

УДК 550.34

МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОГО РЕГИОНА

© 2019 г. А. Н. Овсяченко*, А. В. Горбатиков, Е. А. Рогожин,
Н. В. Андреева, М. Ю. Степанова, А. С. Ларьков, А. И. Сысолин

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

**E-mail: ovs@ifz.ru*

Поступила в редакцию 06.06.2018 г.

Принята в печать 25.03.2019 г.

Приводятся результаты комплексных геолого-геофизических исследований активных разломов и глубинного строения Керченско-Таманского региона. Получены данные о глубинном строении потенциальных очагов сильных землетрясений определяющих уровень сейсмической опасности. Примеры активных разломов, хорошо изученных на поверхности, показывают, что по данным ММЗ такие структуры отчетливо выделяются смещениями контрастных слоев разреза на глубине в первые километры или узкими низкоскоростными телами. В зонах Тобечикского, Южно-Азовского и Фанагорийского разломов на глубинах 7–12 км обнаружены высокоскоростные включения изометричной формы. Такие участки особенно интересны для постановки повторных измерений ММЗ в целях сейсмического прогноза.

Ключевые слова: активные разломы, метод микросейсмического зондирования (ММЗ), глубинное строение, палеосейсмология, сеймотектоника, Керченский п-ов, Таманский п-ов.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002-33372019684-95>

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на низкий уровень современной сейсмической активности в Керченско-Таманском регионе вот уже полвека идет всестороннее изучение многочисленных исторических, археологических и геологических свидетельств разрушительных землетрясений древности [Ананьин, 1977; Блаватский, 1977; Аракелян, 1983; Геология..., 1992; Никонов, 1994; 2000; 2016; Traïna, 1995; Винокуров, Никонов, 1998; Борисенко и др., 1999; Хапаев, 2008; Масленников, 2013; Овсяченко и др., 2015; 2017а; б; Белик и др., 2016; Корженков и др., 2016; 2017; Масленников и др., 2017; и др.]. Современная тектоническая активность здесь проявлена разнообразными разрывно-складчатыми деформациями молодых отложений и форм рельефа. Им сопутствуют современные движения земной поверхности, грязевой вулканизм, перестройки речной сети и локальные ареалы повышенной 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 происхождении структурных форм остается ведущим в геологических исследованиях на протяжении всего последнего столетия.

Для оценки сейсмической опасности необходима надежная сеймотектоническая модель. При скудности инструментальных сейсмологических данных в такой ситуации на первое место выступают палеосейсмологические и неотектонические исследования. Они направлены на выявление следов землетрясений в рельефе и позднеплейстоцен-голоценовых отложениях. Однако поверхность Керченско-Таманского региона за последние 2.5 тыс. 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 регио-

на замаскировано мощной толщей пластичных глинистых отложений.

Перечисленные обстоятельства можно рассматривать в качестве основных причин слабостью изученности активной тектоники региона. В таких условиях особую важность приобретает комплексирование геологических и геофизических методов с изучением приповерхностных структур на глубине. Статья посвящена сопоставлению результатов исследований активных разломов, начатых в 2014 г. [Овсюченко и др., 2015; 2017а; б], с данными о глубинном строении, полученными в 2014 г. методом микросейсмического зондирования (ММЗ) [Рогожин и др., 2015а]. Такая возможность представилась только в настоящее время, после первичного завершения весьма трудоемкого картирования активных разломов в молодых отложениях и формах рельефа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Геологическое изучение активных разломов опирается, в первую очередь, на прослеживание опорных геоморфологических уровней – поверхностей выравнивания, речных и морских террас позднеплейстоцен-голоценового возраста, с выявлением их тектонических деформаций [Трифонов и др., 1993; и др.]. Детальные палеосейсмологические исследования конкретных тектонических деформаций в разрезах молодых отложений позволяют восстановить историю молодых подвижек по разломам [Палеосейсмология, 2011]. Естественным ограничением этих методов в Керченско-Таманском регионе выступают перечисленные выше особенности экзоморфогенеза и результаты человеческой деятельности. За последние 2500 лет активной сельскохозяйственной и строительной деятельности склоны холмов оказались покрытыми сельскохозяйственными террасами, а водораздельные пространства регулярно распахивались в течение очень длительного времени. Все речные долины и балки региона перегорожены дамбами, часто в нескольких местах. Это привело к почти полному отсутствию естественных речных террас, служащих маркерами при выявлении молодых тектонических деформаций.

Еще одна важная особенность региона, особенно явственно проступающая по мере детализации полевых палеосейсмологических и неотектонических исследований на Керченском п-ове, заключается в четкой приуроченности современных побережий к зонам крупных активных

разломов (рис. 1). С одной стороны, это обстоятельство предопределяет надежность морфотектонических критериев при выделении активных геологических структур. С другой стороны, приуроченность современных побережий к зонам крупных активных разломов служит причиной уничтожения следов молодых тектонических смещений весьма активной на таких участках современной абразионной деятельностью моря и оползневыми процессами.

Другую важную региональную особенность представляет собой развитие мощной глинистой толщи олигоцен-четвертичных осадков, собранных в узкие антиклинальные гряды и широкие синклинали понижения с субгоризонтальным залеганием слоев. Проявления тектонических движений глубоких горизонтов осадочного чехла Керченско-Таманского региона замаскированы мощной толщей нефтеносных глинистых отложений, объединяемых в майкопскую серию олигоцен-ранемiocенового возраста. Мощность серии максимальна в районе Керченского пролива, где достигает 6 км [Корсаков и др., 2001]. Диапировые внедрения глин майкопской серии прорывают ядра большинства антиклинальных складок и сопровождаются грязевым вулканизмом. Сейсмической разведкой МОВ было установлено, что подстилающие майкопскую толщу породы эоценового и более древнего возраста не участвуют в диапиризме, а смяты в пологие антиклинальные складки, в осевой части часто нарушенные разломами [Пустильников, Чекунов, 1969]. В толще майкопских глин широко развиты структуры течения, дисгармоничная складчатость, сдвигания разреза и другие внутриформационные деформации. В итоге, тектонические движения в недрах, на уровне условного жесткого фундамента, оказываются сильно искаженными толщей пластичных майкопских глин.

