

**Фокина Н.А.
ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ПРОЦЕССОВ АБРАЗИИ**

Общая длина береговой линии Украины достигает 2835км. Протяженность Крымского побережья Азовского и Черного морей составляет 980км, из них много больше половины, а именно, 76% - абразионных берегов. Из чего следует, что абразия – общенациональная проблема, которая требует тщательного изучения предпосылок ее обуславливающих, проведения мониторинга за состоянием береговой линии и берегоукрепительных работ в местах, где этот процесс выражен.

В Крыму абразия сильно развита на южном берегу в горных районах, где почти все участки берега имеют клиф. Скорость размыва берегов достигает 5м/год. На Керченском полуострове средняя скорость размыва составляет 3-6м/год, максимальная – 16м/год. Керченское побережье на 90% подвержено абразии и отступает [2].

Развитие глобального процесса отступления береговой линии, с одной стороны, обуславливают природные предпосылки, а с другой, это результат хозяйственной деятельности человека.

Природные факторы, влияющие на активность абразии можно объединить в несколько групп:

- 1) определяющие интенсивность воздействия моря на берег – штормы, штормовые нагоны, уровень моря, ширина пляжа, глубина прибрежной зоны;
- 2) характеризующие противоабразионную устойчивость берега – состав и строение пород, их залегание, характер напластования, влияние оползневых процессов;
- 3) характеризующие общие условия развития абразии – морфология берега (высота клифа), направленность современных тектонических движений;

Факторы антропогенного воздействия на абразионные процессы условно можно объединить в следующие группы:

- 1) уменьшение твердого стока в море: задержка твердого стока плотинами водохранилищ; противоселевые барражи; засыпка рек, ручьев, оврагов;
- 2) изъятие осадочного материала: песка, галечника, гравия с пляжей; морская добыча песка на шельфе; дноуглубительные работы;
- 3) ослабление сопротивляемости берега: подсечка склонов; развитие антропогенных склоновых процессов, искусственное увлажнение склонов, уничтожение растительности;
- 4) уменьшение численности донных растительных сообществ, закрепляющих грунт, вследствие загрязнения вод коммунальными и промышленными, а также сельскохозяйственными стоками.

Цель данной работы – проанализировать природные факторы воздействия на активность абразии и рассчитать необходимую сумму затрат на искусственное восстановление (досыпание) пляжа. В качестве примера выбран пляж одного из южнобережных санаториев.

Штормы. Формирование береговой линии любых типов побережий осуществляется в рамках универсального цикла шторм-штиль. В штормовых условиях воздействие на породы, слагающие прибрежную зону, определяется главным образом двумя факторами – высотой штормовых нагонов и воздействием волн.

В зависимости от направления ветра по отношению к береговой линии возникают сгонные или нагонные изменения уровня моря. Следствием штормовых нагонов является полное переформирование пляжевых отложений и изменение ширины пляжей со знаком плюс или минус [9].

На развитие нагонных явлений влияют конфигурация береговой линии, рельеф дна, гидрологические условия, но решающим фактором является ветер. По его повторяемости можно судить о частоте и силе нагонов. В зависимости от скорости, продолжительности и устойчивости ветра нагоны имеют разную продолжительность. В мелководных областях нагоны происходят быстрее, чем в более глубоких. Средняя скорость изменения уровня 2-8см/час в северо-западной и северо-восточной частях Черного моря, 1-2см/час - в остальных его районах. Максимальная скорость достигает 25см/час [3].

В условиях морских побережий эпизодическое повышение уровней происходит под действием, главным образом, нагонных ветров, приливов и барических образований (сейш).

Выравнивание уровня происходит либо в виде донного противотечения, либо в виде сточного течения, направленного вдоль берега, либо в виде разрывных течений. Чаще всего эти течения комбинируются.

Донные противотечения достигают иногда большой силы и производят большую работу по переносу в открытое море мелкозернистого обломочного материала. Сточные течения, как и донные противотечения, обычно направлены в сторону, противоположную направлению волнения, вызвавшего нагон воды. Они также механически воздействуют на дно прибрежного мелководья. В разрывных течениях вода движется в сторону моря со скоростями, достигающими в зоне прибоя 3.5км/ч [9].

Сила ударов волн о берега и сооружения огромна. Вблизи Сочи она превышает 100 тонн на квадратный метр. Для океанических пространств эта цифра увеличивается в несколько раз. При таких ударах высота взлета волн на некоторых участках может достигать десятков метров. Колоссальная энергия прибойных волн расходуется на раздробление горных пород и перемещение наносов. Кинетическая энергия масс воды передается препятствиям на пути волн, что часто приводит к большим разрушениям. В Черном море во время шторма в 1931г. прибоем разбито у Симеиза скалу Монах, простоявшую тысячелетия.

