активным разломам, вторичные эффекты землетрясений (оползни, обвалы, разжижения грунта и т.п.) и собственно сейсмические сотрясения.

Согласно современным сейсмологическим представлениям, сейсмическая опасность определяется вероятностью достижения некоторого уровня сейсмических воздействий на данной территории в течение заданного периода повторяемости. Для расчетов реального уровня

сейсмической опасности необходимы представительные каталоги землетрясений, содержащие информацию о повторяемости сильнейших сейсмических событий конкретного сейсмоактивного региона. Однако регионы, для которых имеются такие каталоги, буквально можно пересчитать по пальцам.

На территории России к таким регионам, с известной долей условности, можно отнести лишь Курило-Камчатский. В то же время повторяемость сильных землетрясений может достигать нескольких сотен и даже тысяч лет. В итоге почти каждое сильное землетрясение современности приводит к корректировке существовавших карт сейсмического районирования. Выход из этой ситуации возможен лишь с привлечением данных о землетрясениях более далекого прошлого.

Оценка реальной сейсмической опасности в особенности затруднена в сейсмоактивных регионах с низким уровнем современной сейсмической активности. К одним из них относится Керченско-Таманский регион, расположенный на стыке Большого Кавказа и Горного Крыма. В качестве примера можно привести строитель-

ство Крымской АЭС на севере Керченского п-ова. В сейсмологических каталогах инструментального периода наблюдений для всего Крымско-Таманского региона имеется лишь одно сильное землетрясение — это парное Ялтинское событие 1927 г. с $M = 6.7$ [Никонов, 2012]. Период инструментальных наблюдений современного уровня, опирающихся на достаточно чувствительную сеть сейсмических станций, начался в конце 1960-х — начале 1970-х годов. За это время во всем Керченско-Таманском регионе было зарегистрировано лишь несколько слабых сейсмических событий (рис. 1).

Сведения о сильных землетрясениях здесь отсутствуют и для предыдущих 150 лет. Сейсмическое затишье, продолжающееся до сих пор, дало основание для начала строительства АЭС. Позже, в конце 1980-х годов, в районе Крымской АЭС были выявлены геологические и археологические свидетельства сильных землетрясений относительно недалекого прошлого, не учтенные при первоначальном проектировании станции [Геология..., 1992]. В итоге строительство АЭС было прекращено.

Исследования сейсмической опасности Керченско-Таманского региона были продолжены авторами статьи в 2014 г. в связи с проектированием моста через Керченский пролив и других ответственных инженерных сооружений. Основные результаты и выводы этих исследований представлены в настоящей статье.

Методы исследований

Для регионов с ограниченной сейсмостатистикой основным источником информации о сильнейших землетрясениях и их повторяемости остаются палеосейсмогеологические данные. Палеосейсмогеологический подход основан на том, что сильнейшие землетрясения далекого, часто доисторического прошлого оставляют на поверхности геологические следы — палеосейсмодислокации [Флоренсов, 1960; Солоненко 1962]. Это положение имеет фундаментальное значение в оценке сейсмической опасности, так как 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].

В настоящее время, помимо палеосейсмологических, активно развиваются методы археосейсмологии и исторической сейсмологии, направленные на выявление и параметризацию сейсмических событий путем анализа архитектурных и литературных памятников древности. Повреждения, наблюдаемые в древних руинах, могут быть вызваны плохой строительной технологией, выветриванием с течением времени (статическое повреждение), разрушением вражескими армиями, или результатом землетрясений. Распознавание повреждений архитектурных памятников сейсмической природы 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. Их использование дает количественный материал для решения главных задач археосейсмологической науки:

- a) выявления генезиса деформаций археологических памятников;
- b) оценки местной интенсивности сейсмических колебаний;
- c) локализации эпицентров методом, независимым от сейсмической сети и дополняющим ее;
- d) идентификации зон с сейсмически наведенной деформацией сжатия и растяжения;
- e) продлении сейсмической летописи на временной интервал в сотни и тысячи лет [Korzhnikov, Mazor, 1999; Корженков, Мазор, 2001 и др.].

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 археосейсмологии. Этот подход позволяет существенно расширить возможности оценки сейсмической опасности в детальном масштабе для недостаточно хорошо изученных регионов.

Результаты исследований

Область сочленения горных сооружений Большого Кавказа и Горного Крыма, где расположена Керченско-Таманская складчатая зона, обособлена в сеймотектоническом отношении. От прилегающих горных сооружений она отличается как глубинным строением, так

и формами проявления молодых тектонических движений в осадочном чехле. Основная особенность геологического строения региона — развитие многокилометровой толщи пластичных, флюидонасыщенных, глинисто-песчаных кайнозойских осадков майкопской серии — определила формирование региональной структуры настолько необычного облика, что вопрос о ее происхождении и возрасте остается ведущим в геологических исследованиях на протяжении всего последнего столетия.

По основным показателям уровень современной тектонической активности Керченско-Таманского региона аналогичен Горному Крыму и Большому Кавказу. Отсутствие здесь гор можно объяснить тем, что глинистые толщи майкопской серии, слагающие верхнюю часть осадочного чехла до глубины 6 км, не в состоянии формировать и удерживать горный рельеф [Юдин, 2011], а новейшие вертикальные движения имели недостаточную интенсивность, чтобы вывести на поверхность более древние, компетентные комплексы пород

Современная тектоническая активность проявлена разнообразными разрывно-складчатыми деформациями молодых отложений и форм рельефа. Им сопутствуют современные движения земной поверхности, грязевый вулканизм, перестройки речной сети и локальные ареалы аномальной активности современных экзогенных процессов (прежде всего — разнообразные вариации дезинтеграции и переотложения рыхлого чехла). Тем не менее современный уровень сейсмической активности здесь низкий, хотя имеются многочисленные исторические и археологические свидетельства о разрушительных землетрясениях древности [Геология..., 1992; Никонов, 1994, 2000; Борисенко и др., 1999]. При скудности инструментальных сейсмологических данных в такой ситуации на первое место по важности выступают неотектонические, палео- и археосейсмологические исследования.

