

УДК 551.435.34(477.74)

Ю. Д. ШУЙСКИЙ, В. Я. ШЕВЧЕНКО

ДИНАМИКА БЕРЕГОВ ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЙОНЕ МЫСА БУРНАС

В 1969 г. в районе мыса Бурнас Одесским университетом были начаты наблюдения на 3 стационарных береговых участках (рис. 1): два участка расположены на абразионном берегу, а третий — на аккумулятивном. Общей целью работ было определение точных скоростей абразии клифов и бенчей, размыва аккумулятивного берега, сопряженного с абразионным, объемов сноса обломочного материала в результате абразии, характера взаимовлияния абразионного и аккумулятивного участков в месте их сопряжения, изменения объемов наносов, заключенных в пляжах. Решение этих вопросов, новых для района исследований, представляет и общетеоретический, и практический интерес.

В районе м. Бурнас развит абразионный берег, сочлененный с песчано-ракушечной пересыпью Бурнасского лимана, что в общем характерно для лиманного и лагунного типов берегов Черного моря. Развитие берегов происходит в условиях дефицита наносов и относительно приглубого подводного склона, как и во всем северо-западном регионе Черного моря.

История береговых исследований в районе м. Бурнас насчитывает около трех десятилетий. Первые данные о скоростях абразии клифа встречаются в работе П. К. Замория (1948), которые позже были несколько исправлены В. П. Зенковичем (1958, 1960). Названные авторы пришли к выводу, что берег здесь отступает в среднем на $0,5-1,0$ м/год. Однако они пользовались приблизительными и косвенными оценками, что дает основание критически отнестись к приведенным скоростям абразии. Позже (Шуйский, Иванов, 1968) было проведено сравнительное изучение крупномасштабных карт, составленных в 1936 и 1964 гг., а также измерены расстояния от неподвижных объектов (строений) на берегу до линии берега в 1962 и 1966 гг. Эти материалы, дополненные опросными данными и экспедиционными исследованиями, показали, что клиф в районе м. Бурнас отступает со средней скоростью около 6 м/год, что в несколько раз превышает оценки П. К. Замория и В. П. Зенковича.

Для более полного понимания динамических процессов, происходящих в районе м. Бурнас, приведем некоторые общие сведения о природных условиях береговой зоны. Район исследований характеризуется умеренным ветро-волновым режимом. От морского сектора горизонта преобладают ветры Ю, СВ и В румбов. Ведущая роль принадлежит скоростям ветра $1-4$ м/сек (повторяемость около 54%). Наиболее сильными и часто повторяющимися являются СВ и В ветры, что обуславливает преобладание переноса ветровой энергии с СВ на ЮЗ.

На прилегающей к м. Бурнас акватории Черного моря в среднем за год повторяемость ветровых волн составляет 91%, волн зыби и смешанных волнений 6%, а 3% приходится на штиль. Почти полным преобладанием ветровых волн обуславливается тесная связь волнового режима с ветровым. Если провести нормаль к береговой линии у м. Бурнас, то

в соответствии с характером ветрового режима значения энергии волн от румбов, лежащих северо-восточнее нормали, будут относиться к энергии волн от румбов, лежащих к юго-западу от нормали, как 6,5 : 3,5.

Береговая линия в районе исследований выровнена и ориентирована с СВ на ЮЗ. Абразионный клиф высотой 8—13 м сложен глинистыми неоген-четвертичными породами континентального происхождения, которые выстилают и подводный склон моря. Эти породы относятся к IV классу по степени сопротивляемости абразии (Леонтьев, 1961) и содержат в основном алевроитовые и пелитовые фракции (максимум до

Рис. 1. Схема расположения стационарных участков на берегу Черного моря в районе мыса Бурнас

1 — активный клиф, 2 — отмерший клиф, 3 — глинистые породы, 4 — песчано-ракушечная пересыпь, 5 — номер стационарного участка; точками обозначено количество разрезов



99,5%), в то время как на песчаные фракции 0,1—1,0 мм приходится не более 5,7% (в среднем 2,1%).