Если берег отвесный, разрушения волн вообще не происходит, а может образоваться отраженная волна, которая при встрече с прямой волной интерферирует и меняет характер движения.

Активность абразионных процессов на ЮБК определяется в основном энергией волнения и литологическим составом пород, влияние других факторов незначительно. Хотя многочисленные наблюдения показали, что не все шторма вызывают абразионные процессы. Для ЮБК отступление берегового уступа наблюдается со штормами в 5-6 баллов и выше.

Во время шторма разразившегося у берегов Крыма в ноябре 1992, волны достигали высоты 12м и были длиной до 150м (наибольшие высоты волн в Черном море - 14м. Длина таких волн составляет 200м.). Он продолжался около полусуток, сопровождался большими деформациями рельефа, уничтожением расти-

тельности, разрушениями берегоукрепительных и портовых сооружений, курортно-рекреационных объектов [5].

В январе 1969 г. восточный шторм интенсивностью 6-8 баллов отмыл с языка оползня "Золотой пляж" у Ялты в течение 4-х дней около 35 тыс. м³ щебнистых суглинков, или 160 м³/п.м длины берега [4].

Надо учитывать, что влияние штормов, как и других факторов, обуславливающих активность абразии, неодинаково для разных районов: в одних наблюдается четкая связь абразии со штормами, в других – она менее выражена.

Уровни. Черное и Азовское моря относятся к числу бесприливных морей, поэтому изменения его уровня определяются составляющими водного баланса и тектоническими колебаниями земной коры. Внутригодовой ход уровня моря зависит, прежде всего, от гидрометеорологических факторов (сток рек, атмосферные осадки, испарение с поверхности моря и др.), которые изменяются по сезонам, имеют периодический характер и повторяются из года в год, вызывая его периодические колебания. Они имеют следующий режим: в октябре – ноябре средние отметки уровня моря имеют наименьшие значения, начиная с декабря, они начинают повышаться, достигая наивысших значений в июне – июле месяце, после чего начинается его спад. Механизм влияния уровня на активность абразии заключается в увеличении глубины моря в береговой зоне, что способствует уменьшению потерь энергии волны, подходящей к берегу, а также сокращению ширины пляжа и уменьшению пути пробега волны от уреза до основания клифа. Такие же явления вызывает опускание суши. Уровень моря является одним из определяющих факторов абразии. Однако, так же, как и для штормов, активность абразионных процессов различна для отдельных регионов. Например, путем множественной корреляции абразии, энергии волнения, количества штормов и уровня моря, установлено, что активизация абразионных процессов для одесского побережья связана главным образом с высотой уровня. Коэффициент корреляции отступления берегового уступа со скоростью нарастания уровня равен 0.65, а с числом штормов – 0.2-0.06. Обратная картина наблюдается на ЮБК: коэффициент корреляции абразии с уровнем моря равен 0.12, что значительно меньше порогового значения, т.е. связь активности с уровнем здесь отсутствует [2].

Приливно-отливные явления играют исключительно важную роль в режиме океана, распространяясь в открытом море на всю массу воды в виде регулярных, почти периодических колебаний, а также в виде течений. Прилив наступает один или два раза в сутки под действием притяжения Луны и Солнца и достигает наибольшей величины во время сизигий. Размеры и характер приливов определяются не только сизигиями, но и географической широтой и местными условиями. Приливно-отливные течения там, где они проявляются, производят огромную работу. Приливно-отливная волна поднимается по рекам на десятки и сотни километров. Это вызывает сильнейшие отливные течения: один или два раза в сутки громадные массы воды устремляются к берегу, заходят в проливы между островами и в реки, подпруживая их. Масса воды значительно увеличивается, а затем с огромной скоростью (до 20 км/ч) откатываются обратно, образуя в устьях рек эстуарии, углубляя узкие фарватеры между островами и в устьях бухт. Ими увлекаются от берега тонкие осадки, создается грядовой песчаный рельеф дна. Приливы создают иногда широкие осушки и приливные бенчи. Приливно-отливные течения влияют на активность абразии в районе океанических побережий, повышая уровень воды возле побережий. Так, в зал. Фанди на атлантическом побережье Канады высота сизигийных приливов достигает 18 м [9]. В Черном море около 10 см.

