

Подымов Игорь Семенович,

ведущий научный сотрудник Лаборатории литодинамики и геологии, Южное отделение института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Геленджик
ipodymov@inbox.ru

Подымова Татьяна Михайловна,

научный сотрудник Лаборатории литодинамики и геологии, Южное отделение института океанологии им. П.П.Ширшова РАН, г. Геленджик
tpodymova@inbox.ru

Геозкологическая оценка развития опасных природных процессов побережий Азовского и Черного морей в Таманском регионе

Аннотация. Работа посвящена геозкологической оценке развития опасных природных процессов побережий Черного и Азовского морей в пределах Таманского полуострова. Особое внимание уделено фактору тектонической нестабильности региона. На примере произошедших событий показано, что по степени остроты этот фактор должен стоять на первом месте в геозкологической оценке риска.

Ключевые слова: Таманский полуостров, геозкологический риск, прибрежная зона, Черное море, Азовское море.

Введение

Интенсивное хозяйственное освоение прибрежной зоны Черного и Азовского морей требует решения важных геозкологических задач. Оценка геозкологического риска, как правило, включает в себя количественную оценку разрушений от воздействия волновых и обвально-оползневых процессов, подтоплений паводковыми и нагонными водами, техногенных операций. Такая оценка осуществляется с целью разработки превентивных мероприятий по снижению влияния перечисленных процессов на трансформацию прибрежной полосы.

Многолетний мониторинг прибрежной зоны Таманского полуострова показал, что все перечисленные оценки геозкологического риска недостаточны для решения проблем взаимодействия экосистем региона и населения. Геологическая структура полуострова имеет сложный характер. Тектоническая нестабильность земной толщи в регионе может привести к непредсказуемым последствиям. Целью исследований стала оценка условий развития опасных природных процессов в пределах Таманского полуострова по степени остроты геозкологического риска.

Натурные исследования

Объект и предмет исследований. Основным объектом исследований стала прибрежная зона Черного и Азовского морей в пределах Таманского полуострова. В геотектоническом отношении Таманский полуостров, вместе с Керченским, относят к области крупного наложенного поперечного прогиба, обособление которого связано с кайнозойским этапом развития этой территории. Прогиб своей северной частью залегает на платформенном основании, южной наложен на складчатые сооружения Крыма и Кавказа и выполнен мощной толщей молассовых отложений альпийской орогенной формации [1], [2]. Орогенные формации образуются в результате горообразовательных процессов. По строению и составу они являются переходными от геосинклинальных формаций к платформенным.

Общая мощность отложений осадочной толщи исследуемого района достигает 10-12 км, из которых 5-6 км приходится на отложения пластических глин майкопа.

Геолого-геофизическими исследованиями и космической съемкой на поверхности полуострова установлено большое количество тектонических нарушений, геологических структур, грязевых вулканов. Благодаря довольно однообразным условиям складкообразования, сложившимся в кайнозое (в период опусканий на участке Керченско-Таманского прогиба), на Таманском полуострове и в прилегающей части шельфа в отложениях от олигоцена до плиоцена сформировались системы линейно вытянутых антиклинальных зон, представленных цепочками брахиформных складок почти широтного простирания (рис. 1).

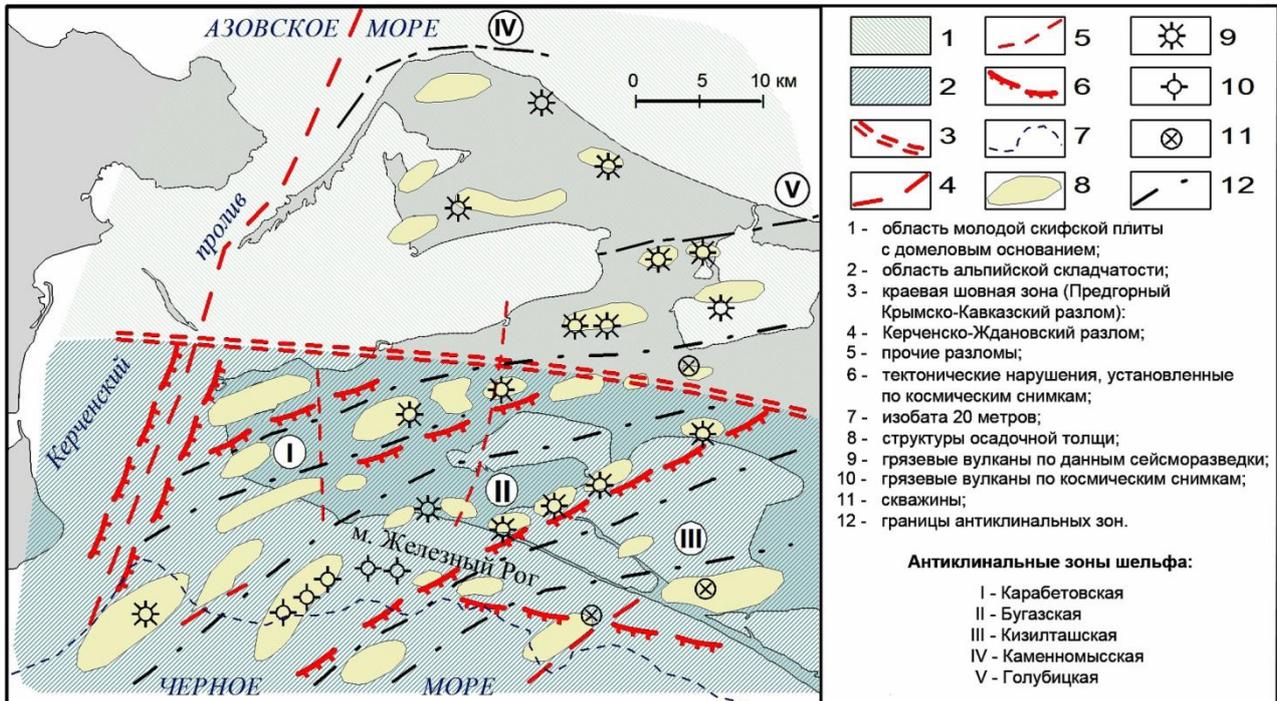


Рис. 1. Карта структурно-тектонического районирования Таманского полуострова.