Основная задача проводимых авторами исследований состоит в изучении молодых сейсмических деформаций и других следов сильных землетрясений прошлого. Основное внимание было уделено активным разломам, демонстрирующим следы сейсмических подвижек и ассоциируемым с выходом очагов сильных землетрясений на поверхность. По результатам исследований составлена карта активных разломов — очагов сильных землетрясений (рис. 2).

Частично материалы изучения Южно-Азовского, Парпачского, Феодосийского и

Южно-Керченского активных разломов уже опубликованы [Овсюченко и др., 2015; 2017]. Строение ряда зон выделенных разломов в недрах изучено с помощью геофизического метода микросейсмического зондирования (ММЗ) [Рогожин и др., 2015]. Для Южно-Азовского и Тобечикского активных разломов получено подтверждение их проникновения в глубокие недра. Так, в зоне Тобечикского разлома выявлено вертикальное смещение подошвы майкопской серии примерно на 1 км.

В 2016 г. Тобечикский разлом был прослежен в рельефе и молодых отложениях от мыса Такиль до южного берега озера Тобечик (рис. 3). 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. Так, в урочище Печка задокументирован молодой надвиг, проникающий в позднеплейстоцен-голоценовые лессы и почвенный покров (рис. 4).

Наблюдаемые в разрезе структурные и возрастные взаимоотношения молодых тектонических деформаций свидетельствуют о том, что они происходили резко и разделены долгими периодами покоя, что характеризует их как импульсные сейсмотектонические разрывы. В условиях Керченско-Таманского региона сейсмотектонические подвижки в недрах на уровне сейсмогенерирующего слоя оказываются в значительной степени преобразованы толщей пластичных майкопских глин [Овсюченко и др., 2015; 2017]. Уже в 1.5 км к северо-западу от урочища Печка, в районе Акры, задокументирован позднеголоценовый сбросо-сдвиг с опущенным северо-восточным крылом. По геофизическим данным (ММЗ [Рогожин и др., 2015]) на глубине порядка 8 км он также имеет сбросовую морфологию с крутым падением на север.

Расположенное в опущенном крыле Тобечикского разлома античное городище Акра, в отличие от Ольвии, Херсонеса, Фанагории и Патрея, полностью затоплено и закрыто прибрежными наносами (рис. 5). 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 хол-

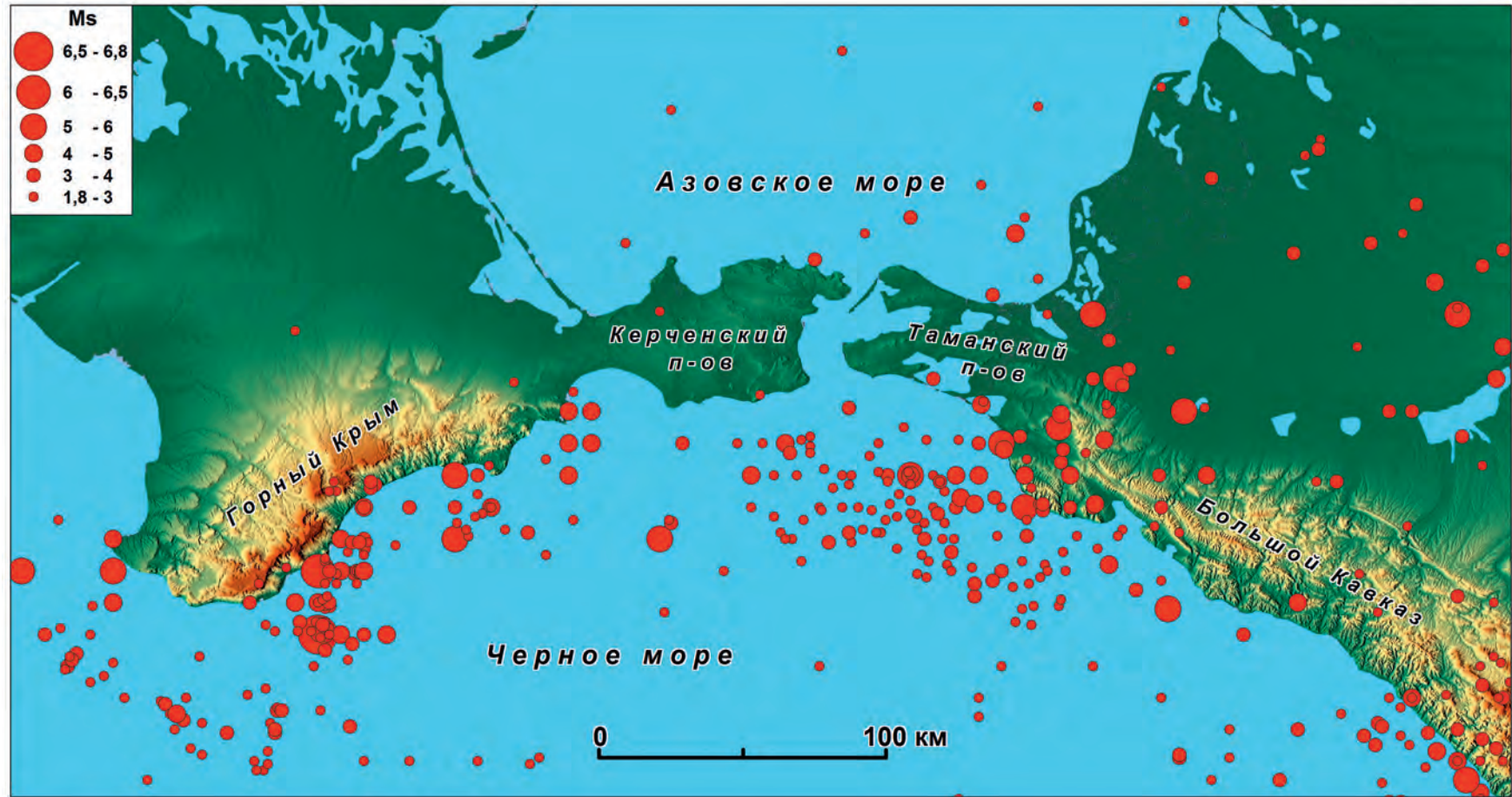


Рис. 1. Эпицентры землетрясений Крыма и Северо-Западного Кавказа по инструментальным и макросейсмическим данным за 1800–2014 гг. [Пустовитенко и др., 1989; Shebalin, Leydecker, 1997; Федеральный..., 2016]