Перечисленные обстоятельства определяют важность изучения приповерхностных тектонических деформаций методами геофизики. В частности, для изучения глубинного строения был использован метод микросейсмического зондирования (ММЗ), уже успешно опробованный при решении различных задач сейсмо-тектоники и современной геодинамики [Горбатилов и др., 2011; Рогожин и др., 2014; 2015б; и др.]. ММЗ – разработанный и запатентованный в Институте физики Земли РАН метод пассивной сейсморазведки [Горбатилов и др., 2008]. В качестве зондирующего сигнала метод использует фоновые колебания поверхности Земли и искажение амплитудного поля при

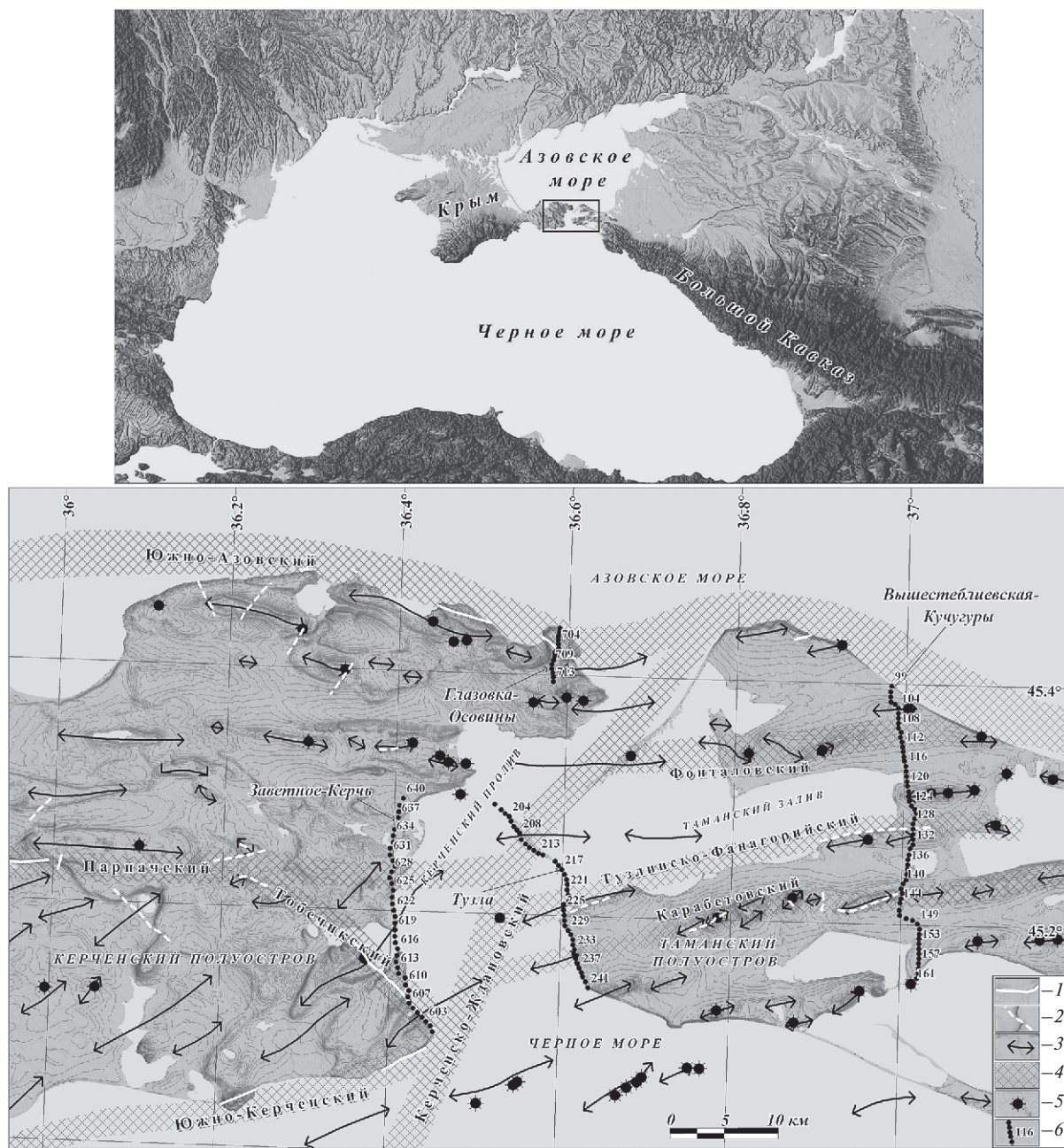


Рис. 1. Обзорная и тектоническая схемы Керченско-Таманского региона. Составлена с использованием данных: [Самулева и др., 1970; Шнюков и др., 1981; 1986; Корсаков и др., 2001]; 1 – активные разломы с изученными следами сеймотектонических подвижек прошлого [Овсюченко и др., 2015; 2017]; 2 – прочие активные разломы и флексуры; 3 – оси антиклинальных складок (с использованием геологических карт: [Самулева и др., 1970; Шнюков и др., 1981; Корсаков и др., 2001]); 4 – зоны основных разломов по геофизическим данным; 5 – грязевые вулканы; 6 – профили ММЗ.

взаимодействии со скоростными неоднородностями земной коры. Распределения амплитудной реакции неоднородностей на облучение микросейсмическими волнами позволяют выявлять конфигурацию как субвертикальных, так и субгоризонтальных скоростных границ на глубину до 60 км. На полученных разрезах отрицательные

значения вариаций амплитуд отвечают уменьшению скоростей поперечных сейсмических волн по сравнению со средней скоростной моделью региона, и наоборот. Уменьшения скоростей сейсмических волн связываются, в первую очередь, с пониженной прочностью и тектонической нарушенностью среды и, во вторую очередь,

с изменением состава пород. О тектонических смещениях также свидетельствуют резкие изменения гипсометрии скоростных границ в верхней части слоистого осадочного чехла. Наиболее полную формулировку ММЗ с обсуждением его свойств можно найти в работе [Кугаенко и др., 2018]. При интерпретации разрезов по ММЗ необходимо помнить, что метод является относительным, поэтому структуры в результирующих разрезах выделяются на фоне среднего для каждой глубины значения скоростей сейсмических волн, а средние значения скоростей связаны со сглаженной региональной скоростной дисперсионной моделью.