В современной складчатости Таманского полуострова и шельфа выделяют 8 антиклинальных зон. По выходам разновозрастных отложений в сводах складок можно выделить складки, выраженные рельефнее других. К таковым относятся Карабетовская и Бугазская антиклинали. Складки антиклинальных зон характеризуются резко выдвинутым вверх по вертикали ядром, сложенным пластичными глинами майкопа. Для Карабетовской антиклинали это очевидно и по данным поверхностных наблюдений. Она имеет ассиметричное строение: крутое (50-60°) южное крыло, пологое (30-40°) северное и осложнена грязевым вулканизмом. Мысы Тузла, Панагия и Железный Рог образованы выходами мшанковых известняков и железорудных пород. Дно в этом регионе изобилует подводными банками и рифами.

Ведущую роль в Таманском районе играют субмеридиональные разломы, влияющие на простирание геологических структур. Поперечные разломы в верхнем структурном этаже выражены флексуобразным перегибом. Региональные разломы располагаются между различно развивающимися блоками фундамента и представляют собой зоны дробления земной коры. Эти разломы обеспечивают автономность развития блоков фундамента и представляют собой зоны их подвижного сопряжения.

В общем, движения земной коры состоят из быстрых (сейсмических) и медленных (вековых) тектонических проявлений. Сейсмические деформации фиксируются и количественно оцениваются инструментальными наблюдениями

(результаты нивелирования, уровнемерные наблюдения). Они характеризуют динамику тектонических процессов за период 50-100 лет. Археологические данные позволяют установить движения земной коры на протяжении многих тысяч лет. Таманский регион характеризуется как большими скоростями вертикальных движений земной коры (от -1,6 до +0,8 мм/год) [3], так и большими скоростями горизонтальных перемещений. Например, Керченский полуостров приближается к Таманскому со скоростью 2,9 мм/год [4].

По этой причине состояние земной коры в регионе характеризуется как напряженно-деформированное. Активность тектонических процессов способствует дополнительной абразии береговой линии, а также созданию предпосылок возникновения экстремальных ситуаций. Согласно теории упругой отдачи [5], «...после «срыва» крыльев сейсмогенного разлома и следующего за ним землетрясения требуется некоторый временной интервал для накопления новых напряжений, способных превысить предел длительной прочности пород и привести к очередному нарушению связности массива...». Т.е., для каждой уязвимой, в плане тектонического строения, территории морского побережья существует цикличность возникновения опасных явлений.

Основными предметами исследований стал поиск мест с большой вероятностью возникновения описанных ситуаций, а также разработка метода их прогнозирования.

Материалы и методы исследований

Материалы, касающиеся геологического строения региона, скоростей развития абразионно-оползневых процессов прибрежной полосы, проявления неординарных геологических событий, взяты из открытых публикаций.

Инструментальные данные получены в процессе полевых и стационарных наблюдений, проводимых сотрудниками лаборатории литодинамики и геологии Южного отделения Института океанологии РАН за период 2011–2017 гг.

Краткий обзор результатов экспериментов

Протяженность береговой линии Таманского полуострова от г. Темрюк до г. Анапа составляет, примерно, 230 км. Абразионные, абразионно-оползневые и абразионно-обвальные разрушения береговой структуры охватывают 60 км (26%) морского побережья (рис. 2). Из них 30 км (13%) приходится на Азовское море (участок прибрежной полосы от поселка Пересыпь до поселка Ильич), 30 км (13%) – на Черное море (прибрежная полоса от поселка Тамань до поселка Веселовка).

Средние скорости отступления берегов с перечисленным типом разрушений составляют 1,0-1,5 м/год, максимальные – 4,0-6,0 м/год. Абразионно-обвальный тип берега характерен для суглинистых и глинистых структур. Для них отмечаются повышенные скорости абразии (1,8-2,5 м/год). Такой тип берега характерен для выделенной береговой линии побережья Азовского моря (рис. 2). Абразионно-оползневой берег существует там, где есть выходы песчаных толщ. К такому типу берега относится берег Черного моря, отмеченный на рис. 2. Зафиксированные здесь скорости разрушения берега лежат в диапазоне 0,5-0,6 м/год.

Районирование прибрежной зоны Таманского полуострова по проявлению абразионных процессов ранее проводилось многократно [6]. В нашей работе оно приведено лишь с целью представления участков побережья, для которых характерны повышенные скорости абразии. Если же в потенциально опасных участках прибрежной полосы дополнительно возникнут аномалии, связанные с тектонической нестабильностью земной толщи, последствия их воздействия на окружающую обстановку существенно возрастают. Опасность таких аномалий, на примере двух событий последних лет, будет показана ниже.



Рис. 2. Таманский полуостров и разрушающиеся берега побережья.

На рис. 3А и рис. 3Б показаны, соответственно, характерные береговые структуры для упомянутых типов берегов Азовского и Черного морей.



Рис. 3. Абразионно-обвальный тип берега Азовского побережья (А) и абразионно-оползневой берег у поселка Веселовка (Б).

Повышенная скорость отступления берега Азовского моря связана, дополнительно, с высокой повторяемостью ветров северо-восточного направления [7] (рис. 4).

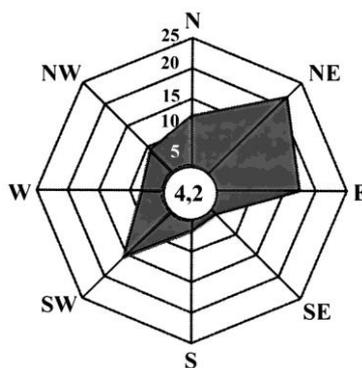


Рис. 4. Повторяемость (%) направлений ветра и штилей (в кружке) над территорией Таманского полуострова.