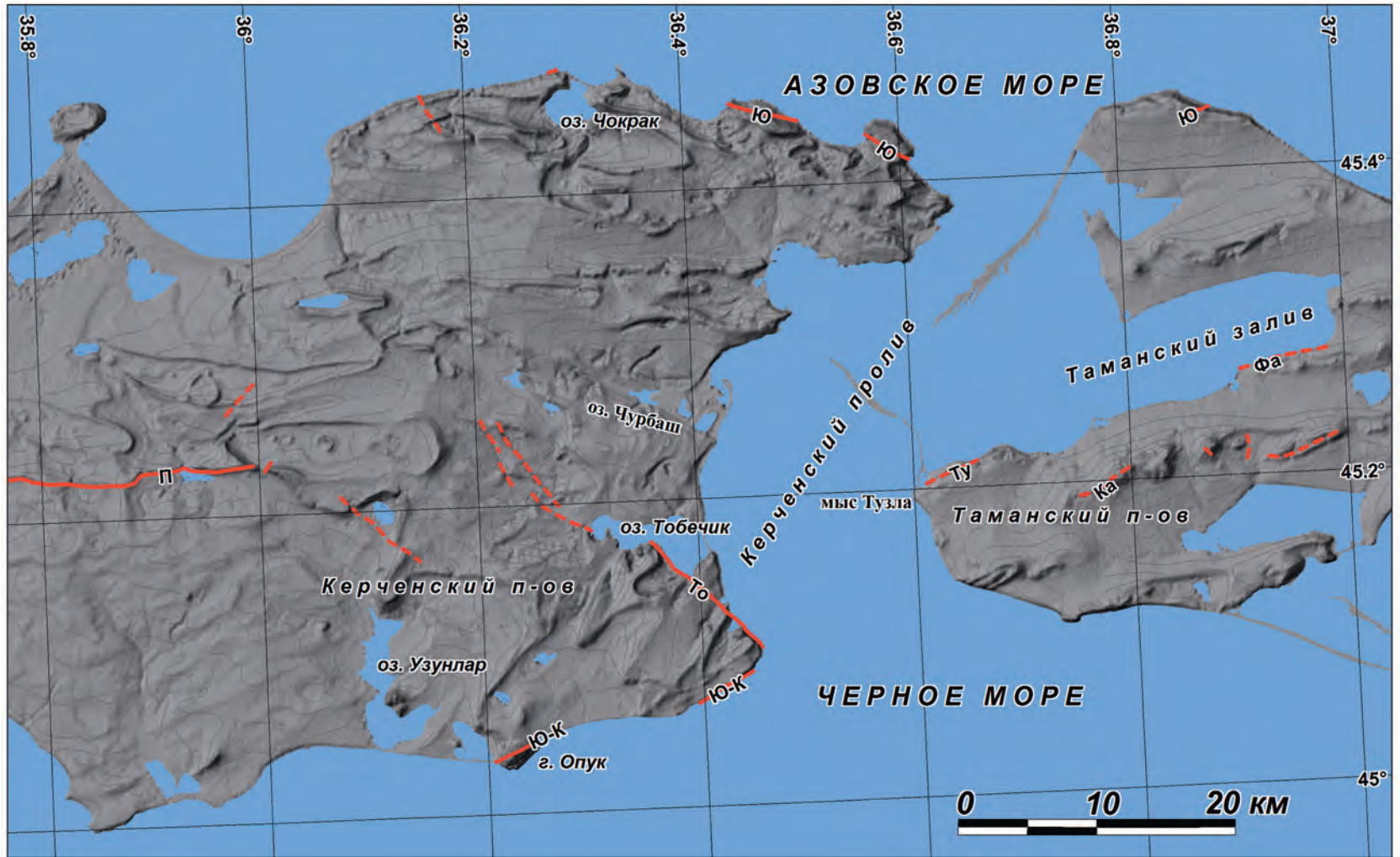


Рис. 2. Карта активных разломов Керченско-Таманского региона

Сплошные линии — активные разломы с изученными следами сеймотектонических подвижек прошлого (Ю — сегменты Южно-Азовского разлома; П — Парпачский; То — Тобечикский; Ю-К — сегменты Южно-Керченского разлома); пунктирные — предполагаемые по дистанционным данным (на Керченском п-ове), связанные с грязевулканической деятельностью (во внутреннем районе Таманского п-ова, Ка — Карабетовский), флексурные изгибы четвертичных отложений (по побережье Таманского залива: Ту — Тузлинская; Фа — Фанагорийская флексуры)

