

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ ДЮНЫ
НА ПЕСЧАНОМ БЕРЕГУ ЧЕРНОГО МОРЯ

За последние несколько столетий современная береговая зона морей и океанов находится в состоянии естественного деструктивного режима развития. Это явление возникло главным образом под влиянием исторически сложившегося дефицита наносов [1]. Однако, из основных законов береговедения формулируется так: чем больше энергия морских волн тратится на движение и распределение наносов, тем быстрее ее уходит на абразионные процессы, которыми обусловлен деструктивный режим развития... [2]. Следовательно, дефицит наносов предопределил формы развития этого режима, что вызывает потери прибрежных земель и продуктов труда человека. Поэтому значительная часть разработок исследователей направлена на создание эффективных методов защиты берегов или организацию такой практической деятельности, которые позволили бы избежать негативного влияния деструктивных процессов в береговой зоне.

Таким образом, природоохранной реакцией человека на дефицит наносов в береговой зоне является создание условий для увеличения количества наносов, чтобы уменьшить долю волновой энергии, которая тратится на разрушение берегов. Восполнение недостатка наносов чаще всего производится путем создания искусственных пляжей [3,4]. До недавнего времени широко использовались гидротехнические сооружения, которые провоцировали гашение волновой энергии, что приводило к возникновению искусственных пляжей. Однако опыт показал, что такие сооружения не всегда достигают цели. Они засоряют пляжи, их строительство очень дорого, а последующая эксплуатация может стоить в несколько раз больше. Поэтому внимание было обращено на свободные незакрепленные пляжи, создаваемые громадным количеством наносов на абразионноопасных участках [5–8].

Однако при использовании таких пляжей во многих случаях возникают трудности. Для них наносы добываются на суше или на морском дне, что подрывает соответствующую природную систему, наносит экологический и материальный ущерб. К тому же далеко не везде есть обломочный материал необходимых количества и состава, а потому отсутствует возможность соз-

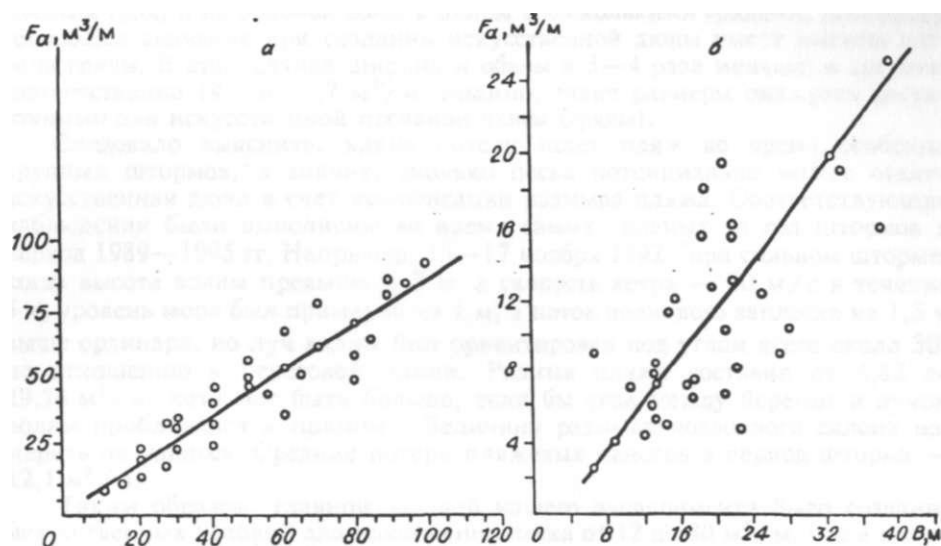


Рис. 1. Графики связи между шириной эоловой зоны (на примере корневой части косы Джарылгач — а), шириной гряды береговой дюны (пересыпь Будаковского лимана — б) (B) и количеством песка (F_a) в составе эоловых форм на побережье Черного моря.

дания пляжа нужных размеров, а тем более компенсационных отсыпок в будущем.