Экстремальное событие №1. В ночь с 29 на 30 апреля 2011 года в районе мыса Каменный произошло высокоамплитудное неотектоническое поднятие участка дна Азовского моря с захватом береговой полосы. Длина поднятия составила 475 м, максимальная ширина обнажившегося морского дна – 65 м. Амплитуда поднятия морского дна относительно уровня моря – более 5 м [8]. В момент произошедшего события поверхность Азовского моря была покрыта белой пеной. На поверхности обнаженного дна зафиксированы фрагменты выброса брекчии (рис. 5).



Рис. 5. Фрагменты выброса брекчии на поверхности поднявшегося морского дна.

Явного извержения грязевого вулкана на суше не произошло. Возможно, это связано с тем, что кратер вулкана находится под водой, в 400 м от берега (рис. 6), и основное извержение произошло там. Но мы не исключаем варианта, что до крупного извержения вулкана не дошло. Под водой произошел некоторый выброс продуктов грязевулканической деятельности, а на периферии кратера (на берегу) произошли деформации коренных пород, локальные выбросы грязи и прорыв газов.



Рис. 6. Карта взаимного расположения поверхности обнажившегося дна и кратера подводного вулкана.

Спутниковые снимки мыса Каменный до неотектонического события и на следующий день после него показаны на рис. 7.

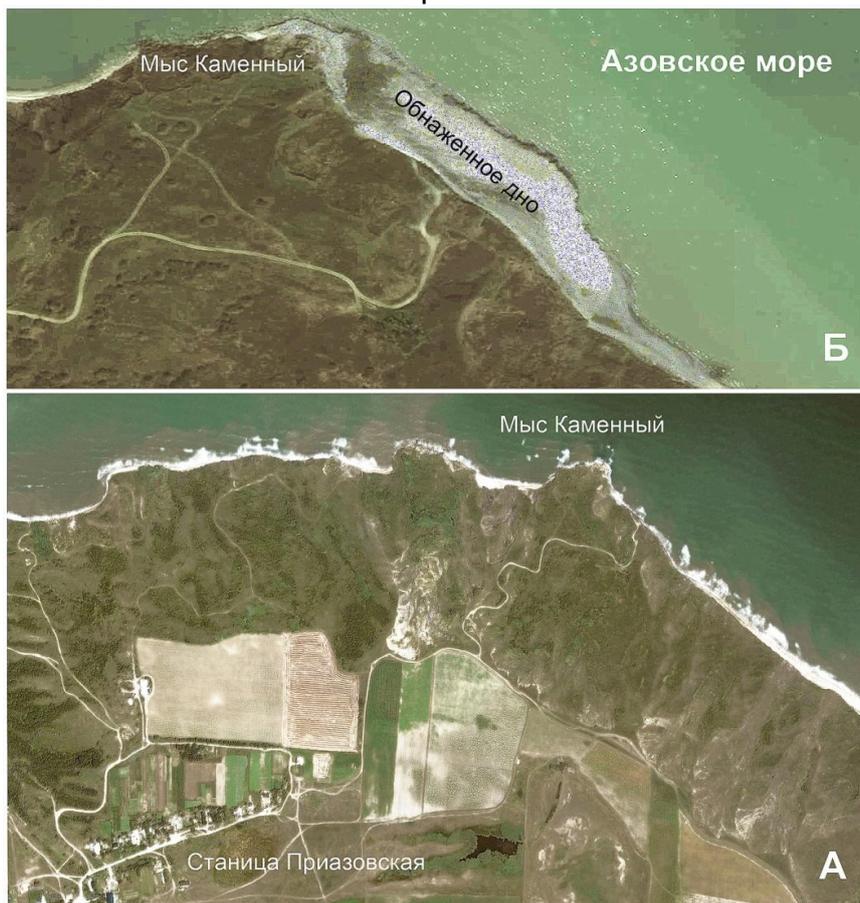


Рис. 7. Спутниковые снимки мыса Каменный: А) 29 апреля 2011 года; Б) 30 апреля 2011 года.

3-х летний мониторинг территории неотектонического поднятия позволил зафиксировать вертикальное перемещение поднявшегося участка суши относительно уровня моря (рис. 8).

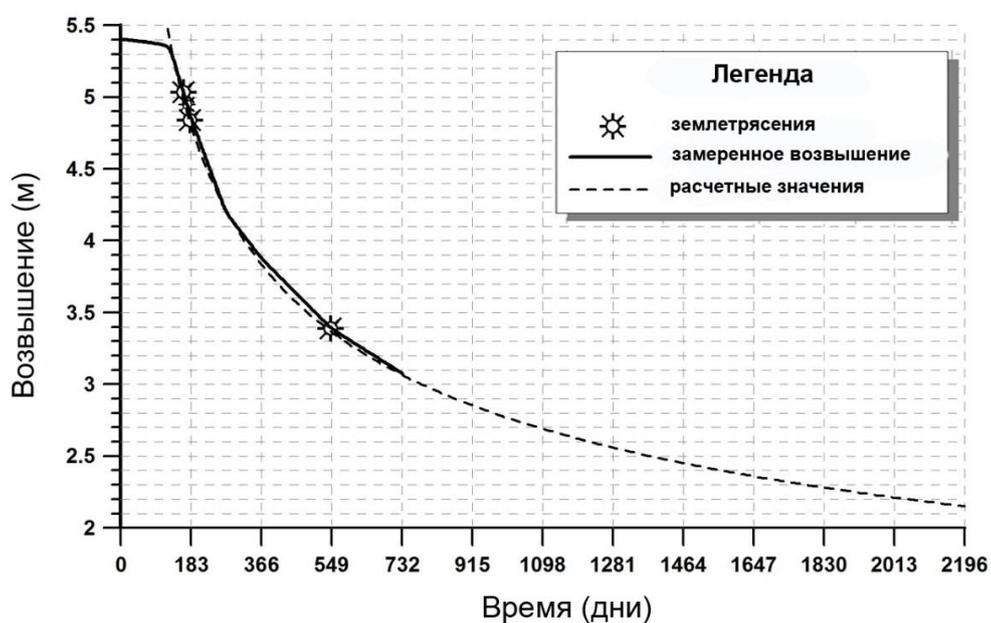


Рис. 8. Изменения возвышения поверхности мыса Каменный над уровнем моря: данные наблюдений и математическая модель.