Активный клиф у подножия окаймляется пляжем, ширина которого меняется от 1 до 22 м, а мощность — от 0,3 до 1,3 м. Местами пляж отсутствует и обнаженная поверхность коренных пород бенча и клифа смыкается. Различная ширина пляжа связана в основном с развитием офсетов и песчаных волн, движущихся преимущественно в ЮЗ направлении. Выступам офсетов и песчаных волн соответствуют участки широкого пляжа, а вогнутостям — участки узкого пляжа. Расстояния между соседними выступами, по данным аэрофотосъемки, колеблются от 500 до 1000 м, а среднее значение равно 700 м.

Объем наносов, заключенных в пляжах, меняется от 0,5 м³ до 18,5 м³ на 1 пог. м длины берега (м³/м). В среднем по II участку он равен 10,4 м³/м, а на участке III — 7,6 м³/м. Эти объемы далеко недостаточны, чтобы защитить клифы от абразии, поскольку опытным путем на Одесском побережье Черного моря выяснено, что пляж может надежно защитить берег от разрушения в случае, если объем пляжевых наносов не менее 120—140 м³/м (Зелинский, 1967).

Подводный склон в районе исследований характеризуется уклонами в среднем 0,01 в интервале глубин 0—10 м. В верхней части поперечного профиля, на глубинах 1,5—2,2 м, иногда отмечается подводный вал, который насажен на внешнюю кромку прибрежной абразионной террасы на глубинах 0—3 м.

Пляжи и подводный вал сложены песчано-ракушечным материалом. Повсеместно преобладают фракции 0,1—0,25 мм (до 80%) и 0,25—0,5 мм (до 70%), а среднее их содержание равно соответственно 45% и 39%. Содержание ракуши в пробах может достигать максимальных величин 25—30%.

Ширина пересыпи Бурнасского лимана составляет 200—300 м, высота, включая небольшие эоловые формы, — до 3,8 м. Ширина пляжа на стационарном участке I меняется от 26 до 38 м и в среднем равна 32,6 м. Механический состав наносов здесь схож с обнаруженным на пляжах абразионного берега. Подводный склон перед пересыпью более пологий (в среднем 0,007), чем перед абразионным берегом. На поперечном профиле выделяется 2 подводных вала.

Материалы стационарных наблюдений показывают, что клиф на участке II за 4 года отступил на 18,73 м, т. е. на 4,68 м/год (рис. 2). Максимальная среднегодовая скорость абразии 5,61 м/год зафиксирована в 1969—1970 гг., когда объем пляжевых наносов был равен 5 м³/м, а минимальная скорость 3,90 м/год отмечалась в 1971—1972 гг. при

объеме пляжевых наносов $13,5 \text{ м}^3/\text{м}$. Отсюда можно заметить зависимость скоростей абразии W_a от удельного объема пляжа F_a .

Еще более высоки скорости абразии на участке III — от 3,65 до 11,09 м/год (рис. 3), в среднем за период исследований — 5,97 м/год. Здесь также можно проследить зависимость скоростей абразии клифа от объема окаймляющего его пляжа. Среднее значение F_a равно $7,6 \text{ м}^3/\text{м}$, при крайних 2,6— $13,6 \text{ м}^3/\text{м}$.

Интересно отметить, что за период наблюдений средние значения F_a на участках исследований сократились с $9,1 \text{ м}^3/\text{м}$ в 1969 до $6,6 \text{ м}^3/\text{м}$ в

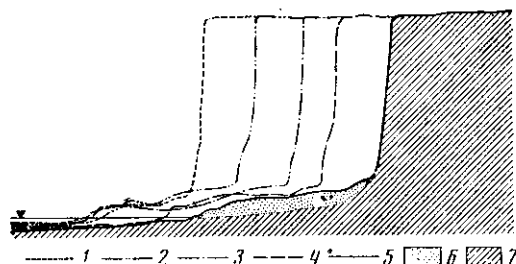


Рис. 2. Абразия активного клифа в пределах участка II

Профили берега: 1 — 1969, 2 — 1970, 3 — 1971, 4 — 1972, 5 — 1973 г.; прочие обозначения: 6 — пляжевые наносы (глины) 7 — коренные породы

1973 г. Вероятно, в этом немалую роль сыграл вывоз песка на строительные нужды, поскольку естественный режим пляжей характеризуется аккумуляцией, о чем свидетельствуют данные наблюдений за удельными величинами абразии и аккумуляции.