Кроме того, следует заметить, что свободные незакрепленные пляжи применяются там, где естественные невелики по линейным и объемным параметрам, обусловленным совокупностью физико-географических условий. В соответствии с законом литодинамической емкости аккумулятивных форм [9] средние размеры пляжей и пределы их деформаций меняются вместе с изменением окружающих условий, а это — очень медленный процесс, — способный перестроиться в течение сотен и тысяч лет. Поэтому мгновенное антропогенное вмешательство в виде отсыпки незакрепленного пляжа противоречит окружающим условиям, и в дальнейшем ведущей тенденцией их развития является очень быстрое уменьшение размеров пляжа, т.е. его размыв. Скорости размыва могут быть высокими: например, в береговой зоне Черного моря свободные незакрепленные пляжи на разных участках песчаных берегов размываются в течение 9—25 месяцев.

Учитывая изложенное, нами была предпринята попытка экспериментальной защиты берега без применения гидротехнических сооружений, с использованием лишь закономерностей развития эоловых процессов на песчаном берегу. В мировой практике такая методика применяется [8, 10], однако подобный эксперимент в условиях берегов Черного моря проведен впервые. Цель состоит в создании запасов наносов в виде гряды береговой дюны в верхней части пляжа. Эта гряда служит резервом наносов и защитным барьером на пути действия штормового прибойного потока. Ценно то, что эти запасы пополняют пляжи в самой острой ситуации, когда берег подвергается воздействию сильных штормовых волн и нагонов.

На участках с наиболее благоприятными условиями, где нет естественных и искусственных препятствий для формирования дюн, на узких пересыпях и косах в строении дюнных форм в пределах всей эоловой зоны может участвовать не более $95 \text{ м}^3/\text{м}$ песка, а чаще всего — $25\text{--}40 \text{ м}^3/\text{м}$. В месте расположения экспериментального участка дюнных форм практически не было, ширина пляжа не превышала 55 м, высота — 1,1 м.

Аналогичная закономерность была выявлена и на других участках, в частности, на пересыпи Будаковского лимана (рис. 1). Но в отличие, например, от района косы Джарылгач здесь учитывалась ширина отдельных

эоловых гряд, а не эоловой зоны в целом с несколькими грядами, поскольку решающее значение при создании искусственной дюны имеет именно ширина гряды. В этом случае ширина и объем в 3–4 раза меньше: в среднем соответственно 19,7 и 10,7 м³/м. Видимо, такие размеры окажутся достаточными для искусственной песчаной дюны (гряды).

Следовало выяснить, какие потери несет пляж во время особенно крупных штормов, а значит, сколько песка потенциально может отдать искусственная дюна в счет компенсации размыва пляжа. Соответствующие наблюдения были выполнены во время самых сильных за год штормов в период 1989–1995 гг. Например, 13–17 ноября 1992 г. при сильном шторме, когда высота волны превышала 3 м, а скорость ветра — 30 м/с в течение 5 ч, уровень моря был примерно на 1 м, а поток волнового заплеска на 1,3 м выше ординара, но луч волны был ориентирован под углом всего около 30° по отношению к береговой линии. Размыв пляжа составил от 4,82 до 29,74 м³/м, хотя мог быть больше, если бы угол между берегом и лучом волны приблизился к прямому. Величину размыва подводного склона измерить не удалось. Средние потери пляжевых наносов в период шторма — 12,1 м³/м.

Таким образом, главной задачей нашего эксперимента было создание искусственных условий для накопления песка от 12 до 30 м³/м, что в целом совпадает с размерами большинства отдельных эоловых гряд на исследованных песчаных берегах. Эксперимент проводился в районе узкой корневой части косы Джарылгач, в северной части Каркинитского залива, на территории курорта Лазурное. Преобладающие и особенно сильные ветры здесь — береговые северо-западные и северо-восточные (более 15 м/с), создающие условия для выноса в море песка с поверхности аккумулятивных форм. Это служит главной причиной того, что линейные и объемные размеры эоловых форм здесь невелики (см. рис. 1).