Аппроксимация данных мониторинга позволила математически описать временную зависимость возвышения аномального участка суши над уровнем моря. Найденное уравнение имеет вид: $\ln(Y) = -0,3228030356 \ln(61X/2) + 2,146247748$, где Y – возвышение поверхности наблюдаемого участка над уровнем моря, м; X – время, дни.

Скорость опускания поверхности легко определить по этому уравнению. Согласно модели, тектоническая плита верхнего структурного этажа вернется в исходное состояние, примерно, через 37 лет.

О чем это говорит. Это говорит о том, что через рассчитанный промежуток времени напряжение контактирующих плит достигнет критического уровня и будет близко к пределу длительной прочности пород. Любое воздействие извне приведет к нарушению связности массивов и очередному проявлению природной аномалии. Другими словами можно сказать, что цикличность проявления опасной ситуации для Каменномысской антиклинали составляет 35-40 лет. Новый предел критического напряжения «созреет» к 2048 году.

Сделанные нами выводы косвенно подтвердили жители поселка Приазовский, который находится в непосредственной близости от мыса Каменный. С их слов аналогичное событие произошло в этом же месте 37 лет назад, в 1974 году.

Что же могло подтолкнуть к «срыву» заземленных друг с другом крыльев сейсмогенного разлома? Гипотеза причинно-следственной связи произошедшего события достаточно подробно описана в [9]. По данным Incorporated Research Institutions for Seismology (США) [10] построены карты распространения сейсмических колебаний в процессе землетрясения Tohoku, известного как Фукусимское. На рис. 9 представлены сейсмограммы распространения разных типов сейсмических волн по земному шару во время землетрясения. Сейсмограммы показывают, что первыми к Таманскому региону пришли Р-волны. Они оказались там через 12 минут после начала землетрясения. Через 37 минут дошли колебания, распространяющиеся по поверхности земли.

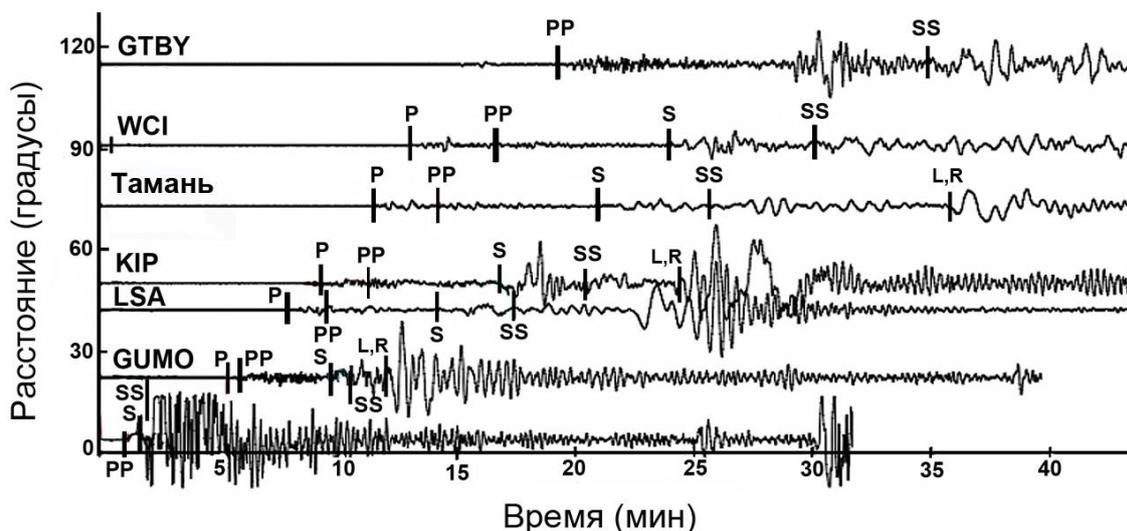


Рис. 9. Сейсмограммы распространения волн в процессе землетрясения Tohoku (11.03.2011). Горизонтальные оси подписаны названиями мест, где производилась запись колебаний земли.

Комментарии к рис. 9. Сейсмические волны делятся на три основных типа: Р – компрессионные волны; S – волны сдвига; поверхностные волны типа L (колебания, параллельные поверхности земли) и типа R (волны Релея, эллиптические колебания, перпендикулярные поверхности земли). Графически, разновидность сейсмических волн показана на рис. 10. Р-волны имеют самую высокую скорость (до 13 км/с) и проходят через внутреннее и внешнее ядро земли, мантию и земную кору.

S-волны имеют скорость до 7 км/с и проходят только через мантию и земную кору. L и R волны имеют самую низкую скорость (до 3,8 км/с). Они распространяются только в земной коре, имеющей толщину 60 – 90 км от поверхности земли.