Сопоставление W_a м/год и F_a $\text{м}^3/\text{м}$ пляжей, которые окаймляют подножия клифов не только района м. Бурнас, но и районов Одессы, корневой части Тендровской косы и Западного Крыма южнее пересыпи оз. Кизыл-Яр, дало возможность построить зависимость $W_a = f(F_a)$. Она показывает, что с увеличением F_a показатель W_a уменьшается по пара-

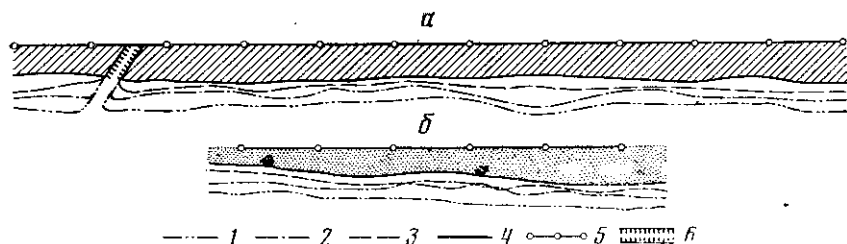


Рис. 3. Динамика береговой линии на стационарных участках — абразионном III (а) и аккумулятивном I (б)

Положение берега: 1 — 1973, 2 — 1971, 3 — 1972, 4 — 1973 г., 5 — базовая линия и репера на ней; 6 — искусственная выемка в клифе

болическому закону там, где клифы сложены континентальными глинистыми породами и являются абразионно-обвальными (рис. 4). Конечно, в условиях оползневого берега, также характерного для северо-западного региона Черного моря, имеющего другую высоту, иной рельеф подвального склона и сложного другим комплексом горных пород, подобная зависимость должна выглядеть иначе.

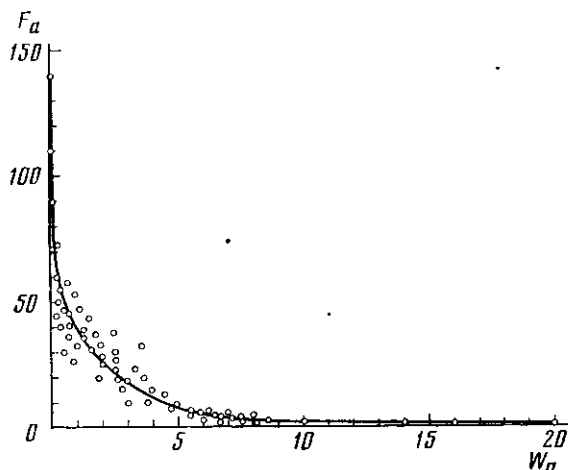
Обнаруженные в районе м. Бурнас высокие скорости абразии обычны для глинистых абразионно-обвальных клифов (Зенкович и др., 1965). Такого же порядка скорости обнаружены, например, на сходных по строению берегах Азовского моря (Губкин, 1973; Зенкович, 1958; Мамыкина, 1961).

Очень быстрое отступление активных клифов на участках II и III обусловлено, помимо других причин, интенсивной абразией глинистого

бенча. Он распространен на глубинах от 0,2—0,3 до 1,5 м и с 2,2 до 8—12 м. На глубинах 1,5—2,2 м залегает песчано-ракушечный подводный вал мощностью до 0,7 м. Конечно, такая толщина наносов, слагающих вал, не является серьезным препятствием для размыва коренной поверхности пород, но скорость донной абразии на глубинах его залегания меньше, чем на соседних участках подводного склона.