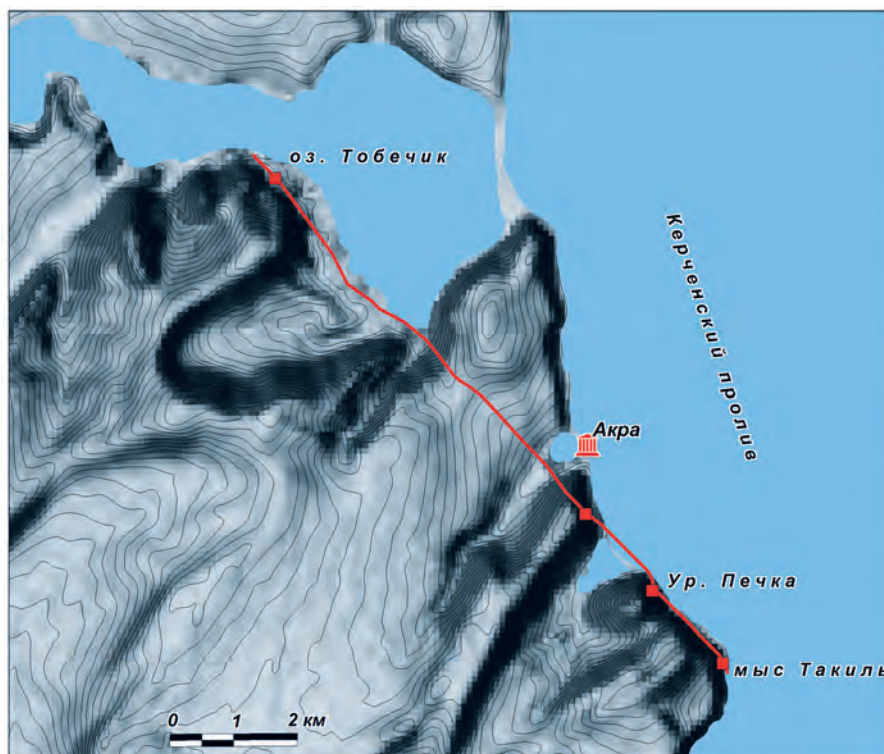


Рис. 3. Схема участков детального изучения Тобечикского разлома

ма, 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 дает основание предположить, что затопление городища произошло резко, в результате импульсной подвижки по разлому и погружению участка побережья.

Обилие архитектурных памятников древности в Крыму создает благоприятные условия для широкого применения методов археосейсмологии [Никонов, 2015]. Прекрасную научную базу предоставляют собой древнегреческие, римские, византийские и средневековые археологические памятники (рис. 6). В эти цивилизационные периоды тут было возведено множество городов и других населенных пунктов, нередко с применением высококачественных строительных приемов и традиций.

Эти поселения существовали в период между VI в. до н.э. (начало греческой колонизации полуострова) и XVIII в. н.э. и были поки-

нуты в разное время по различным причинам. Археологические и историко-архитектурные исследования древних строительных комплексов Керченского полуострова, 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., 2016а; Корженков и др., 2016б].

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 интенсивность сейсмического воздействия I древних сейсмических событий. Она оказалась довольно высокой — $I = \text{VIII–IX}$ баллов по шкале MSK-64. Таким образом, были собраны многочисленные свидетельства сейсмических разрушений древности на археологических памятниках самых разных эпох.



Рис. 4. Молодые тектонические разрывы в урочище Печка (показаны красными линиями)



Рис. 5. Общий вид современного положения городища Акра



Рис. 6. Древние городища Керченско-Таманского региона
Белыми знаками изображены памятники, обследованные с археосейсмологическим подходом в 2014–2016 гг.; черными — исследование которых планируется

Заключение

Предложен и доведен до практического применения принципиально новый подход к обнаружению следов древних землетрясений, базирующийся на совместном применении взаимно дополняющих друг друга методов палео- и археосейсмологии. Этот комплексный подход позволяет существенно расширить возможности оценки сейсмической опасности в детальном масштабе для недостаточно хорошо изученных регионов. К таким регионам относятся и Керченско-Таманский.

Полученные в последние годы результаты свидетельствуют о том, что уровень сейсмической опасности в Керченско-Таманском регионе определяется в основном местными потенциальными очагами сильных землетрясений. Для них получены данные о повторяемости землетрясений, их магнитуде, кинематике смещений, т.е. все параметры, необходимые для оценки сейсмической опасности (рис. 7).

Ранее, в качестве основной сейсмогенерирующей структуры рассматривалась Южно-бережная (Черноморская) складчато-надвиговая зона, протягивающаяся в акватории Черного моря вдоль Южного берега Крыма. Однако нами были получены сведения о многих исторических землетрясениях, не обнаруживающих по археосейсмологическим данным четких призна-

ков прихода сейсмической волны со стороны моря. В случае Керченско-Таманского региона выявлено сильное несоответствие между инструментальными и палеосейсмологическими данными об уровне сейсмической опасности. Проведенные 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 проявления 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.

В целом полученные результаты подтвердили высокую эффективность развиваемого авторами комплексного подхода к обнаружению следов древних землетрясений, показали актуальность продолжения сеймотектонических работ в Крыму и активизации на этой территории исследований в области прогноза землетрясений.