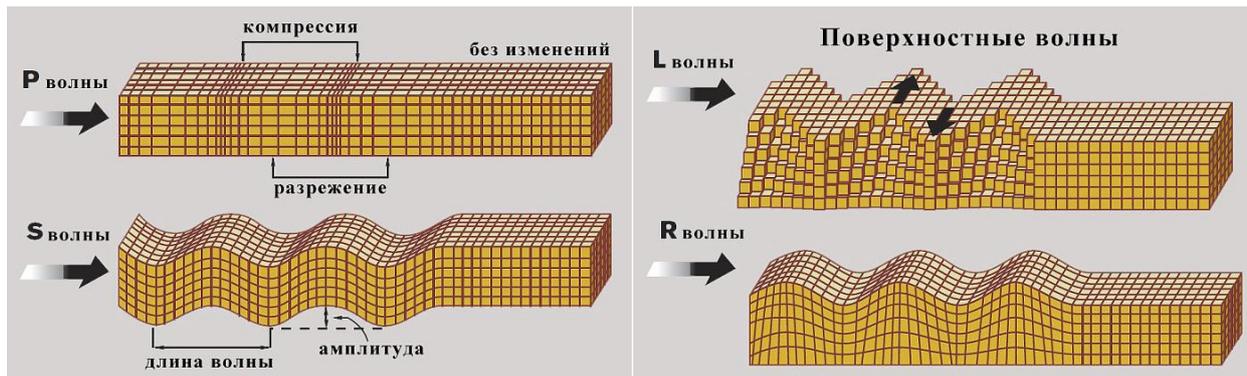


Рис. 10. Типы сейсмических волн.

Схемы распространения сейсмических волн по направлению к Таманскому полуострову показаны на рис. 11.

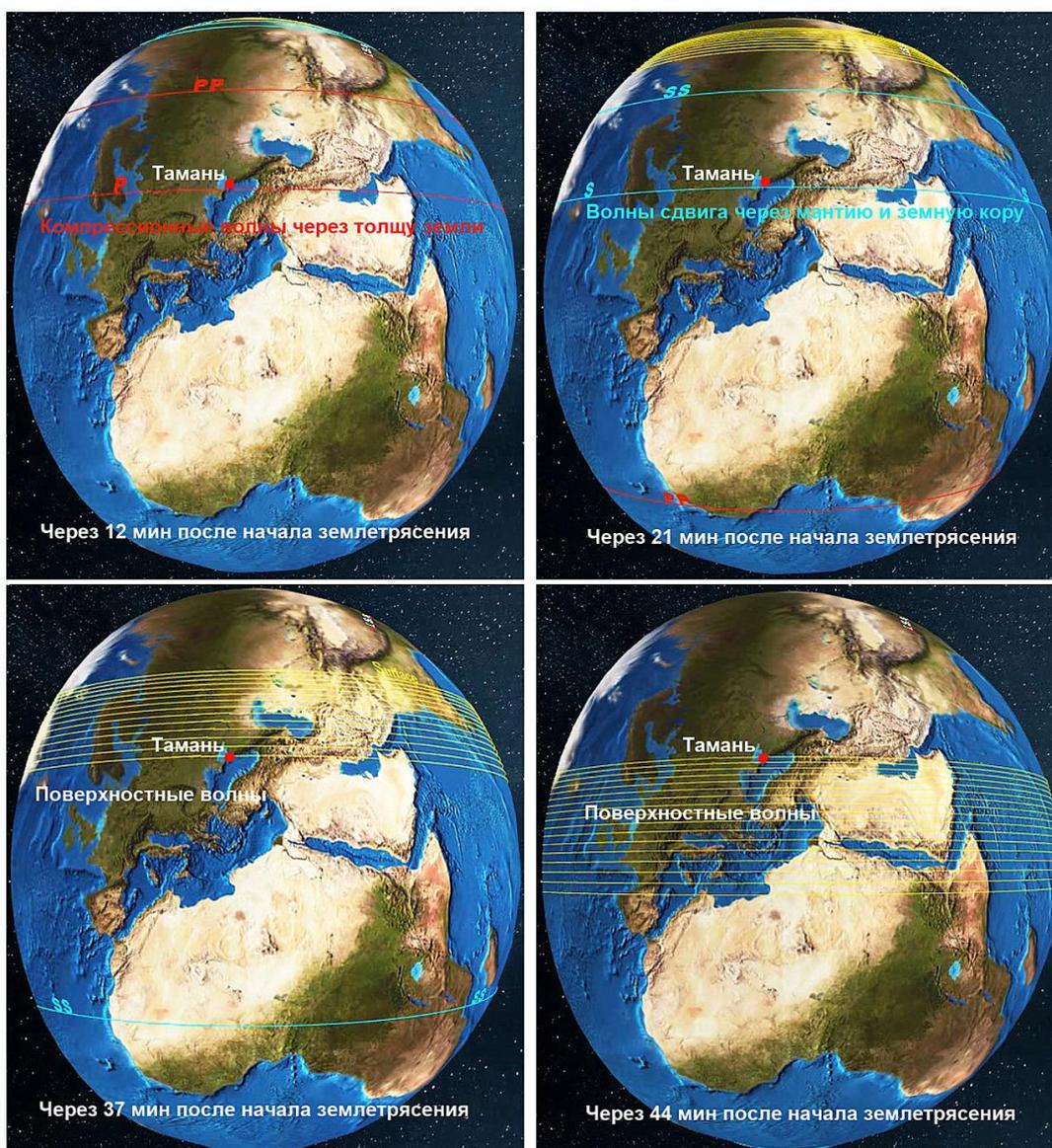


Рис. 11. Схемы распространения сейсмических волн от эпицентра по направлению к Таманскому полуострову с момента начала землетрясения Tohoku (11.03.2011).

Статистика сейсмонаблюдений за процессом распространения колебаний земной поверхности при известных катастрофических землетрясениях показывает, что недостижимых точек на земле не существует. Из сейсмограмм рис. 9 видно, что существенное (на 2 порядка) превышение колебаний земной коры в Таманском регионе относительно фона могло спровоцировать апрельскую аномалию 2011 года.

Природная аномалия №2. Еще один яркий пример события, повторяющегося с пугающей периодичностью. Более 100 лет в черте поселка Голубицкий происходит извержение подводного грязевого вулкана один раз в 6-8 лет. В 1908 году произошло извержение вулкана на суше. В настоящее время на этом месте, в старой кальдере вулкана, существует грязевое озеро. В 2000 году извержение происходило в море, в 300 м от берега. В процессе извержения образовался остров. В июне 2008 года извержение произошло, примерно, в 100 м от берега. 25 октября 2015 года произошло новое извержение. Образовался остров, по размерам превышающий остров от предыдущего извержения в несколько раз. Ближайшая кромка острова находилась от берега примерно на том же расстоянии, что и после предыдущего извержения. На рис. 12 приведены места перечисленных извержений.