В Керченско-Таманском регионе ММЗ оказался информативен для прослеживания подошвы майкопской серии, которая контрастно выделяется в разрезе относительным понижением скоростей поперечных сейсмических волн.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Профиль «Заветное–Керчь»

На профиле «Заветное–Керчь» в подошве низкоскоростного горизонта, ассоциируемого с майкопской серией, выявляется две основных ступени. Северная ступень (ПК 625–626) расположена точно на простирации Парпачского разлома, трассируемого сюда Е.Ф. Шнюковым и др. [1986]. Западнее, вдоль одноименного гребня, на протяжении 33 км прослежена серия молодых разрывов [Овсяченко и др., 2017а]. Основной сместитель представлен обновленным в позднем голоцене взбросом, круто падающим в северном направлении со следами сейсмостектонических подвижек. Однако на пересечении с профилем ММЗ в чехле позднекайнозойских отложений разлом не выявлен.

Наиболее выразительное вертикальное смещение подошвы верхнего низкоскоростного комплекса примерно на 1.5–2 км наблюдается в зоне Тобечикского разлома в южной части профиля (рис. 2). Разлом был прослежен в рельефе и молодых отложениях от мыса Такиль до южного берега озера Тобечик. В морфоструктурном отношении он ограничивает приподнятый юго-восток Керченского п-ова от опущенных участков современного осадконакопления оз. Тобечик и Керченского пролива. Молодые тектонические смещения были обнаружены в четырех местах на простирации разлома протяженностью около 11 км.

На крайнем юго-востоке полуострова (мыс Такиль) был обнаружен ветвящийся сдвиговый разрыв (сейсмостектонический ров с погребенной палеопочвой). В урочище Печка задокументирован молодой надвиг, проникающий в позднеплейстоцен-голоценовые лёссы и почвенный покров. Уже в 1.5 км к северо-западу от урочища Печка, в районе затопленного античного городища Акра, задокументирован позднеголоценовый сдвиг-сброс с опущенным северо-восточным крылом (рис. 2в). 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 проникает на глубину порядка 9 км. Он имеет сбросовую морфологию с крутым падением на север и опущенным северо-восточным крылом. Здесь же, в опущенном крыле разлома, расположено затопленное античное городище Акра, где на глубине около 3 м обнаружены остатки оборонительной стены высотой до 1.5 м [Шилик, 1988; Вахонеев, 2015]. Удивительно хорошая сохранность подводной оборонительной стены свидетельствует о том, что она избежала длительного воздействие морских волн в волноприбойной зоне. Это дает основание предположить, что затопление городища произошло резко, в результате импульсной подвижки по разлому и погружению участка побережья. На северо-восточном фланге Тобечикский разлом представлен позднеголоценовым сбросом с правосдвиговой компонентой смещений. Изменчивость кинематики смещений в молодых отложениях связана с преобладанием сдвиговой компоненты смещений по разлому, не обнаруживаемой на геофизическом разрезе.

Профиль «Глазовка–Осовины»

Профиль пересекает Южно-Азовский активный разлом, который следует вдоль берега Азовского моря, выходя на сушу лишь на коротких отрезках [Никонов, 1994; Трифонов, Караханян, 2004; Овсяченко и др., 2017; 2017а]. Этот дизъюнктив представляет собой региональную границу Крымско-Кавказской гряды современных орогенических поднятий и погружающегося Индоло-Кубанского предгорного прогиба, представленного мелководной котловиной Азовского моря. Ранее разлом был изучен геофизическими методами в акватории Азовского моря [Геология..., 1992]. Зона разлома на каждом профиле меняет свой облик, количество индивидуальных разрывов, их наклон и величину в целом