Оказалось, что относительно высокие скорости размыва подводного склона проявляются до глубин 9—9,5 м. Максимальная их величина

Рис. 4. График связи между скоростями отступания глинистого абразионно-обвального клифа (W_a м/год) и объемами пляжей (F_a м³/м), которые залегают у подножия этих клифов



зафиксирована в верхней части поперечного профиля, с возрастанием глубин они в общем снижаются (рис. 5). На этом общем фоне прослеживается зависимость между скоростями донной абразии и крутизной отдельных отрезков поперечного профиля. На более крутых отрезках увеличивается удельная энергия волн (Лонгинов, 1961), что приводит к повышению скоростей абразии бенча. В этом отношении данный процесс схож с колебаниями мощности слоя волновой переработки H_b на

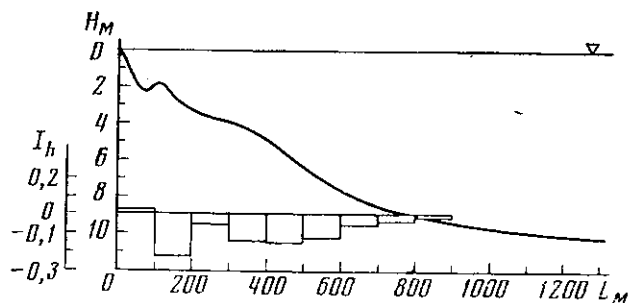


Рис. 5. Абразия подводного склона в районе мыса Бурнас

I_h — среднегодовой слой абразии глинистых пород бенча за 3 года, м/год; H_M — глубина над подводным склоном, м; L_M — расстояние от береговой линии в сторону моря, м

дне, покрытом наносами (Шуйский, 1971): возрастание удельной энергии на крутых отрезках поперечного профиля ведет к повышению мощности перерабатываемой толщи наносов H_b .

По данным наблюдений с помощью донных реперов, средние скорости абразии бенча в районе м. Бурнас на глубинах 0—1,5 м колеблются на отдельных профилях от 0,3 до 0,7 м/год. На глубинах 2,5—4,5 м они равны 0,2—0,3 м/год, местами, где крутизна дна уменьшается — 0,06 м/год. На глубинах 4,5—7,0 м уклоны подводного склона возрастают и скорость абразии равна 0,16—0,2 м/год; ниже по склону, с увеличением глубин и выполаживанием профиля, она составляет до 0,01 м/год.

Абразия клифов и бенчей в районе м. Бурнас приводит к сносу в море определенного количества обломочного материала. На участке II удельный объем размыва пород клифа A_u колеблется в отдельные годы

от 30 до 56 $\text{м}^3/\text{м}$, а среднегодовая величина за 1969—1973 гг. равна 43,6 $\text{м}^3/\text{м}$. В пределах участка III А_и оказалась больше — в среднем 53,5 $\text{м}^3/\text{м} \times \text{год}$, при колебаниях в отдельные годы от 32,4 до 108,4. Это можно объяснить более высокими скоростями абразии и большей высотой клифа — 12—13 м против 8 м на участке II.

На подводном склоне в пределах участков наблюдений размыв поверхности бенча произошел на площади 295 тыс. м^2 , а на остальной площади (60 тыс. м^2) происходила аккумуляция наносов, — это преимущественно подводная часть пляжа и подводный вал. Подобное соотношение площадей с разной динамической характеристикой свидетельствует о преобладании процессов абразии. Общий объем отложившегося материала составил в среднем 17 тыс. $\text{м}^3/\text{год}$, а размытого — 71 тыс. $\text{м}^3/\text{год}$. Соответственно зоны расположения подводного вала и подводной части пляжа, с одной стороны, и остальная зона — зона бенча — с другой, потеряли 0,241 и 0,283 $\text{м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$ наносов. Очевидно, что разрушение поверхности бенча происходит с большей скоростью, чем размыв пляжа и подводного вала, причем в основном за счет некоторого накопления наносов на них. Эта тенденция к возрастанию размеров пляжа в дальнейшем может привести к замедлению скоростей абразии клифа и бенча в верхней части подводного склона на глубинах 0—3 м.