Рис. 12. Позиции зафиксированных извержений Голубицкого подводного вулкана за период 1908 – 2015 г.г.

Что можно сказать об этом событии? Во-первых, цикличность разрядки предельно допустимых тектонических напряжений для Голубицкой составляет 6-8 лет. Следующего извержения следует ожидать, примерно, в 2023 году. Из рисунка видно, что точка извержения мигрирует. Не исключена возможность ее смещения в сторону поселка. Немаловажным является и фактор интенсивного выброса радона во время извержений. Сделанные в 2011 году замеры на мысе Каменный показали превышение объемной активности радона относительно фона в 800 раз. Распад 97% радона происходит только через 20 суток после выброса. Все это время население будет подвергаться повышенному радиоактивному облучению.

На рис. 13 показаны фрагменты двух извержений вулкана и сформировавшиеся после каждого извержения острова.

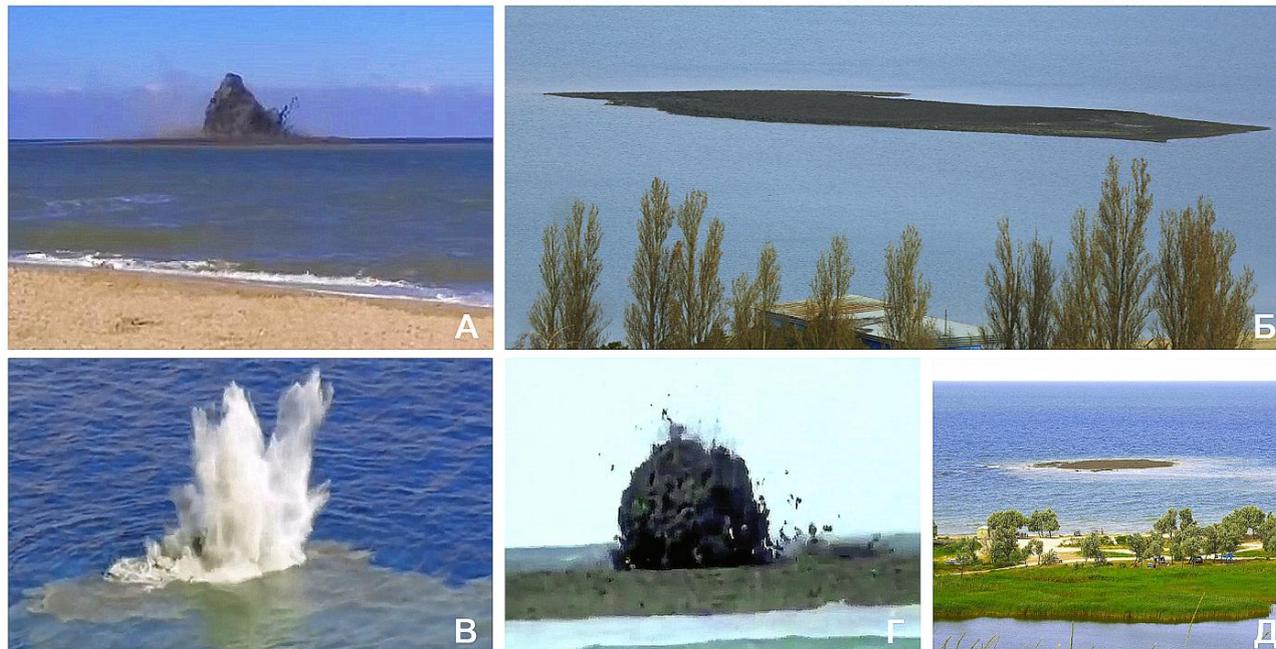


Рис. 13. Фрагменты извержения подводного вулкана и сформировавшиеся после каждого извержения острова: А – 25 октября, 2015 г.; Б – 05 декабря 2015 г.; В, Г – июнь 2008 г.; Д – 01 июля 2008 г.

В статье приведены только самые яркие события последних лет. Подробно рассмотреть все потенциально опасные ситуации для территории полуострова не позволяют размеры публикации. По этой причине в работе показаны (рис. 14) лишь места возможного проявления опасных природных явлений, связанных с тектонической нестабильностью. Привести к срыву «неустойчивой стабильности» могут события глобального масштаба, произошедшие в любом месте земного шара.