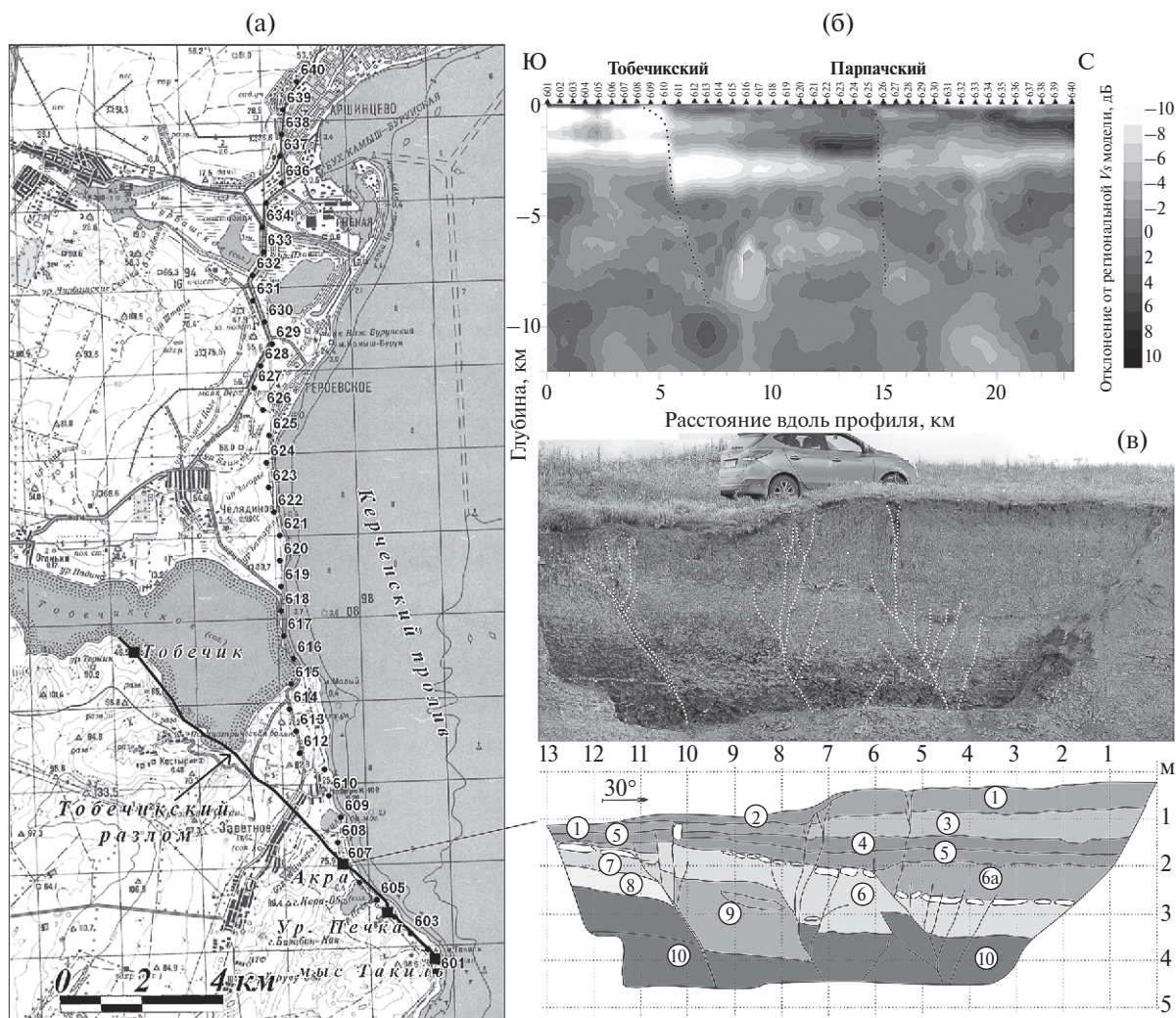


Рис. 2. Профиль «Заветное–Керчь»: (а) – положение профиля ММЗ, Тобечикского активного разлома и мест его детального изучения (квадраты); (б) – разрез ММЗ по профилю «Заветное–Керчь». Разломы показаны пунктирными линиями; (в) – молодые тектонические разрывы в районе античного городища Акра. 1–5 – позднеголоценовые почвенные горизонты; 6–10 – позднемиоценовые песчано-глинистые отложения. Не закрашено – песчаники.

незначительного вертикального смещения. Направленность смещений по разлому в вертикальной плоскости меняется в разновозрастных геологических комплексах – если в низах майкопской серии и мел-эоценовых отложениях по геофизическим данным фиксируется резкое погружение южного крыла, то на уровне неоген-четвертичных осадков это же крыло поднято. В изученных разрезах молодых отложений Южно-Азовский разлом демонстрирует чрезвычайно изменчивый облик – в районе мыса Борзовка и у п. Приазовский он представлен надвигами, а на окраине с. Юркино – пологим сбросом и субвертикальным правым сдвигом (рис. 3). Подобная изменчивость морфологии смещений по простиранию и разрезу является характерной

чертой сдвигов. Разнообразие структурных проявлений разлома определяется геоморфологическими условиями, уровнем эрозионного среза, литологическим составом деформируемого субстрата и ориентировкой конкретных разрывов относительно действующего поля напряжений.

На профиле ММЗ подошва верхнего низкоскоростного комплекса в зоне разлома не испытывает отчетливого вертикального смещения, что, скорее всего, связано со смещениями в горизонтальной плоскости (рис. 4). Ниже глубины 2 км прослеживается слабовыраженная низкоскоростная зона, которая на глубине 9–10 км обрывается локальным высокоскоростным включением изометричной формы.

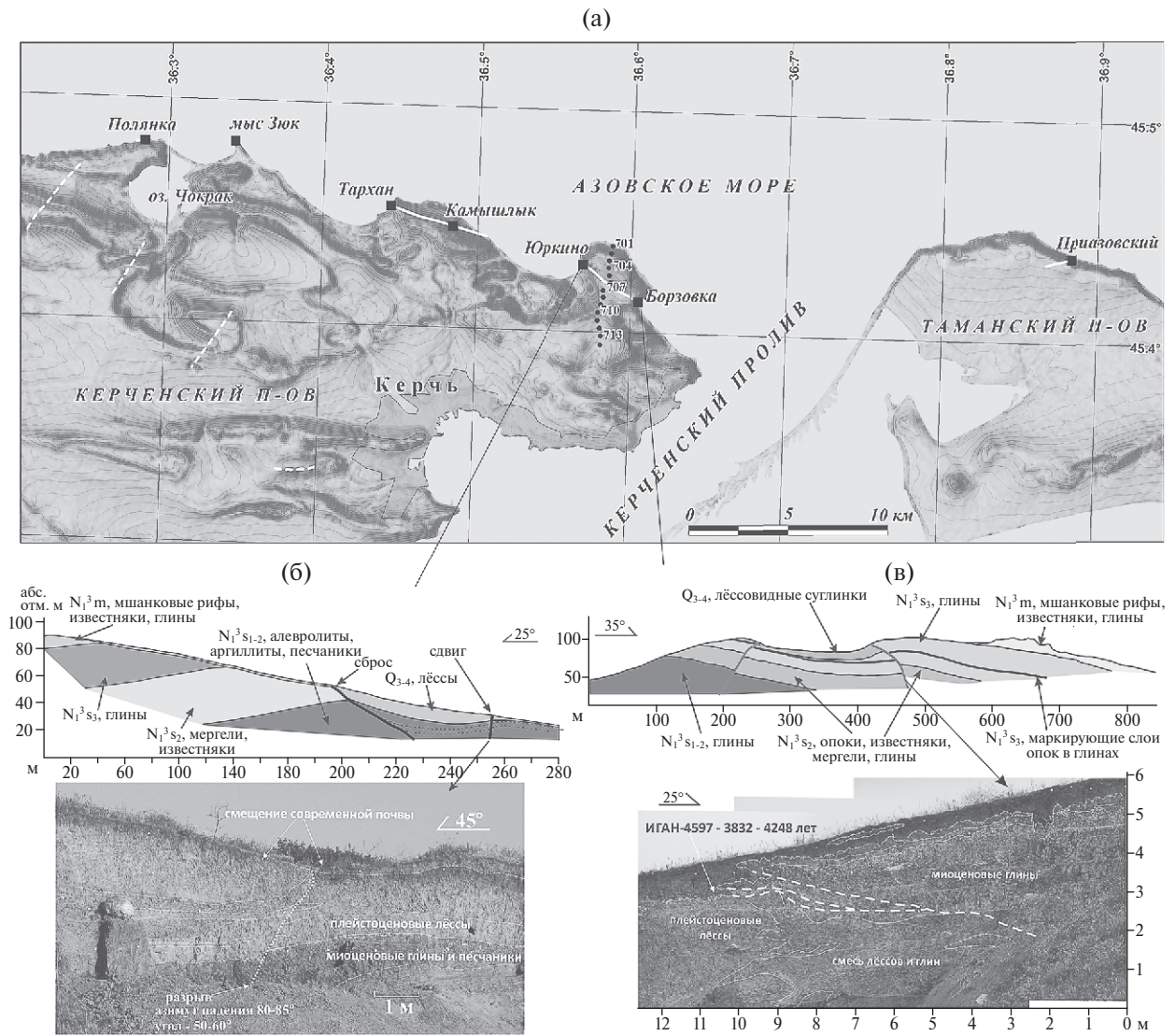


Рис. 3. Активные разломы в районе профиля «Глазовка–Осовины»: (а) – схема изученности Южно-Азовского разлома. Квадратами показаны места детального изучения разрезов со смещениями молодых отложений; (б) – геологический разрез молодой присдвиговой впадины на северной окраине с. Юркино и строение сдвига на южном ограничении тектонической впадины. Разрыв показан пунктирными линиями; (в) – геологический разрез тектонической впадины в районе мыса Борзовка и строение разрыва на СВ ограничении впадины. Разрывы показаны штриховыми линиями.