Сравнение удельных объемов абразии клифов и бенча показывает, что снос обломков пород из клифа (43,6 $\text{м}^3/\text{м} \times \text{год}$) меньше сноса с бенча (82,1 $\text{м}^3/\text{м} \times \text{год}$) в 1,9 раза. Эта разница связана, очевидно, с большей площадью бенча на 1 пог. м длины берега: чтобы подготовить клиф к разрушению, необходимо существенное «углубление» профиля подводного склона. За счет этого и сносится с бенча в море больше обломочного материала.

Сочлененная с абразионным берегом пересыпь Бурнасского лимана также отступает вслед за клифом, как вообще в местах, где абразионные и аккумулятивные участки сочленены (Зенкович, 1959; Леонтьев, 1961). Результаты стационарных исследований на участке I показали, что береговая линия пересыпи смещается в сторону суши со скоростью от 3,3 до 9,3 $\text{м}/\text{год}$ в разные годы, в среднем — 5,7 $\text{м}/\text{год}$, что также подтверждается сравнением карт, составленных в 1936 и 1969 гг.

Сравнение данных по скоростям отступления клифов и пересыпи показывает очень близкие значения за весь период наблюдений и в среднем за год. Этим наглядно подтверждается динамическое единство развития двух сопряженных участков — абразионного и аккумулятивного. Вместе с тем абсолютные показатели по скоростям как суммарным, так и среднегодовым, на участках I, II и III отличаются. Так, самая высокая среднегодовая за период исследований скорость зафиксирована на абразионном участке III — 5,97 $\text{м}/\text{год}$. На участках II и I она равна соответственно 4,68 и 5,7 $\text{м}/\text{год}$. Одновременно замечено, что берег участка II выдвинут в море относительно воображаемой прямой линии, соединяющей участки I и III.

По-видимому, различие в скоростях отступления пересыпи и сопряженного с ней активного клифа — всеобщее явление для подобных абразионно-аккумулятивных пар. На данном этапе замедление отступления берега на II участке связано с выровненностью контура береговой линии и свободным поступлением наносов с пересыпи к м. Бурнас при их миграции в северо-восточном направлении. Это приводит к формированию более широкого и мощного пляжа на участке II даже в период с октября по апрель, когда сильные и часто повторяющиеся штормы приводят к сокращению F_a пляжей или даже полному их исчезновению (Кинг, 1963). Пересыпь как более динамичное аккумулятивное тело отступает быстрее, как и берег на участке III, куда почти не доходят наносы с пересыпи, и пляж там остается все время небольшим. Такое явление происходит до тех пор, пока искривление общего контура бе-

рега не будет затруднять миграцию наносов. Когда к участку II будет поступать меньше наносов, размеры пляжа уменьшатся и клиф, оказавшись выдвинутым в море в виде мыса, начнет отступать быстрее, чем смежные берега. В результате береговая линия вновь выпрямится, наносы будут свободнее мигрировать вдоль берега и питать пляжи. Размеры последних возрастут, скорость абразии клифа снова замедлится.

По-видимому, подобная цикличность развития присуща вообще абразионно-аккумулятивным парам. Подтверждением этому может служить развитие Челекенских кос на Каспийском море (Никифоров, 1971), кос Херст-Касл и Уоррен в Великобритании (Кинг, 1963), флангов пересыпей Гиппслендских лагун в юго-восточной Австралии (Bird, 1965), косы Брайтон близ Крайстчерча в Новой Зеландии (Scott, 1955). Х. Валентин (Valentin, 1954) на примере косы Сперн и сопредельных суглинистых (моренных) клифов в районе Холдернесса показал развитие и взаимодействия абразионно-аккумулятивных участков. Им отмечено попеременное опережающее отступление то активного клифа, то сопряженной с ним косы.