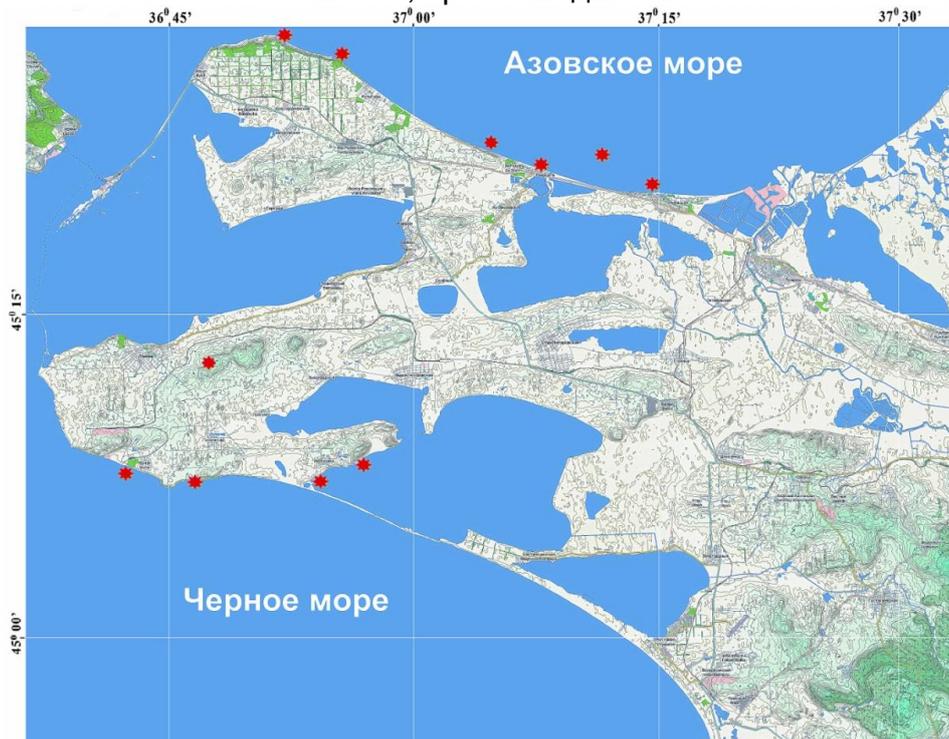


Рис. 14. Потенциально опасные места Таманского полуострова, связанные с тектонической нестабильностью.

Прогнозирование чрезвычайных ситуаций

Очень кратко попробуем описать один из методов прогнозирования, который был обнаружен случайно. С января 2016 года осуществляется непрерывный мониторинг флуктуаций объемной активности радона (ОАР) в приземном слое атмосферы. Концентрация радона фиксируется спектроскопическим методом. Отсчет и запись показаний производятся ежечасно с осреднением в движущемся окне шириной 24 часа. Изначально целью эксперимента был поиск закономерностей между флуктуациями ОАР и сезонным изменением метеопараметров. Помимо решения поставленных задач выявлена связь экстремальных значений ОАР с тектонической активностью. Покажем на примерах, как это выглядит. На рис. 15 приведена гистограмма флуктуаций объемной активности радона за 2016 год относительно ее среднего значения за весь период наблюдений.

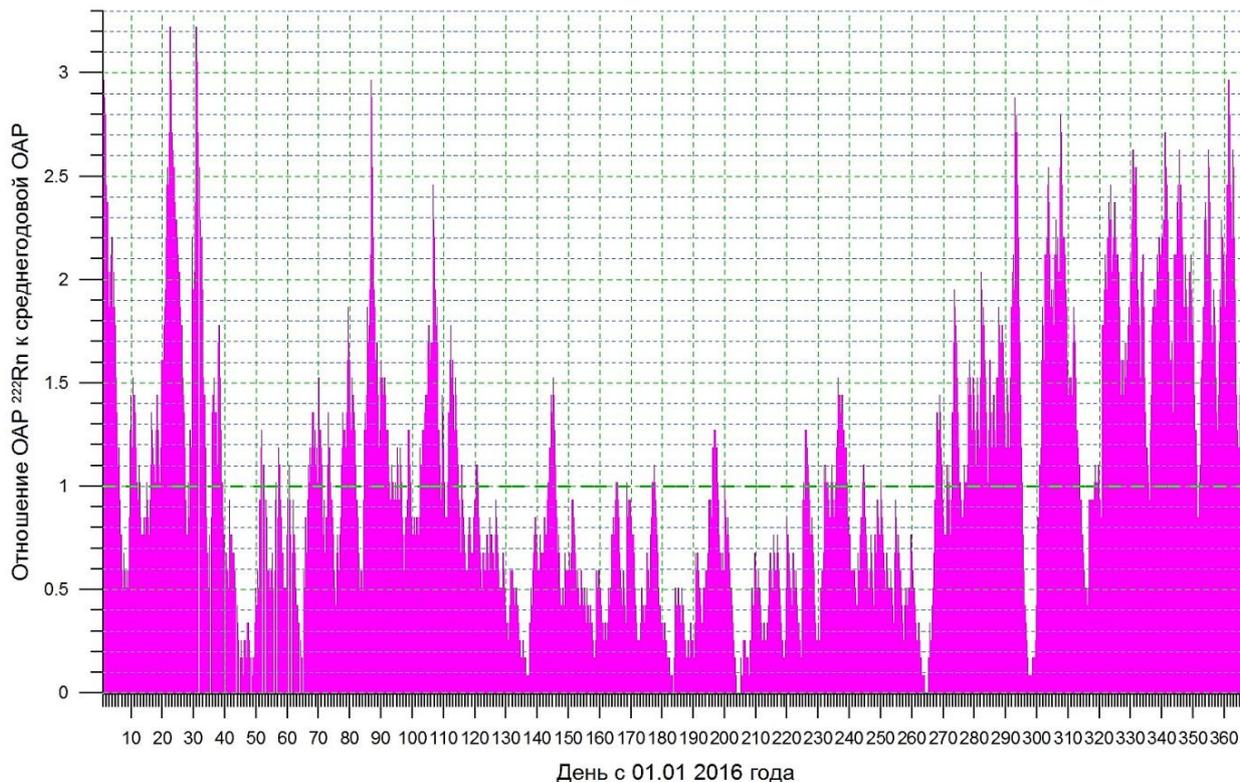


Рис. 15. Гистограмма колебаний ОАР относительно ее среднего значения за период наблюдений.

Для сопоставления результатов мониторинга ОАР с произошедшими землетрясениями необходимо было получить доступ к базе данных по всем землетрясениям на земном шаре, сила которых превышает 1,5 магнитуд по шкале Рихтера. Такие данные за последние шесть лет были предоставлены организацией European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC) [12]. Наложение (по датам) некоторых известных землетрясений на графики изменения ОАР в приземном слое атмосферы показало, что землетрясениям предшествуют пики увеличенной концентрации радона. При этом увеличение концентрации радона происходит в течение нескольких дней (3 – 8), что, вероятно, связано с непрерывными тектоническими подвижками. Землетрясение происходит после пика выброса радона через 20 – 30 часов. Такие результаты получены в результате статистической обработки большого количества землетрясений за 2016 год. Всего за 2016 год на земном шаре произошло 54682 землетрясения силой более 1,5 магнитуд по шкале Рихтера. Количество землетрясений превышающих 3,0M – 21334, превышающих 7,0M – 19. Графики фрагментов записи изменения ОАР с наложенными на них произошедшими землетрясениями показаны на рис. 16.