Согласно гранулометрическому анализу проб наносов ведущей фракцией является 0,25–0,5 мм. По данным отбора проб каждый сезон года на 6 профилях за период 1989–1995 гг. ее содержание составляет в среднем 41,9 %. На втором месте находится фракция 0,1–0,25 мм — в среднем 35,8 %. Остальные: 8 фракций в сумме составили 22,3 %. Следовательно, песчаная поверхность аккумулятивной формы, ширина пляжа, длина разгона ветрового потока над пляжем, состав наносов благоприятны для запланированного эксперимента. Однако необходимо было нейтрализовать сдувающее действие господствующих ветров (снос песка в море), переориентировать ветровой поток на действие в сторону суши, к верхней части пляжа и создать условия для задержки песка при его движении в верхней части пляжа.

С целью нейтрализации сдувающего действия ветра был выбран участок с обширным парком с высокими деревьями на берегу. Эта древесная преграда гасила ветровой поток со стороны суши. Так, в ноябре 1989 г., в марте 1990 и ноябре 1992 г. у наветренной части древесной полосы скорость ветра составляла 20–25 м/с одновременно с подветренной, где расположен морской пляж, — всего 6–7 м/с, т.е. в 3–4 раза меньше. При более низких скоростях разница была еще заметнее. В результате преобладающее значение как фактор ветрового переноса песка приобрели морские ветры. Такая ситуация оказалась благоприятной для выноса песка с пляжа на сушу и неблагоприятной для сдувания его с пляжа в море.

С целью резкого гашения скоростей ветра и наносодвижущей способности ветрового потока используются разные приспособления [2, 10], однако в условиях морских песчаных берегов наиболее эффективными оказались так называемые песчаные щитки (*sand fences*) [8, 11]. Их наносонакопительные свойства зависят от гранулометрического состава песка, направления и скорости ветра, исходной ширины пляжа, а также от конструкции щитков — их высоты, формы и «пористости» (т.е. общей площади, не занятой перемычками, через которую продувает ветер), соотношения ширины перемычек и отверстий. Именно конструкция щитков имеет опреде-

ляющее значение в каждом конкретном случае, на каждом из участков песчаного берега.

Результаты лабораторного моделирования [11] позволили сделать следующие выводы: 1) «пористость» щитков, равная 40 %, обеспечивает максимальное и быстрое накопление наибольшего количества песка при средней его крупности 0,3 мм; 2) наиболее быстрое формирование песчаного вала может происходить и при пористости щитков 20 %, но такой вал неустойчив при изменении ветрового режима; 3) при данной крупности песка (0,3 мм) оптимальная высота щитка составляет примерно 1 м; 4) максимальная устойчивая высота песчаного вала не превышает 80 % высоты щитка. Особое значение придается пористости щитка, которая во многом определяет абсолютную массу песка и размеры искусственной дюны.

Наши натурные исследования подтвердили и дополнили указанные выводы, что оказалось важным во время эксперимента на корневой части косы Джарылгач. Оказалось, что оптимальная высота щитков при средней крупности песка 0,12 мм должна быть 1,7 м и пористость — около 25 %, при средней крупности 0,2 мм — 1,2 м и пористость примерно 30–35 %. Если поверхность песка, который аккумулируется щитком, начинает зарастать травянистой растительностью, то скорость накопления наносов и объем песчаного вала увеличиваются на 20–50 %. Таким образом, чем крупнее песок, вовлекаемый в эоловый перенос, тем должен быть ниже щиток и больше его пористость для быстрого накопления устойчивого вала (искусственной дюны). Изменяя конструкции щитков, можно добиться их высокой эффективности на пляжах разных типов, особенно на стадиях затухания или прекращения волнового размыва берегов в течение соответствующего климатического ритма [12]. В этой связи благоприятными для проведения эксперимента оказался период (80–90-е гг.), когда снизились количество и продолжительность сильных штормов и ветров с моря.