Пляжи и отмели служат лучшими гасителями энергии волны, своеобразной «броней» берега. При широком пляже (более 35-40 метров) абразия нейтрализуется. Активный абразионный процесс, чаще всего, развивается на берегах без пляжей, с крутыми обрывами. Естественно, что гашение энергии волн определяется не только шириной, но и составом пляжевого материала: чем крупнее пляжевый материал, тем быстрее происходит гашение волн. Учитывая это обстоятельство, можно приближенно считать, что при ширине пляжа более 40 м при любом его составе гасятся волны штормов любой бальности, при 20-40 м – 6-8 баллов, при 10-20 м – 4-6 баллов, при 0-10 м – 2-4 баллов [2].

Для пляжей Крыма характерно уменьшение их ширины и объема пляжевого материала. Проблема пляжей является одной из самых актуальных в настоящее время. Для многих районов Черноморского побережья характерно сокращение ширины пляжей. Уже сейчас часть пляжей в Крыму искусственного происхождения, два раза в год их необходимо досыпать новым пляжеобразующим материалом.

При этом надо учитывать, что искусственные пляжи имеют и негативную сторону - естественные природные биофильтры бентосных сообществ, способные очищать прибрежные воды у поселков, уничтожаются при создании таких пляжей. Из-за создания искусственных пляжей с использованием привозного щебня из известняка в поселках Коктебель и Курортное и строительства волнорезов у пансионата "Крымское Приморье", произошла деградация части прибрежных морских экосистем. Очищение акватории Коктебельского залива в настоящее время проходит за счет водных биогеоенозов Тихой бухты и, частично, Карадагского природного заповедника. Рекреационная нагрузка на них ежегодно нарастает.

Влияние покрова из водорослей на разрушение берега морем. Водоросли, иногда весьма густо покрывающие прибрежную полосу морского дна, оказывают не малое влияние на разрушение берега. По имеющимся до сих пор наблюдениям одни водоросли, как например, фукусы, ослабляют разрушительное действие волн, другие, прикрывая берег своими длинными и разветвленными корневищами, как например, ламинарий, способствуют разрушению, разрыхляя горные породы своими корнями и даже, будучи легко вырываемы волнами с корнем, прямо отделяют кусочки горной породы от берега. В этом направлении сделано еще мало наблюдений и потому было бы весьма интересно выяснить полное влияние покрова водорослей на разрушение берегов.

Состав и строение пород. Берега, сложенные мелкокристаллическими магматическими породами, иногда вообще не обнаруживают сколько-нибудь заметных признаков отступления. Скорость отступления берегов, сложенных этими породами, не превышает нескольких сантиметров в столетие, - и выделяется тип берегов, не измененных морем. Например, западнее Алушты поверхность южнобережного склона ослож-

нена многочисленными интрузивными массивами. В современном рельефе они выглядят как куполовидные холмы или горы - так называемые "неудавшиеся вулканы". Именно такого происхождения горные массивы Аю-Даг, Кучукаю, Плака, Шарха, Урага, Сераус, Чамныбурун, Кастель и другие. Всего в Алуштинском регионе насчитывается несколько десятков интрузивных массивов. Самые крупные из них - Аю-Даг и Чамныбурун - достигают более 2 км в поперечнике. Сложены они плагиогранитами, кварцевыми гранодиоритами, габбродиабазами, гранит-порфирами среднеюрского возраста (около 170-160 млн. лет). Эти прочные горные породы успешно противостоят морской абразии и образуют вдоль береговой линии мысы Аю-Даг, Плака, Маячный и другие.

Берега же, сложенные глинами, мергелями, суглинками, песками или слабосцементированными песчаниками, могут отступать на несколько метров в год. По данным, приведенным в работе [2], на ЮБК скорость размыва аргиллитовых пород составляет в среднем 0.01 м/год, оползневых накоплений – 1,8 м/год, рыхлых делювиальных суглинков – до 8 м/год. Практически не абрадируется мыс Аю-Даг, сложенный магматическими породами.

Береговой уступ Тарханкутского полуострова и прилегающих к нему с северо-востока и юго-востока участков, сложенных прочными известняками карбонатной и карбонатно-терригенной неогеновых формаций, абрадируется со скоростью 5-10 см/год.

Намного выше скорость абразии клифа в пределах Каламитского залива, сложенного глинами – 2-3 м/год. Вероятно, образование Каламитского залива связано с интенсивной абразией легко разрушающихся глинистых пород терригенной формации в голоценовое время. Высокая активность абразионных процессов здесь обусловлена еще и небольшой шириной пляжа – в среднем 5-6 метров.