Профиль «Тузла»

В южной части разреза ММЗ по профилю «Тузла», четко на простирании Карabetовской антиклинальной гряды, в подошве верхнего низкоскоростного комплекса наблюдается резкая ступень (рис. 5). Интересно, что к югу от этой ступени на глубинах примерно 1.5–3 км наблюдается вытянутое в горизонтальной плоскости высокоскоростное включение, природа которого осталась неясна. В центральной части профиля, на глубинах примерно 5–15 км, четко выражена широкая

вертикальная низкоскоростная зона. Менее контрастно она проявлена до глубины примерно 25 км. В верхней части разреза, в районе ПК 227–226, наблюдается резкая вертикальная ступень в подошве верхнего низкоскоростного комплекса. На поверхности она отвечает Тузлинской флексурно-разрывной зоне. Целе-направленные поиски молодых смещений и проходка горных выработок позволили выявить флексурный изгиб голоценовых отложений в этой зоне без следов сейсмотектонических подвижек.

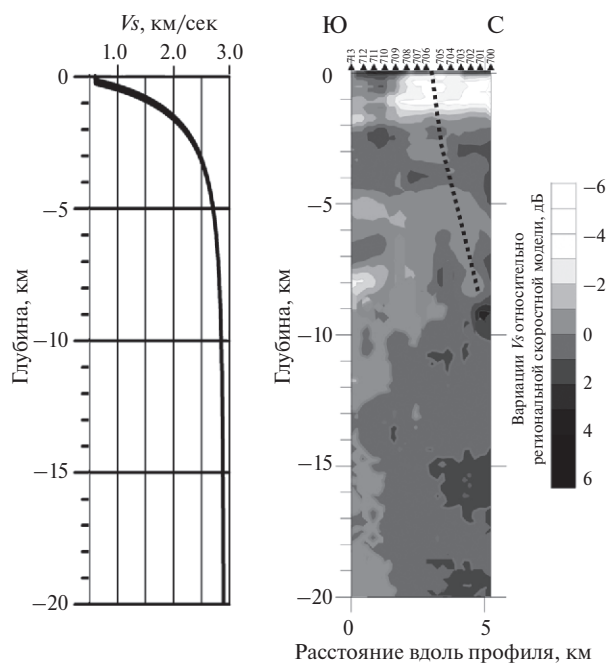


Рис. 4. Сглаженная региональная скоростная модель, используемая для всех профилей, и разрез ММЗ по профилю «Глазовка–Осовины». Южно-Азовский разлом показан пунктирной линией.

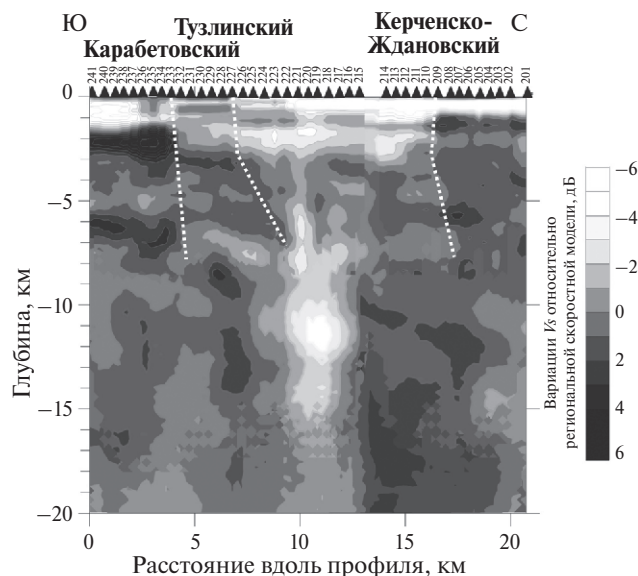


Рис. 5. Разрез ММЗ по профилю «Тузла». Разломы показаны пунктирными линиями.

В северной части профиля (ПК 208–210) на разрезе ММЗ выделяется еще одна резкая вертикальная ступень в подошве верхнего низкоскоростного комплекса. Можно полагать, что она отвечает молодому разрыву, восстанавливаемому А.А. Никоновым [1994] по значительному размаху высотных отметок морской

карангатской террасы позднеплейстоценового возраста, вытянутому вдоль Керченского пролива. Здесь по геофизическим данным выделяется Керченско-Ждановский разлом ССВ простирания [Чекунов, Маловицкий, 1975; Шнюков и др., 1981]. Смещение Таманского п-ова относительно Керченского позволяет предполагать левосдвиговую компоненту смещений по разлому в Керченском проливе. В то же время, по результатам непрерывного сейсмического профилирования в Керченском проливе, выявлены тектонические разрывы в неогеновых отложениях, по всей видимости, не проникающие в четвертичные осадки [Миронюк и др., 2016].

Профиль «Вышестеблиевская–Кучугуры»

В северной части разреза ММЗ по профилю «Вышестеблиевская–Кучугуры» четко выделяются близвертикальные зоны пониженной прочности, отвечающие разломам, в общих чертах обрамляющим Таманский залив с севера и юга (рис. 6). В приповерхностной части разреза наиболее отчетливо проявлена южная разломная граница, в четвертичных отложениях представленная Фанагорийской флексурно-разрывной зоной. Схожая структура на рис. 1, условно названная Фонталовским разломом, наблюдается в северной части профиля ММЗ. В разрезах позднечетвертичных отложений эти структуры выражены изгибами слоев, тогда как неогеновые осадки смяты в узкие антиклинальные складки, разорванные соскладчатыми взбросо-надвигами.