Надо полагать, что полученные результаты исследования берегов Черного моря в районе м. Бурнас имеют важное прикладное значение. Их можно использовать при курортном и берегоукрепительном строительстве, при расчетах мощности вдольбереговых потоков наносов, при регулировании обмена морских и лиманных вод через искусственные прорывы.

ЛИТЕРАТУРА

- Губкин Н. М. Разрушение восточных берегов Азовского моря и возможные меры борьбы с ним. «Геоморфология», № 1, 1973.
- Заморій П. К. Епейрогенічні рухи земної кори за четвертинного періоду на території Молдавської РСР та Ізмайльської області УРСР. «Геологічний журнал», т. 9, № 1—2, 1948.
- Зелинский И. П. Опыт изучения эффективности противоползневых сооружений в Одессе и его значение для оценки инженерно-геологических условий береговых склонов. В сб. «Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР», вып. 1. Киев, 1967.
- Зенкович В. П. Берега Черного и Азовского морей. М., Географгиз, 1958.
- Зенкович В. П. Фазы выравнивания бухтовых берегов. «Изв. АН СССР. Сер. географ.», № 5, 1959.
- Зенкович В. П. Морфология и динамика советских берегов Черного моря, т. II, М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Зенкович В. П., Ионин А. С., Каплин П. А. Абразия как источник обломочного материала, поступающего в береговую зону. «Тр. Ин-та океанолог. АН СССР», т. 76, 1965.
- Кинг К. А. М. Пляжи и берега. М., Изд-во иностр. лит., 1963.
- Леонтьев О. К. Основы геоморфологии морских берегов. М., Изд-во МГУ, 1961.
- Лонгинов В. В. О возможности прогноза кратковременных изменений рельефа береговой зоны волнением. «Тр. Ин-та океанолог. АН СССР», т. 48, 1961.
- Мамыкина В. А. Типы берегов северо-восточной части Азовского моря и особенности их динамики. «Тр. Океанографич. комиссии АН СССР», т. 8, 1961.
- Никифоров Л. Г. Динамика и морфология полуострова Челекен. В сб. «Новые исследования береговых процессов». М., «Наука», 1971.
- Шуйский Ю. Д. Россыпи слоя волновой переработки и их генетические особенности. «Докл. АН СССР», т. 196, № 6, 1971.
- Шуйский Ю. Д., Иванов Г. И. О смещении береговой линии в северо-западной части Черного моря. В сб. «Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР», вып. 2, Киев, 1968.
- Bird E. C. F. A geomorphological study of the Gippsland Lakes. Austr. Nat. Univ. Canberra, 1965.
- Scott W. H. Sea erosion and coast protection at Summer, New Zealand. «New Zealand Eng.», vol. 10, 1955.
- Valentin H. Der Landverlust in Holderness, Ostengland von 1852 bis 1952. «Die Erde», H. 3, No. 4, 1954.

DYNAMICS OF THE BLACK SEA COASTS WITHIN THE BURNAS CAPE REGION

Yu. D. SHUISKY, V. Ya. SHEVCHENKO

Summary

The stationary coastal investigations were conducted within the cape Burnas region during 1969—1973. Average rate of the clayey cliff abrasion varies from 4,68 to 5,97 *m/year*, sand-barrier shoreline retreats for 5,65 *m/years*. The rates are the result of the narrow beaches (volumes of beach deposits are 2,2—18,5 *m³/m*) and intensive submarine bench abrasion — up to 0,7 *m/year* at depth 0,5—1 *m*. The thickness of the abraded layer at the bench decreases with depth: to 0,23 *m/year* at depth 2—3,5 *m*, 0,1—0,2 *m/year* at 4—6 *m*, to 0,16 *m/year* at depth 6—7 *m*, to 0,01—0,08 *m/year* at 7—9 *m*.