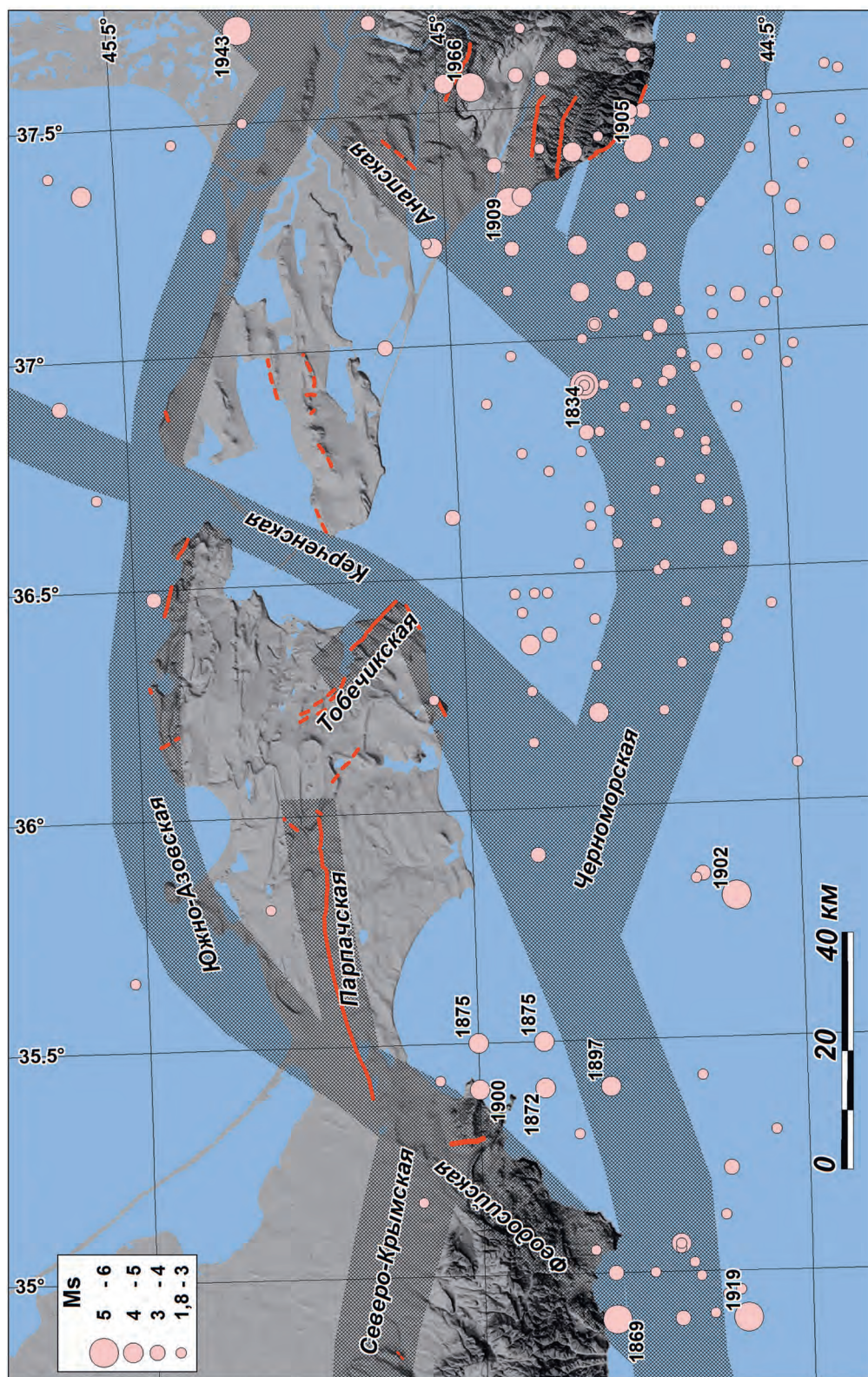


Рис. 7. Сейсмогенерирующие зоны (заштрихованные области) Керченско-Таманского региона по инструментальным, архео- и палеосейсмологическим данным с эпицентрами землетрясений по инструментальным и макросейсмическим данным за период 1800–2014 гг. [Густовищенко и др., 1989; Shebalin, Leufesker, 1997; Федеральный..., 2016], с указанием года для сильнейших событий. На карте показаны зоны с ожидаемой магнитудой землетрясений от 6.0 до 7.0.

БЛАГОДАРНОСТИ

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

Литература

- Белик Ю.Л., Корженков А.М., Куликов А.В., Ларьков А.С., Мараханов А.Н., Овсяченко 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.
- 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.
- 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.
- Борисенко Л.С., Пустовитенко Б.Г., Дублянский В.Н., Вахрушев Б.А., Ключин А.А., Ена А.В., Китин М.А. Сейсмодислокации и палеосейсмичность Крыма // Сейсмологический бюллетень Украины за 1997 год. Симферополь: Изд. ИГ НАНУ, 1999. С. 101–132.
- Геология и геодинамика района Крымской АЭС / Отв. ред. Н.М. Гавриленко, А.В. Чекунов. Киев: Наукова думка, 1992. 188 с.
- 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.
- Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. Сейсмические деформации в древнем городе Илурате // Природа. 2016а. № 10. с. 30–38.
- Корженков А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Молев Е.А., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Христановский 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.
- Корженков А.М., Моисеев Д.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А., Эмруллаев Ш.А. Археосейсмологические исследования в древней столице крымских ханов Салачик Крыму // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016в. Т. 43, № 3. С. 30–47.
- 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.
- Никонов А.А. Признаки молодой тектонической активности в зонах Южно-Азовского и Керченского разломов // Геотектоника. 1994. № 5. С. 16–28.
- Никонов А.А. Сейсмический потенциал Крымского региона: Сравнение региональных карт и параметров выявленных событий // Физика Земли. 2000. № 7. С. 53–62.
- Никонов А.А. Уточненные решения макросейсмического поля и механизма очагов Крымских землетрясений 1927 г. // Геофизические исследования. 2012. Т. 13, № 1. С. 50–78.
- Никонов А.А. Древние разрушительные землетрясения в Херсонесе и их значение в оценке долговременной сейсмической опасности Юго-Западного Крыма // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т. 42, № 2. С. 17–50.
- Овсяченко 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.
- Овсяченко 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. 2017. Т. 472, № 1. С. 89–92.
- Палеосейсмология. В 2-х томах / Ред. Дж.П. МакКалпин. М.: Научный Мир, 2011.
- Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Горячун А.В. Землетрясения Крымско-Черноморского региона. Киев: Наукова думка, 1989. 190 с.
- Рогожин Е.А. Очерки региональной сеймотектоники. М.: ИФЗ РАН, 2012. 340 с.
- Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Овсяченко А.Н. Активные разломы и глубинное строение зоны Керченского пролива // Геология и геофизика Юга России. 2015. № 1. С. 63–66.
- СП47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. М.: 2013.
- Солоненко В.П. Определение эпицентральных зон землетрясений по геологическим признакам // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 11. С. 58–74.
- Федеральный исследовательский центр Единая геофизическая служба Российской академии наук, 2016, <http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/catalog.pl>

- Флоренсов Н.А.* О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области // Геология и геофизика. 1960. № 1. С. 74–90.
- Шилик К.К.* Еще один город на дне Керченского пролива // Человек, море, техника. Л.: Судостроение. 1988. С. 191–193.
- Юдин В.В.* Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. 336 с.
- Korzhenkov A.M., Mazor E.* Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs // Science and New Technologies. 1999. No. 1. pp. 62–74.
- Shebalin N.V., Leydecker G.* Earthquake Catalogue for the Former Soviet Union and Borders up to 1988. European Commission, Report No. EUR 17245 EN, Nuclear Science and Technology Series. ISSN 1018-5593. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1997. 135 p.