В Фанагорийской зоне обнаружены следы сильного землетрясения X в. На основе собранных геологических, геофизических и археосейсмологических данных выдвинута гипотеза о гибели расположенного на южном берегу Таманского залива средневекового города Фанагория в результате катастрофического землетрясения в X веке. По всей видимости, город оказался прямо в месте выхода очага сильного (9–10 баллов) землетрясения на поверхность, связанного с Фанагорийской флексурно-разрывной зоной [Овсюченко и др., 2017б]. На глубинах 2–7 км прослеживается узкая низкоскоростная зона. Ниже нее, на глубине 7–8 км расположено локальное высокоскоростное включение изометричной формы.

В южной половине профиль пересекает Карабетовскую антиклинальную гряду. В пределах этой гряды, на горе Карабетова расположен один

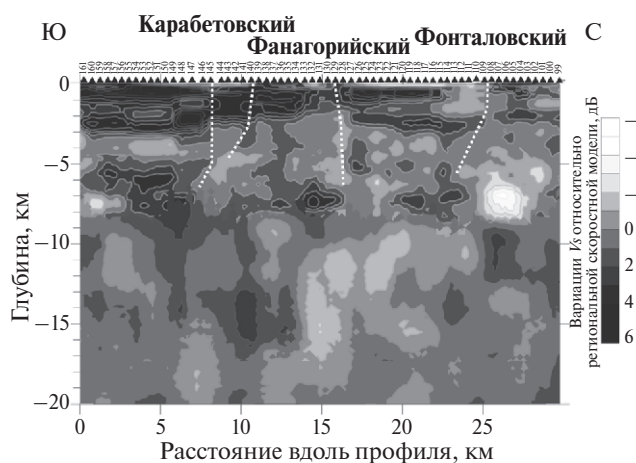


Рис. 6. Разрез ММЗ по профилю «Вышестеблиевская–Кучугуры». Разломы показаны пунктирными линиями.

из самых ярких и активных вулканов Керченско-Таманской грязевулканической провинции. Своими взрывными извержениями он периодически демонстрирует всю мощь этого, на первый взгляд безобидного природного явления. В результате полевых геологических исследований выявлена разломная зона, которая протягивается в осевую часть грязевулканической постройки горы Карабетова [Овсюченко, Сысолин, 2016]. В результате взрывного извержения 2001 г. здесь возникли импульсные разрывы дневной поверхности. Закономерные структурные парагенезы свидетельствуют о первично тектонической природе смещений по разломной зоне. В специально пройденной канаве было выяснено, что позднеголоценовые смещения по разлому происходят без резких вертикальных подвижек.

На разрезе ММЗ в пределах Карабетовской гряды в подошве верхнего слоистого комплекса (глубина 2–3 км), который здесь отличается относительно повышенными скоростями, выявлены две резкие ступени. Ниже они выражены неотчетливо. При исследованиях Карабетовской гряды выяснилось, что на поверхности здесь развиты многочисленные разломы [Овсюченко, Сысолин, 2016]. Они отличаются высокой современной подвижностью, с ними связаны разнообразные деформации земной поверхности, но они имеют небольшую длину в сотни метров – первые километры. По всей видимости, выявленные «приповерхностные» ступени соответствуют таким локальным разломам, связанным с грязевулканической деятельностью, складчатыми деформациями и развитым в верхней части осадочного чехла.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Среди выделенных разломных зон преобладают субширотные структуры, выраженные на поверхности антиклинальными грядами с цепочками грязевых вулканов. Не все из них имеют признаки сеймотектонического обновления в позднем голоцене. В этой связи чрезвычайно важны проведенные ранее исследования грязевого вулкана горы Карабетова методом микросейсмического зондирования [Собисевич и др., 2008]. Под Карабетовским вулканом, до глубины около 14 км, была выявлена относительно узкая, вертикальная низкоскоростная зона, ассоциируемая с насыщенным флюидами подводящим каналом. В свете полученных результатов образование ядра диапировой Карабетовской антиклинали и одноименного грязевого вулкана можно интерпретировать как результат глубинных процессов – давления флюидов, проникающих вдоль относительно узкой зоны с большой глубины, приводящего к разуплотнению и течению глини майкопской серии. Образование антиклинальной структуры в таком случае связывается не столько с региональным сжатием, сколько с изгибом перекрывающих майкопскую серию осадков под давлением проникающих из глубины разуплотненных подвижных масс. В целом, процессы разуплотнения и фазовых минеральных преобразований в грязевулканических очагах с физической точки зрения обнаруживают сходство с очагом тектонического землетрясения [Собисевич и др., 2005]. Разница между ними заключается в том, что грязевулканические очаги возникают в условиях, способствующих постоянному снятию напряжений.

На разрезах ММЗ в верхних 3–5 км наблюдается слоистый разрез, сложенный преимущественно майкопской серией, нарушенный в узких зонах тектонических деформаций. Интересно, что эта слоистая толща контрастно выделяется в разрезах ММЗ как относительным понижением (профили на Керченском п-ове и в проливе), так и повышением скоростей поперечных сейсмических волн (Таманский п-ов).

Такое различие в региональных скоростях верхней осадочной толщи может объясняться, с одной стороны, различной тектонической обстановкой на разных берегах Керченского пролива. Так, на рис. 2 видно, что Тобечикский разлом имеет сбросовый характер. Об этом свидетельствует очевидный разрыв низкоскоростного слоя, прослеживаемого вдоль всего разреза, со смещением в глубину, как минимум, на 2 км по линии разлома. Присутствие разлома

на поверхности подтверждается также морфологическими исследованиями. На север от линии разлома низкоскоростной слой приобретает слабо выраженный наклонный характер (рис. 2). Парпачский разлом не столь явно выражен в разрезе ММЗ. Тем не менее, по линии этого разлома также наблюдается разрыв и обратное смещение низкоскоростного слоя. Таким образом, можно констатировать опускание участка между Тобечикским и Парпачским разломами, что характерно для условий растяжения. Известно, что в условиях растяжения скорости сдвиговых сейсмических волн должны быть в среднем существенно ниже, чем скорости сдвиговых волн в условиях регионального сжатия.

В свою очередь, о тектонической обстановке регионального сжатия на Таманском берегу свидетельствует распространенность разломов нормального сдвига [Собисевич и др., 2008], что выражается в разрезе ММЗ по профилю «Вышестеблиевская–Кучугуры», проходящему по Таманскому берегу на удалении от Керченского пролива (рис. 1), а именно, скорости сдвиговых волн в диапазоне глубин 0–3 км существенно выше, чем на профилях «Заветное–Керчь», «Тузла» и «Глазовка–Осовины».