На участке эксперимента, прикрытом деревьями старого парка от господствующих северных береговых ветров, в 40 м от линии уреза в верхней части пляжа был установлен песчаный щиток длиной 140 м в целом параллельно береговой линии. Он ориентирован под углом около 80° по отношению к лучу результирующего вектора ветрового потока. Высота щитка 1,7 м (высота пляжа до 1,1 м над ординаром), а пористость—30 %, что при данной крупности песка (фракции 0,1–0,5 мм) должно было обеспечить быстрое и устойчивое накопление защитного песчаного вала.

Эксперимент начался летом 1989 г. и закончился в конце 1992 г. До конца 1990 г. накопилось около 60 % всего объема вала, до конца 1991 г. — 90 %. Для усиления устойчивости создаваемого песчаного вала (искусственной дюны) применялась плантация травянистой растительности, которая повысила задержание песчаных наносов [9]. Следовало убедиться, что искусственная дюна будет существовать достаточно длительное время и выдержит натиск крупных штормов. Выяснилось, что дюна защитила береговую территорию даже во время таких сильных штормов, как 13–17 ноября 1992 г. и 19–25 октября 1994 г.

Летом 1995 г. в составе искусственной дюны было 1630 м³ песка, или в среднем 11,64 м³/м. Высота ее составляла от 0,65 до 1,52 м, т.е. от 38 до 89 % высоты примененного щитка (в среднем 55 %), зато ее ширина была около 30 м (в среднем 20,2 м) благодаря покрову травянистой растительности.

Таким образом, высота искусственного дюнного вала оказалась несколько ниже, чем это можно было бы ожидать по расчетам высоты и пористости примененного песчаного щитка. Видимо, следовало установить не один ряд щитков (рис. 2), а два или три параллельно один другому. Тем не менее искусственный вал увеличил высоту тыльной части пляжа до 1,55–2,42 м над ординаром (в среднем 1,82 м), а во время шторма в ноябре 1992 г., как уже упоминалось, штормовой размыв захватил отметки до 1,3 м над ординаром. Если бы искусственная дюна отсутствовала, штормовой заплеск достиг бы территории пансионата и затопил ее, разрушив волнами береговые постройки. Такие явления произошли на территориях соседних пансионатов

/ ХБ

@Сам<
}---

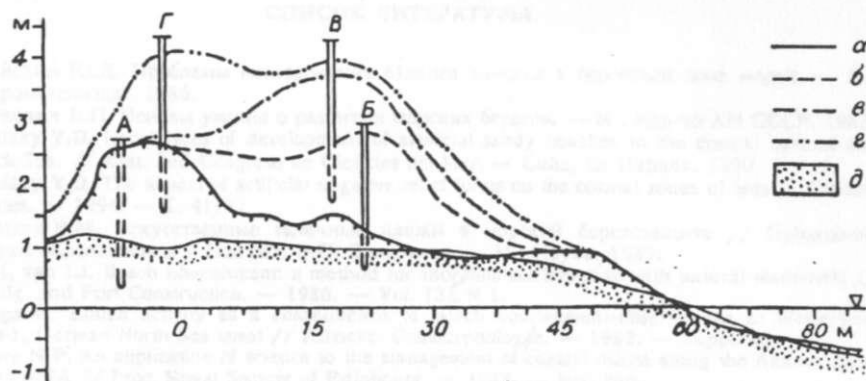


Рис. 2. Искусственное наращивание профилей береговой дюны с помощью песчаных щитков (А—Г) на разных стадиях.

а — стадия выполненного эксперимента от исходного профиля естественного пляжа (лето 1989 г.) до профиля дюны, образовавшейся после установки щитка Л (конец 1992 г.); рекомендованное дальнейшее наращивание, стадии: *б, в, г* — соответствующие прогнозируемые профили после установки двух, трех и четырех параллельно установленных щитков; *0* — исходный профиль пляжа.

и баз отдыха, где искусственная дюна отсутствовала и тыльная часть пляжа была низкой.