Сведения об авторах

ОВСЮЧЕНКО Александр Николаевич — кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-90-15. E-mail: ovs@ifz.ru

КОРЖЕНКОВ Андрей Михайлович — доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (916) 226-90-92. E-mail: korzhenkov@ifz.ru

ЛАРЬКОВ Александр Сергеевич — научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-92-50. E-mail: las119@yandex.ru

РОГОЖИН Евгений Александрович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заместитель директора, руководитель Координационного прогностического центра, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-87-15. E-mail: eurog@ifz.ru

МАРАХАНОВ Александр Владимирович — старший научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-90-15. E-mail: marahanov@ifz.ru

Information about authors

OVSYUCHENKO Alexander Nikolaevich — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Laboratory, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. 123242, Moscow, ul. Bolshaya Gruzinskaya, 10, building 1. Phone: +7 (499) 254-90-15. E-mail: ovs@ifz.ru

KORZHENKOV Andrey Mikhailovich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. 123242, Moscow, ul. Bolshaya Gruzinskaya, 10, building 1. Phone: +7 (916) 226-90-92. E-mail: korzhenkov@ifz.ru

LARKOV Alexander Sergeevich — Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. 123242, Moscow, ul. Bolshaya Gruzinskaya, 10, building 1. Phone: +7 (499) 254-92-50. E-mail: las119@yandex.ru

ROGOZHIN Evgeny Aleksandrovich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Deputy Director, Head of the Coordination Prognostic Center, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. 123242, Moscow, ul. Bolshaya Gruzinskaya, 10, building 1. Phone: +7 (499) 254-87-15. E-mail: eurog@ifz.ru

MARAKHANOV Alexander Vladimirovich — Senior Researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences. 123242, Moscow, ul. Bolshaya Gruzinskaya, 10, building 1. Phone: +7 (499) 254-90-15. E-mail: marahanov@ifz.ru

ESTIMATION OF THE SEISMIC HAZARDS OF LOW-ACTIVE AREAS BY THE EXAMPLE OF THE KERCH-TAMAN REGION

A.N. Ovsyuchenko, A.M. Korzhenkov, A.S. Larkov,
A.V. Marahanov, E.A. Rogozhin

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Results of the last paleo- and archeoseismological researches of Kerch-Taman region are presented. Data about the local potential sources of strong earthquakes defining a level of seismic hazard are obtained. Carried out researches have convincingly shown, that the level of seismic activity of a instrumental stage of observations far not always characterizes a real estimation of seismic hazard even in the general view. The results obtained allow us to conclude, that now the region is in a stage of seismic gap probably before a strong earthquake.

Keywords: seismic hazard, seismotectonics researches, paleoseismology, archeoseismology, active faults, seismic sources, the Crimean peninsula; Tamansky peninsula.

References (Translation)

- Belik Y.L., Korzhenkov A.M., Kulikov A.V., Larkov A.S., Marakhanov A.N., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin E.A.* Seismogenic deformations in the walls of the late medieval fortress of Yeni-Kale in the Eastern Crimea, *Problems of Engineering Seismology*. 2016. Vol. 43, No. 2. pp. 17–35. [in Russian].
- Vakhoneev V.V.* Underwater settlement of Acre and sea level change in the IV century. BC. Bosphorus Cimmerian and barbaric world in the period of antiquity and the Middle Ages. *Geographical Environment and Society. Bosphoric Reading*. Release XVI. Kerch, 2015. pp. 43–47. [in Russian].
- Vinokurov N.I., Korzhenkov A.M., Rodkin M.V.* To the assessment of seismic hazard in the Kerch Strait area according to archeoseismology, *Problems of Engineering Seismology*, 2015. Vol. 42, No. 2. pp. 51–66. [in Russian].
- Borisenko L.S., Pustovitenko B.G., Dublyansky V.N., Vakhrushev B.A., Klyukin A.A., Ena A.V., Kitin M.A.* Seismic dislocations and paleoseismicity of the Crimea, *Seismological Bulletin of Ukraine for 1997*. Simferopol, Publishing house of the Institute of Geology of the National Academy of Sciences of Ukraine, 1999. Pages 101–132. [in Russian].
- Geology and Geodynamics of the Crimean Nuclear Power Plant Area. Editors N.M. Gavrilenko, A.V. Chekunov. Kiev, Naukova Dumka Publishing House, 1992. 188 pages. [in Russian].
- Korzhenkov A.M., Mazor E.* Structural reconstruction of seismic events: ruins of ancient cities as petrified seismographs, *Izvestiya of the Ministry of Education and Science, National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. A series of social sciences. 2001. № 1. pp. 108–125. [in Russian].
- Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Larkov A.S.* Seismic deformations in the ancient city of Ilurate, *Nature*. 2016a. № 10. pp. 30–38. [in Russian].
- Korzhenkov A.M., Larkov A.S., Marakhanov A.V., Molev E.A., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin E.A., Khrshanovskiy V.A.* Traces of strong earthquakes in the fortress walls of the ancient city of Kitei, the Kerch Peninsula, the Bosphoran Elite and the Bosphorus elite culture. *Materials of the international round table*. St. Petersburg, Publishing House PALLACO, 2016b. pp. 372–381. [in Russian].
- Korzhenkov A.M., Moiseev D.A., Ovsyuchenko A.N., Larkov A.S., Marakhanov A.V., Rogozhin E.A., Emrullayev Sh.A.* Archeoseismological research in the ancient capital of the Crimean khans Salachik Crimea, *Problems of Engineering Seismology*. 2016. Vol. 43, No. 3. pp. 30–47. [in Russian].
- Kulikov A.V.* On the chronology of cultural layers of the ancient town of Acre, Bosphorus phenomenon: the problems of chronology and dating of monuments. Part 1. St. Petersburg, Publishing House of the State Hermitage, 2004. pp. 160–163. [in Russian].
- Nikonov A.A.* Signs of young tectonic activity in the zones of the South Azov and Kerch Rifts, *Geotectonics*. 1994. № 5. pp. 16–28. [in Russian].
- Nikonov A.A.* Seismic potential of the Crimean re-