По отношению к абразии породы черноморского побережья Керченского полуострова делятся на стойкие (неогеновые известняки), среднестойкие (неогеновые глины с прослоями известняка и песчаника), податливые (палеогеновые и неогеновые глины и мергели) и очень податливые (четвертичные лессовидные суглинки, щебнистые суглинки, супеси и песчано-детритусовые отложения). Более 90 % протяженности берега подвержено абразии и отступает.

Существенное значение имеет *характер напластования*. Так, наиболее быстро разрушаются берега, сложенные породами с углом падения к морю, но менее быстро, если угол падения в сторону моря очень пологий. В этом случае волны скользят по поверхности слоев, причиняя им незначительные разрушения. Правда, в случае глинистых пород такое залегание слоев нередко приводит к образованию оползней. Достаточно устойчивы берега с горизонтальным залеганием слоев [6]. В этом случае размывание идет интенсивно, только если нижние горизонты берегового обрыва, подверженные ударам волн, представляют более слабые, легко размываемые породы, чем выше лежащие слои.

Современные тектонические движения. На активность абразии большое влияние оказывает скорость поднятия или опускания берега. Если берег поднимается, условия для пляжа плохие, если опускается – хорошие. Довольно высокая береговая линия у Черноморского побережья. За 10 миллионов лет она поднялась на десять метров. Это огромная цифра! Опускается побережье в Грузии и в районе Южного Каспия. А вот Крым активно поднимается. Пляжи полуострова под угрозой полного исчезновения, и если не начать срочно проводить берегоукрепительные работы, они исчезнут. Свидетельством длительно протекающих опусканий побережья является не только отсутствие мертвых клифов, но и данные подводной археологии. На различной глубине обнаружены древние затонувшие города в районе Севастополя (Херсонес), Феодосии, Керчи (Пантикапей)... Море наступало на сушу здесь не менее 5 мм в год [5].

Для каждого региона имеется свой доминирующий фактор, влияющий на активность абразии и прогноз развития абразионных процессов составляется на основании прогноза изменения преобладающего фактора. Во многих случаях на абразионные процессы влияет именно совокупность факторов. Поэтому проводить анализ и делать прогноз и соответствующие выводы для проведения противоабразионных работ, нужно на основании изменений нескольких факторов.

В настоящее время, побережье Черного моря интенсивно осваивается. В результате этого усиливаются антропогенные нагрузки на прибрежную зону. Это приводит к нарушениям сложившегося динамического равновесия между процессами в береговой зоне и факторами их обуславливающими. В итоге развиваются процессы абразии берегов и размыва пляжей, ширина пляжей сокращается и они не могут выполнять возложенных на них функций. Под угрозой устойчивость берегов и всех сооружений находящихся на них.

Для укрепления берегов существует много способов – сооружение берегозащитных сооружений - бун, волнорезов, волноотбойных стен, планирование берегов с активно абрадирующими клифами, искусственное питание пляжей... Не всегда данные методы приводят к желаемому результату - часто, когда берегозащитные мероприятия проходят без учета особенностей местности, существующей экологической ситуации и состояния окружающей среды в пределах защищаемого участка побережья и соседних с ним, это приводит к обратному результату – к разрушению и сокращению пляжей.

Одним из широко применяемых методов восстановления пляжной зоны является искусственное питание пляжа. Сейчас в Крыму достаточно много пляжей искусственного происхождения, их необходимо постоянно досыпать новым материалом. Насколько это дорогостоящее мероприятие рассмотрим на примере одного из южнобережных санаториев.

Как говорилось выше, при 10-20 метровой ширине пляжа гасятся волны в 4-6 баллов, т.е. ширина пляжа должна составлять как минимум 20 м. В распоряжении санатория «Карасан» имеется 2 пляжных участка. Для примера рассмотрим один из них. Его длина составляет 55 м, а ширина - 8 м. Чтобы получить двадцатиметровый пляж надо досыпать еще 12 м. В этой точке глубина моря достигает приблизительно 2 м (рис. 1).