О более высокой консолидированности осадочных пород в Таманском регионе также свидетельствует широкое распространение подземных вод спорадического распространения, достигающих глубин 3280 м и более [Государственная..., 2001]. Водонасыщенные породы имеют более высокие скорости, а глубина их залегания хорошо коррелирует с профилем «Вышестеблиевская–Кучугуры».

Представленные в настоящей статье результаты позволяют оценить выраженность на поверхности узких зон молодых тектонических деформаций в строении верхнего слоистого комплекса и более глубоких горизонтов. Результаты палеосейсмологических исследований позволяют полагать, что Тобечикский, Парпачский, Южно-Азовский и Фанагорийский разломы представляют собой сейсмогенерирующие структуры.

Примеры активных разломов, хорошо изученных на поверхности, показывают, что по данным ММЗ такие структуры отчетливо выделяются смещениями слоев верхнего комплекса на глубине в первые километры. Ниже глубины примерно 5 км разломы проявлены по-разному. Так, в зоне Тобечикского разлома на глубине 9–12 км обнаруживается относительно «жесткое» высокоскоростное включение изометричной формы. В зоне Парпачского разлома, где выявлено смещение слоев верхней части разреза на меньшую

величину (примерно 0.5 км), ниже глубины около 5 км контрастные проявления не наблюдаются. Вдоль Карабетовской антиклинальной гряды на двух профилях ММЗ выявляются смещения подошвы «приповерхностного» слоистого комплекса, что позволяет говорить о приуроченности гряды к протяженной разломной зоне. Аналогичную протяженную структуру, выявленную на двух профилях, образуют Тузлинская и Фанагорийская флексурно-разрывные зоны. В пределах Тузлинской зоны выявлена широкая вертикальная низкоскоростная зона, обнаруживающая сходство с корнями грязевого вулкана горы Карабетова. Локальные разломы в пределах Карабетовской гряды связаны с грязевулканической деятельностью, складчатыми деформациями и развиты в верхней части осадочного чехла.

Особый интерес вызывают высокоскоростные включения изометричной формы, выявленные в зонах Тобечикского, Южно-Азовского и Фанагорийского разломов на глубинах 7–12 км. Вероятно, что эти «жесткие» включения представляют собой неоднородности земной коры, в которых значительно меняются механические свойства. Они могут рассматриваться в соответствии с представлениями И.П. Добровольского [2009] как неоднородности в области подготовки очага сильного землетрясения. В пользу сделанного предположения свидетельствует пространственная связь высокоскоростных включений с зонами активных разломов, служивших очагами сильных землетрясений в прошлом. Надо заметить, что осталась не ясна природа вытянутого в горизонтальной плоскости высокоскоростного включения в южной части профиля «Тузла». Это включение отличает то, что оно развито на небольшой глубине (1.5–3 км), в пластичных глинистых осадках позднекайнозойского чехла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использованный подход к выявлению сейсмогенерирующих структур, базирующийся на совместном применении взаимно дополняющих друг друга методов палеосейсмологии, неотектоники и ММЗ, показал свою высокую эффективность. Этот комплексный подход позволяет существенно расширить возможности оценки сейсмической опасности в детальном масштабе для недостаточно хорошо изученных регионов. К таким регионам относится и Керченско-Таманский, где сеймотектонические движения в недрах, на уровне условного жесткого фундамента, оказываются сильно искаженными

мощной толщей пластичных глинистых отложений, а на поверхности молодые тектонические разрывы замаскированы интенсивными экзогенными процессами. На глубине активные разломы подразделяются на выраженные низкоскоростными телами в земной коре и выраженные смещениями подошвы «приповерхностного» слоистого комплекса, но не проявленные в виде низкоскоростных зон. Причину отмеченных различий еще предстоит выяснить. Заслуживает внимания обнаружение в зонах Тобечикского, Южно-Азовского и Фанагорийского разломов на глубинах 7–12 км высокоскоростных включений изометричной формы. Такие участки особенно интересны для постановки повторных измерений ММЗ в целях сейсмического прогноза.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-05-06197, 18-05-01004, 18-55-18014 Болг_а) и в рамках Государственного задания ИФЗ РАН, а также гранта Президента Российской Федерации для поддержки научных школ № НШ-5545.2018.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ананьин И.В.* Сейсмичность Северного Кавказа. М.: Наука. 1977. 148 с.
- Аракелян Ф.О.* Исследование раскопок античных сооружений на Керченском п-ове для оценки интенсивности разрушительных землетрясений // Изв. АН АрмССР. Науки о Земле. 1983. XXXVI. № 4. С. 40–49.
- 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.
- Блаватский В.Д.* Землетрясение 63 г. до н.э. на Керченском полуострове // Природа. 1977. № 8. С. 56–57.
- 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. 1999. С. 101–132.
- Вахонеев В.В.* Подводное городище Акра и изменение уровня моря в IV в. до н.э. // Боспорские чтения. Вып. XVI. Керчь. 2015. С. 43–47.
- Винокуров Н.И., Никонов А.А.* О следах землетрясений античного времени на западе Европейского Боспора // Российская археология. 1998. № 4. С. 98–115.
- Геология и геодинамика района Крымской АЭС / Отв. ред. Н.М. Гавриленко, А.В. Чекунов. К.: Наукова думка. 1992. 188 с.
- 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.
- Горбатилов А.В., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Степанова М.Ю., Ларин Н.В.* Сеймотектоника и глубинное строение зоны Владикавказского активного разлома // Геофизические исследования. 2011. Т. 12. № 1. С. 47–59.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание второе. Серия Кавказская. Листы К-38-VIII, XIV. Объяснительная записка. 2001.
- Добровольский И.П.* Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. М.: Физматлит. 2009. 240 с.
- Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С.* Сейсмические деформации в древнем городе Илурате // Природа. 2016. № 10. с. 30–38.
- Корженков А.М., Ломакин Д.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А.* О следах сильных позднесредневековых землетрясений в комплексе медресе – мечеть Узбека (г. Старый Крым) // Геофизические процессы и биосфера. 2017. Т. 16. № 3. С. 5–28.
- Корсаков С.Г., Зарубин В.В., Соколов В.В., Черных В.И., Прокуронов П.В., Сааков В.Г., Ослопов Д.С.* Геологическая карта РФ масштаба 1 : 200000. Серия Кавказская, листы L-37-IX, L-37-XV (Тамань). СПб.: изд-во карт. фабрики ВСЕГЕИ. 2001. 106 с.
- Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю.* Особенности глубинного строения зоны трещинных Толбачинских извержений (Камчатка, Ключевская группа вулканов) по комплексу геолого-геофизических данных // Физика Земли. 2018. № 3. С. 60–83.
- Масленников А.А.* О локальных геоморфологии, палеосейсмизме и археологии Крымского Приазовья или по следам древних землетрясений // Древности Боспора. Т. 17. 2013. С. 232–253.
- Масленников А.А., Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.В.* Следы сильных землетрясений на городище Полянка и Южно-Азовский активный разлом // Древности Боспора. Т. 21. 2017. С. 265–294.
- Миронюк С.Г., Росляков А.Г., Корост Д.В.* Геологические опасности Керченского пролива // Геориск. 2016. № 4. С. 20–31.