- gion: Comparison of regional maps and parameters of detected events, *Physics of the Earth*. 2000. № 7. pp. 53–62. [in Russian].
- Nikonov A.A. Specific solutions of the macroseismic field and the mechanism of the foci of the Crimean earthquakes of 1927 // *Geophysical Research*. 2012. Volume 13, No. 1. pp. 50–78. [in Russian].
- Nikonov A.A. Ancient destructive earthquakes in Chersonese and their significance in the evaluation of the long-term seismic hazard of the South-Western Crimea // *Problems of Engineering Seismology*. 2015. Vol. 42, No. 2. pp. 17–50. [in Russian].
- Ovsyuchenko A.N., Shvarev S.V., Larkov A.S., Marakhanov A.V. Traces of strong earthquakes in the Kerch-Taman region according to geological data, *Problems of Engineering Seismology*. 2015. Vol. 42, No. 3. pp. 33–54. [in Russian].
- Ovsyuchenko A.N., Korzhenkov A.M., Larkov A.S., Marakhanov A.N., Rogozhin E.A. New information on the sources of strong earthquakes in the area of the Kerch Peninsula, *Reports of the Academy of Sciences*. 2017. Vol. 472, No. 1. pp. 89–92. [in Russian].
- Paleoseismology. In 2 volumes, the Editor J.P. McCalpin. Moscow, Publisher Scientific World, 2011. [in Russian].
- Pustovitenko B.G., Kulchitsky V.E., Goryachun A.V. Earthquakes of the Crimean-Black Sea region. Kiev, Naukova Dumka Publishing House, 1989. 190 pages. [in Russian].
- Rogozhin E.A. Essays on regional seismotectonics. Moscow, IFZ RAS Publishing House, 2012. 340 pages. [in Russian].
- Rogozhin E.A., Gorbatikov A.V., Ovsyuchenko A.N. Active faults and deep structure of the Kerch Strait zone, *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2015. No. 1. pp. 63–66. [in Russian].
- JV 47.13330.2012. Engineering surveys for construction. Basic provisions. Updated version of SNIIP 11-02-96. Moscow 2013. [in Russian].
- Solonenko V.P. Definition of epicentral zones of earthquakes by geological features, *Izvestiya AN SSSR. Geological series*. 1962. № 11. pp. 58–74. [in Russian].
- Federal Research Center Russian Academy of Sciences Geophysical Survey, 2016, <http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/catalog.pl>
- Florensov N.A. On neotectonics and seismicity of the Mongolian-Baikal mountain region, *Geology and Geophysics*. 1960. № 1. pp. 74–90. [in Russian].
- Shilik K.K. Another city at the bottom of the Kerch Strait, Man, Sea, Technology. Leningrad, Shipbuilding. 1988. pp. 191–193. [in Russian].
- Yudin V.V. Geodynamics of the Crimea. Simferopol, Publishing house DIAIPI, 2011. 336 pages. [in Russian].
- Korzhenkov A.M., Mazor E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs, *Science and New Technologies*. 1999. No. 1. pp. 62–74.
- Shebalin N.V., Leydecker G. Earthquake Catalogue for the Former Soviet Union and Borders up to 1988. European Commission, Report No. EUR 17245 EN, Nuclear Science and Technology Series. ISSN 1018-5593. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1997. 135 p.

References (Transliteration)

- Belik Yu.L., Korzhenkov A.M., Kulikov A.V., Lar'kov A.S., Marakhanov A.N., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin Ye.A. Seysmogennyye deformatsii v stenakh pozdnesrednevekovoy kreposti Yeni-Kale v Vostochnom Krymu, *Voprosy inzhenernoy seysmologii*. 2016. Tom 43, № 2. Stranitsy 17–35. [in Russian].
- Vakhoneyev V.V. Podvodnoye gorodishche Akra i izmeneniye urovnya morya v IV v. do n.e. Bospor Kimmeriyskiy i varvarskiy mir v period antichnosti i srednevekov'ya. *Geograficheskaya sreda i sotsium. Bosporskiye chteniya*. Vypusk XVI. Kerch', 2015. Stranitsy 43–47. [in Russian].
- Vinokurov N.I., Korzhenkov A.M., Rodkin M.V. K otsenke [in Russian] [in Russian] seysmicheskoy opasnosti rayona Kerchenskogo proliva po dannym arkheseysmologii, *Voprosy inzhenernoy seysmologii*. 2015. Tom 42, № 2. Stranitsy 51–66. [in Russian].
- Borisenko L.S., Pustovitenko B.G., Dublyanskiy V.N., Vakhrushev B.A., Klyukin A.A., Yena A.V., Kitin M.A. Seysmodislokatsii i paleoseysmichnost' Kryma, *Seysmologicheskii byulleten' Ukrainy za 1997 god*. Simferopol', Izdatel'stvo Instituta geologii Natsional'noy akademii nauk Ukrainy, 1999. Stranitsy 101–132. [in Russian].
- Geologiya i geodinamika rayona Krymskoy AES. Redaktory N.M. Gavrilenko, A.V. Chekunov. Kiyev, Izdatel'stvo Naukova dumka, 1992. 188 stranits. [in Russian].
- Korzhenkov A.M., Mazor E. Strukturnaya rekonstruktsiya seysmicheskikh sobytii: ruiny drevnikh gorodov kak okamenevshiy seysmografy, *Izvestiya Ministerstva obrazovaniya i nauki, Natsional'noy akademii nauk Respubliki*