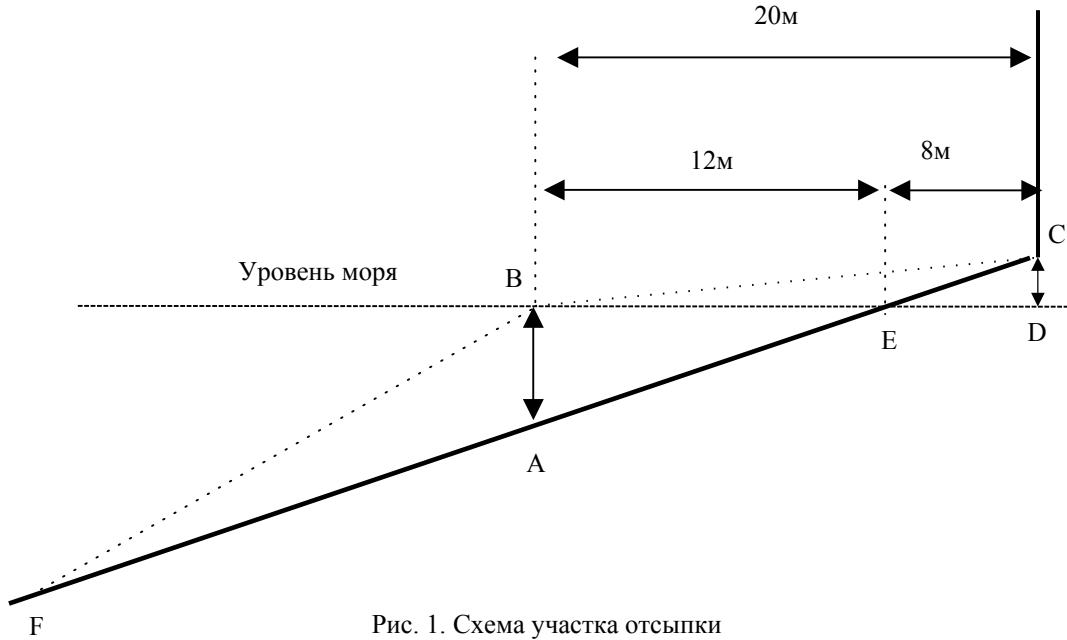


Рис. 1. Схема участка отсыпки

$$AB=2\text{м}; CD=1,3\text{м}; BE=12\text{м}; ED=8\text{м}; BD=20\text{м},$$

где АВ - глубина моря в точке, где ширина досыпаемого пляжа составит 20м,

CD – высота насыпи в начальной точке пляжа,

BE – ширина, которую нужно досыпать,

ED – ширина исходного пляжа,

BD – ширина, которую необходимо получить

Чтобы найти объем необходимого материала, надо найти площадь треугольника ABC и умножить ее на длину пляжа.

$$BC = \sqrt{BD^2 + CD^2} = \sqrt{20^2 + 1,3^2} = 20,042\text{м}$$

$$AC = AE + EC = 12,166 + 8,105 = 20,271\text{м}$$

$$AE = \sqrt{AB^2 + BE^2} = \sqrt{2^2 + 12^2} = 12,166\text{м}$$

$$EC = \sqrt{ED^2 + CD^2} = \sqrt{8^2 + 1,3^2} = 8,105\text{м}$$

Формула Герона

$$S_{ABC} = \sqrt{P(P-AB)(P-BC)(P-AC)} = \sqrt{21,157(21,157-2)(21,157-20,042)(21,157-20,271)} = 20,01\text{м}^2$$

$$\text{где } P = \frac{1}{2}(AB+BC+AC) = \frac{1}{2}(2 + 20,042 + 20,271) = 21,157$$

$$V = S * L = 20,01 * 55 = 1100,55 \text{ м}^3,$$

где L – длина пляжа

Так как насыпной материал не должен образовывать новый клиф, нужно досыпать приблизительно такой же объем для плавного спуска, т.е. полученный объем увеличивается в 2 раза, в результате для одного пляжа потребуется $2201,1\text{м}^3$ насыпного материала.

Затраты на восстановление пляжа состоят из затрат на приобретение материала, стоимости доставки и стоимости работ по выравниванию материала

$$Z = Z1 + Z2 + Z3,$$

Где Z1 – затраты на приобретение материала,

Z2 – стоимость доставки,

Z3 – работы по выравниванию материала.

Побережье данного санатория галечное, поэтому в качестве насыпного материала выбрана диаритовая щебенка, которая будет доставляться машинами из близ лежащего карьера.