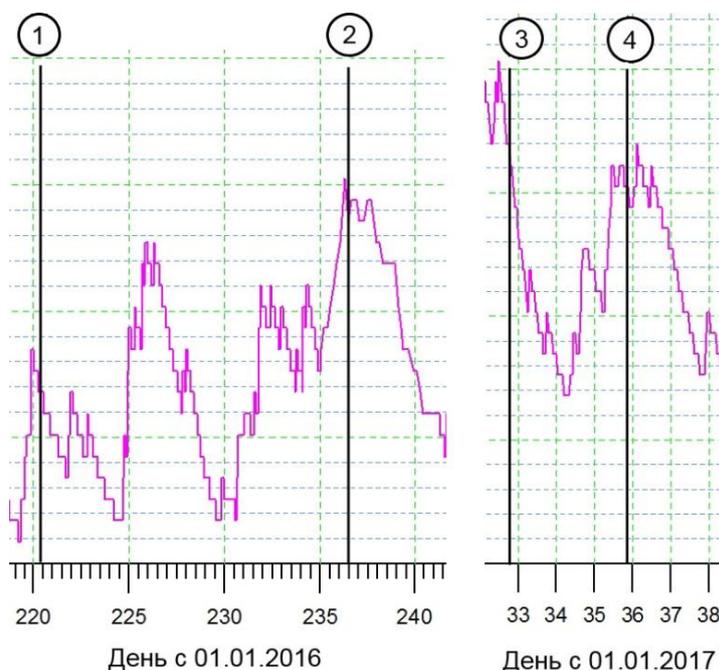


Рис. 16. Графики фрагментов записи изменения ОАР за несколько дней августа 2016 г. и февраля 2017 г.

Вертикальные линии – землетрясения:

- 1 – землетрясение 4,8М в Мариуполе (07.08.2016);*
- 2 – землетрясение 5,5М в Италии (24.08.2016);*
- 3 - землетрясение 4,0М на Таманском п-ове (01.02.2017);*
- 4 – серия землетрясений 4,5М - 4,7М в Италии (03-06.02.2017).*

Заключение

Обработка результатов мониторинга изменений ОАР за 2016 год показала, что средняя концентрация радона в приземном слое атмосферы за исследуемый период зависит от суммарного количества землетрясений на земном шаре силой более 3,0 магнитуд за тот же период.

По пикам выброса радона можно предсказать землетрясение, но нельзя точно назвать место, где оно произойдет. Только созданием сети пунктов непрерывного online мониторинга за изменениями ОАР над земной поверхностью можно выделить координаты предполагаемого эпицентра.

Статистика сейсмонаблюдений за процессом распространения колебаний земной поверхности при известных катастрофических землетрясениях показывает, что недостижимых точек на земле не существует. Распространение сейсмических волн при катастрофических событиях в любом месте земного шара может вызвать срыв тектонических напряжений (и нарушение связности массива) в местах, где они находятся на пределе длительной прочности пород.

Оценка степени остроты геоэкологического риска природных процессов является задачей первостепенной важности, а фактор тектонической нестабильности Таманского региона должен быть включен в геоэкологическую оценку риска.

Результаты исследований могут быть приняты во внимание при разработке программ устойчивого развития побережий Азовского и Черного морей в пределах Таманского полуострова, при строительстве объектов берегозащиты и других видах хозяйственной деятельности.

Исследования выполнялись при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, проекты 11-05-02100-э к, 12-05-00946-а, 13-05-96508 р_юг.

Ссылки на источники

1. Геологическое строение Кавказа. – М.: МГУ, 1963. – 355 с.
2. Тектоника и сейсмичность Причерноморья и Черноморской впадины. – Кишинев: Штиинца, 1974. – 166 с.
3. Земная кора и история развития Черноморской впадины. – М.: Наука, 1975. – 358 с.
4. Астрономы заметили движение Крыма к России. – URL:<http://tass.ru/nauka/3677601>. – [Дата обращения 22.03.2017].
5. Reid H.F. The elastic-rebound theory of earthquakes // University of California Publ. – USA: Geol. Sci., 1911. – Vol. 6. – P. 413–444.
6. Матишов Д.Г., Ивлиева О.В., Ивлиева П.П., Беспалова Л.А., Сорокина В.В. Современные скорости абразии и состояние берегоукрепительных сооружений Российского побережья Азовского моря // Труды ЮНЦ РАН. – Ростов: 2006. – Т. 1. – С. 151–164.
7. Михайлов В.Н., Магрицкий Д.В., Иванов А.А. Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани. – М.: ГЕОС, 2010. – 728 с. + 24 с. вкл.
8. Подымов И.С., Подымова Т.М. Мониторинг состояния гидрогеодеформационного поля по плотности потока радона из грунта // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – Севастополь: МГИ РАН, 2016. – № 1. – С. 56–62.
9. Подымов И.С., Подымова Т.М. Исследование объемной активности радона в приземном слое атмосферы над территорией Таманского полуострова // Концепт. – 2016. – Т. 15. – С. 836–845. ART 96080. – 0,3 п.л. – URL: <http://e-concept.ru/2016/96080.htm>. – Гос. рег. Эл № ФС 77-61196. – ISSN 2304-120X. – [Дата обращения 22.03.2017].
10. Incorporated Research Institutions for Seismology. – URL: http://ds.iris.edu/seismon/swaves/index.php?lat=38.32&lon=142.36&depth=32&mag=9&title=2011%20Tohoku%20Quake%20%26%20Tsunami&date=2011-03-11T05:46Z&w_terrain=true&wiki=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2F2011_Tohoku_earthquake_and_tsunami. – [Дата обращения 22.03.2017].
11. European-Mediterranean Seismological Centre. – URL: <http://www.emsc-csem.org/about/>. – [Дата обращения 22.03.2017].