- Kazakhstan. Seriya obshchestvennykh nauk.* 2001. № 1. Stranitsy 108–125. [in Russian].
- Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Lar'kov A.S. Seismicheskiye deformatsii v drevnem gorode Ilurate, *Priroda*. 2016a. № 10. Stranitsy 30–38. [in Russian].
- Korzhenkov A.M., Lar'kov A.S., Marakhanov A.V., Molev Ye.A., Ovsyuchenko A.N., Rogozhin Ye.A., Khrshanovskiy V.A. Sledy sil'nykh zemletryaseni v krepostnykh stenakh antichnogo goroda Kitey, Kerchenskiy poluostrov, Elita Bospora i bosporskaya elitarnaya kul'tura. *Materialy mezhdunarodnogo kruglogo stola*. Sankt-Peterburg, Izdatel'stvo PALLATSO, 2016b. Stranitsy 372–381. [in Russian].
- Korzhenkov A.M., Moiseyev D.A., Ovsyuchenko A.N., Lar'kov A.S., Marakhanov A.V., Rogozhin Ye.A., Emrullayev Sh.A. Arkheoseismologicheskiye issledovaniya v drevney stolitse krymskikh khanov Salachik Krymu, *Voprosy inzhenernoy seismologii*. 2016. T. 43, № 3. Stranitsy 30–40. [in Russian].
- Kulikov A.V. O khronologii kul'turnykh sloey antichnogo gorodishcha Akra, *Bosporskiy fenomen: problemy khronologii i datirovki pamyatnikov. Chast' 1*. Sankt-Peterburg, Izdatel'stvo Gosudarstvennogo Ermitazha, 2004. Stranitsy 160–163. [in Russian].
- Nikonov A.A. Priznaki molodoy tektonicheskoy aktivnosti v zonakh Yuzhno-Azovskogo i Kerchenskogo razlomov, *Geotektonika*. 1994. № 5. Stranitsy 16–28. [in Russian].
- Nikonov A.A. Seismicheskiy potentsial Krymskogo regiona: Sravneniye regional'nykh kart i parametrov vyyavlennykh sobyitiy, *Fizika Zemli*. 2000. № 7. Stranitsy 53–62. [in Russian].
- Nikonov A.A. Utochnennyye resheniya makroseismicheskogo polya i mekhanizma ochagov Krymskikh zemletryaseni 1927 goda // Geofizicheskiye issledovaniya. 2012. T. 13, № 1. Stranitsy 50–78. [in Russian].
- Nikonov A.A. Drevniye razrushitel'nyye zemletryaseniya v Khersonese i ikh znacheniye v otsenke dolgovremennoy seismicheskoy opasnosti Yugo-Zapadnogo Kryma // *Voprosy inzhenernoy seismologii*. 2015. T. 42, № 2. Stranitsy 17–50. [in Russian].
- Ovsyuchenko A.N., Shvarev S.V., Lar'kov A.S., Marakhanov A.V. Sledy sil'nykh zemletryaseni Kerchensko-Tamanskogo regiona po geologicheskim dannym, *Voprosy inzhenernoy seismologii*. 2015. T. 42, № 3. Stranitsy 33–54. [in Russian].
- Ovsyuchenko A.N., Korzhenkov A.M., Lar'kov A.S., Marakhanov A.N., Rogozhin Ye.A. Novye svedeniya ob ochagakh sil'nykh zemletryaseni v rayone Kerchenskogo poluostrova, *Doklady AN*. 2017. T. 472, № 1. Stranitsy 89–92. [in Russian].
- Paleoseismologiya. V 2-kh tomakh, Redaktor Dzh.P. Mak-Kalpin. Moskva, Izdatel'stvo Nauchnyy Mir, 2011. [in Russian].
- Pustovitenko B.G., Kul'chitskiy V.Ye., Goryachun A.V. Zemletryaseniya Krymsko-Chernomorskogo regiona. Kiyev, Izdatel'stvo Naukova dumka, 1989. 190 stranits. [in Russian].
- Rogozhin Ye.A. Ocherki regional'noy seismotektoniki. Moskva, Izdatel'stvo IFZ RAN, 2012. 340 stranits. [in Russian].
- Rogozhin Ye.A., Gorbatikov A.V., Ovsyuchenko A.N. Aktivnyye razlomy i glubinnoye stroyeniye zony Kerchenskogo proliva, *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*. 2015. № 1. Stranitsy 63–66. [in Russian].
- SP 47.13330.2012. Inzhenernyye izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnyye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 11-02-96. Moskva, 2013. [in Russian].
- Solonenko V.P. Opredeleniye epitsentral'nykh zon zemletryaseni po geologicheskim priznakam, *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya*. 1962. № 11. Stranitsy 58–74.
- Federal'nyy issledovatel'skiy tsentr Yedinaya geofizicheskaya sluzhba Rossiyskoy akademii nauk, 2016, <http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/catalog.pl>
- Florensov N.A. O neotektonike i seismichnosti Mongolo-Baykal'skoy gornoy oblasti, *Geologiya i geofizika*. 1960. № 1. Stranitsy 74–90. [in Russian].
- Shilik K.K. Yeshcho odin gorod na dne Kerchenskogo proliva, Chelovek, more, tekhnika. Leningrad, Izdatel'stvo Sudostroyeniye. 1988. Stranitsy 191–193. [in Russian].
- Yudin V.V. Geodinamika Kryma. Simferopol', Izdatel'stvo DIAYPI, 2011. 336 stranits. [in Russian].
- Korzhenkov A.M., Mazor E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs, *Science and New Technologies*. 1999. No. 1. P. 62–74.
- Shebalin N.V., Leydecker G. Earthquake Catalogue for the Former Soviet Union and Borders up to 1988. European Commission, Report No. EUR 17245 EN, Nuclear Science and Technology Series. ISSN 1018-5593. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1997. 135 p.