- 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.* Сейсмогеодинамика Крымского региона (по материалам за последние 2.6 тыс. лет). Материалы XLVIII Тектонического совещания. Т. 2. М.: Геос. 2016. С. 43–48.
- 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., Сысолин А.И.* Геологические исследования эндогенных природных опасностей Таманского полуострова // Геология и геофизика юга России. 2016. № 1. С. 91–101.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А.* Новые сведения об очагах сильных землетрясений в районе Керченского полуострова // Докл. РАН. 2017а. Т. 472. № 1. С. 89–92.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Вакарчук Р.Н., Горбатиков А.В., Ларьков А.С., Рогожин Е.А., Сысолин А.И.* Следы сильного землетрясения в средневековом городе Фанагория на Таманском полуострове // Геология и геофизика юга России. 2017б. № 3. С. 78–94.
- Палеосейсмология. В 2-х томах / Ред. Дж.П. Мак-Калпин. М.: Научный Мир. 2011.
- Пустильников М.Р., Чекунов А.В.* Индоло-Кубанский передовой прогиб. Геофизические исследования и тектоника юга Европейской части СССР. К.: Наукова думка. 1969. С. 190–210.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Горбатиков А.В., Лутников А.И., Новиков С.С., Мараханов А.В., Степанова М.Ю., Андреева Н.В., Ларьков А.С.* Детальная оценка сейсмической опасности территории Калининграда и тектонический анализ землетрясений 2004 г. // Инженерные изыскания. 2014. № 12. С. 26–39.
- Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Овсяченко А.Н.* Глубинное строение и активная тектоника зоны перехода от Западного Кавказа к Восточному Крыму. Материалы XLVII Тектонического совещания. Т. 2. М.: Геос. 2015а. С. 104–108.
- Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Овсяченко А.Н., Андреева Н.В., Харазова Ю.В.* Структура и современная геодинамика мегантиклинория Большого Кавказа в свете новых данных о глубинном строении // Геотектоника. 2015б. № 2. С. 36–49.
- Самулева В.И., Балакина А.А., Алейникова П.К.* Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Крымская, листы L-37-XIX/XXV (Керчь) / под ред. М.В. Муратова. К.: Киевгеология. 1970.
- Собисевич А.Л., Лаверова Н.И., Собисевич Л.Е., Микадзе Э.И., Овсяченко А.Н., Башорин В.Н., Пронин А.П., Гурбанов А.Г., Шевченко А.В.* Сейсмоактивные флюидно-магматические системы Северного Кавказа и прилегающих территорий. М.: ИФЗ РАН. 2005. 225 с.
- Собисевич А.Л., Горбатиков А.В., Овсяченко А.Н.* Глубинное строение грязевого вулкана горы Карабетова // Докл. РАН. 2008. Т. 422. № 4. С. 542–547.
- Трифонов В.Г., Кожурин А.И., Лукина Н.В.* Изучение и картирование активных разломов. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Т. 1. М.: ОИФЗ РАН. 1993. С. 196–206.
- Трифонов В.Г., Караханян А.С.* Геодинамика и история цивилизаций. М.: Наука. 2004. 668 с.
- Хапаев В.В.* Крымские землетрясения древности и средневековья: к истории вопроса. Материалы по археологии и истории античного и средневекового Крыма. 2008. Вып. 1. С. 89–116.
- Чекунов А.В., Маловицкий Я.П.* Глубинные разломы и блоковое строение земной коры. Земная кора и история развития Черноморской впадины. М.: Наука. 1975. С. 308–316.
- Шилик К.К.* Еще один город на дне Керченского пролива. Человек, море, техника. Л.: Судостроение. 1988. С. 191–193.
- Шнюков Е.Ф., Аленкин В.М., Путь А.Л., Науменко П.И., Иноземцев Ю.И., Скиба С.И.* Геология шельфа УССР. Керченский пролив. К.: Наукова думка. 1981. 160 с.
- Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И., Науменко П.И., Кутний В.А.* Грязевые вулканы Керченско-Таманской области: Атлас. Киев: Наук. думка. 1986. 152 с.
- Traina G.* From Crimea to Syria. Re-defining the alleged historical earthquake of 63 B.C. // Annali di geofisica. 1995. V. XXXVIII. № 5–6. P. 479–489.

Microseismic Sounding and Active Faults of the Kerch-Taman Region

**A. N. Ovsyuchenko^{a,*}, A. V. Gorbaticov^a, E. A. Rogozhin^a, N. V. Andreeva^a,
M. Yu. Stepanova^a, A. S. Lar'kov^a, and A. I. Sysolin^a**

^aSchmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia

**E-mail: ovs@ifz.ru*

Received June 6, 2018

The results of integrated geological and geophysical studies of active faults and deep structure of the Kerch-Taman region are presented. Data on the deep structure of potential sources of strong earthquakes determining the level of seismic hazard are obtained. Examples of the active faults, well studied on the surface, show that these structures are clearly spotted by microseismic sounding method as the displacements of contrasting layers in the section at a depth of a few km or as narrow low-velocity bodies. In the zones of the Tobechnik, South Azov, and Phanagoria faults at depths of 7–12 km, high-velocity isometric inclusions are established. These segments are especially important for making their repeated MSM measurements for seismic forecasting purposes.

Keywords: active faults, microseismic sounding method (MSM), deep structure, paleoseismology, seismotectonics, Kerch Peninsula, Taman Peninsula.