1м^3 вмещает приблизительно 1,4т щебня. Таким образом, чтобы досыпать $2201,1\text{м}^3$ потребуется 3081,54т щебня. По существующим рыночным ценам 1т диаритовой щебенки стоит 59грн. Таким образом, чтобы досыпать необходимый объем, нужно затратить

$$Z1 = 3081,54 * 59 = 181\ 810,86\text{грн}$$

Доставка 10т щебня по Крыму составит 360грн. Чтобы доставить 3081,54т щебня, нужно затратить

$$Z2 = 3081,54 * 360 = 1\ 109\ 355,44\text{грн}.$$

На сегодняшний день, работы по выравниванию насыпного материала такого объема стоят

$$Z3 = 20\ 000\text{грн}.$$

Общая сумма затрат составит $Z = 181\ 810,86 + 1\ 109\ 355,44 + 20\ 000 = 3\ 127\ 46,3\text{грн}.$

Такова цена восстановления имеющегося пляжа.

Большие санатории, в своем большинстве, выделяют деньги на поддержание своих пляжных территорий, постоянно досыпая их, но этого недостаточно, на большинстве участков санитарные нормы - 5 м² на одного человека - не выдерживаются; пляжи, находящиеся на балансе местных властей исчезают (рис 2), вместе с ними опасности подвергаются и объекты, находящиеся на них.



Рис 2. Исчезающий пляж п. Карасан

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что береговые процессы, в том числе абразионные, требуют постоянного изучения и регулярного наблюдения с периодичностью, определяемой безопасным состоянием береговой зоны и интенсивностью воздействия метеорологических, гидрологических, геодинамических и техногенных факторов. Все берегоукрепительные работы должны проводиться с учетом особенностей определенной местности; берегозащитные сооружения должны регулировать перемещение наносов в прибрежной зоне моря; мероприятия по защите берега должны сохранять и улучшать экологическую обстановку в прибрежной зоне моря и прилегающих к ней участках суши.

Как было видно из примера, восстановление размывших пляжей, а также их стабилизация на участках размыва требует отсыпки больших объемов пляжеобразующего материала, что обуславливает высокую стоимость берегозащиты. Такой метод берегозащиты доступен сейчас только крупным рекреационным учреждениям. Кроме этого, искусственное питание пляжа порождает сложные проблемы экологического плана, поскольку при выполнении таких работ засыпаются значительные площади прибрежного дна. Это может вызвать временные нарушения природного равновесия и негативные последствия для рыбного хозяйства.

Высокая подвижность песка в штормовой период приводит также к значительным эксплуатационным затратам после завершения строительства. В ряде случаев оказывается целесообразным использование в качестве пляжеобразующего материала для восстановления песчаных пляжей галечно-гравийной смеси, что позволяет в несколько раз сократить объем отсыпаемого материала и стоимость берегозащитных мероприятий при сохранении равной волногасящей способности пляжа.

Вследствие большей устойчивости гравийно-галечного пляжа существенно сокращаются затраты на поддержание его в стабильном состоянии.

Укрепление береговой линии проходит в рамках общегосударственной программы по инженерной защите территорий Крыма от оползневых и абразионных процессов, финансирование которой предусмотрено из общей казны Украины. Денег для спасения курорта недостаточно и Крым вынужден большую часть берегоукрепительных работ производить за свой счет. Однако, несмотря на все усилия, разрушение береговой линии продолжается.

Источники и литература

1. Всесоюзный НИИ гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) под ред. Шеко А.И. Прогноз экзогенных геологических процессов на черноморском побережье СССР. – М.: из-во “Недра”, 1978. – 111 – 123с
2. Демидов А.Н., Миньковская Р.Я. Катастрофические наводнения на побережье Черного и Азовского морей // Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. – 103-107с.
3. Ерыш И.Ф., Саломатин В.Н. Оползни Крыма. Часть I. – Симферополь: Апостроф, 1999. – 247 с
4. Клюкин А.А., Костенко Н.С. Воздействие экстремальных штормов на рельеф и прибрежные сообщества эпибентоса Крыма // Гидробиологические исследования в заповедниках. Проблемы заповедного дела, вып. 8. – М.: Комисс. по заповедному делу РАН, 1996. – 140-150с.
5. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Инженерная геология и охрана природной среды: Учебник для вузов. – Ростов-на-Дону: изд-во Ростовского ун-та, 2003. –155-159с.
6. Серпухов В.И., Билибина Т.В., Шалимов А.И. Курс общей геологии. – Л.: “Недра”, 1976. – 282-284с.
7. Юровский Ю.Г. Основные черты формирования северо-западной части Азовского моря. Сб. научных трудов НАН Украины “Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа”. – Вып. 12. – Севастополь, Гидрофизика, 2005. – 226-235с.