Однако вполне вероятно, что в будущем могут повториться более сильные и продолжительные штормы, во время которых луч волны будет ориентирован под углом, близким к 90° по отношению к береговой линии. В этом случае средние значения размыва пляжа и искусственной дюны будут больше и смогут превысить $30 \text{ м}^3/\text{м}$ — максимума во время упомянутого шторма в ноябре 1992 г. Поэтому рекомендуется ее дальнейшее наращивание с помощью песчаных щитков [8, 11]. Выполнить его можно разными способами: путем установления новых щитков на более высоких отметках образовавшейся новой дюны; установлением двух и более рядов щитков параллельно один другому; зигзагообразным простираем щитков; изменением их высоты и пористости; комбинированием всех перечисленных путей.

На поперечный профиль естественного пляжа перед началом эксперимента в 1989 г. (см. рис. 2) наложен профиль с песчаным защитным валом искусственной дюны около начального щитка (стадия *а*). Для иллюстрации демонстрируется путь установления последующих щитков на более высоких отметках относительно ординара по рекомендациям других исследователей [7, 11, 12]. По мере накопления песка происходит увеличение искусственной дюны, которая может противостоять все более сильным штормам. Когда искусственная дюна становится достаточно крупной, чаще всего увеличивается высота и ширина морского пляжа, что в свою очередь повышает устойчивость берега и понижает вероятность разрушения хозяйственных объектов на берегу.

Думается, преимущества защиты и сохранения морских песчаных берегов с помощью описанного метода очевидны. Помимо сохранения материальных, финансовых, трудовых ресурсов, грубого вторжения техники в природную систему, данный метод позволяет обеспечить высокую экологическую ценность морского берега, избавляет от эксплуатационных расходов в будущем, повышает качество рекреационных ресурсов, сохраняет прибрежную территорию от волнового разрушения. Это тем более полезно, если учесть, что традиционные гидротехнические сооружения на песчаных берегах в большинстве случаев приводят к деградации аккумулятивных форм с их уникальными ландшафтами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуйский Ю.Д. Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. — Л.: Гидрометеиздат, 1986.
2. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. — М.: Изд-во АН СССР, 1962.
3. Shuisky Y.D. Regularities of development of artificial sandy beaches in the coastal zone of the Black Sea. // Abst. 2nd Congreso de Ciencias del Mar. — Cuba, La Habana, 1990.
4. Shuisky Y.D. The impact of artificial negative relief forms on the coastal zones of seas // Cahiers Nantes. — 1994. — Т. 41/42.
5. Пешков В.М. Искусственные галечные пляжи в морской берегозащите // Природные основы берегозащиты / Под ред. В.П. Зенковича. — М.: Наука, 1987.
6. Hoff, van I.J. Beach nourishment: a method for shoreline conservation with natural malheriais // Dredg. and Port Construction. — 1986. — Vol. 13/TN 1.
7. Draga M. Eolian activity as a consequence of beach nourishment-observations at Weserland (Sylt), German North Sea coast // Zeitschr. Gcomorpholog/e. — 1983. — Suppl. 45.
8. Psuty N.P. An application of science to the management of coastal dunes along the Atlantic coast of the USA // Proc. Royal Society of Edinbourg. — 1989. — Vol. 98b.
9. Шуйский Ю.Д., Выхованец Г.В. Экзогенные процессы развития аккумулятивных берегов в северо-западной части Черного моря. — М.: Недра. 1989.
10. Goldsmith V. Coastal Dunes // Coastal Sedimentary Environments, 2nd Edit. R.J.Davis, ed.-N.Y.: Springer, 1985. L
11. Hotta S., Horikawa K. Function of sand fence placed in front of embankment // Study of wind-blown sand on beaches. — Study Coastal Engineering in Japan. — Tokyo: JSCB, 1991.
12. Erchinger H.F. Conservation of barrier dunes as a smooth, natural method of coastal protection on the East Friesian Islands, Germany // Coastal Dunes, Ecology and Management for Conservation. R. Carter, T. Curtis & M. Sheehy-Skeffington, eds. — Rotterdam: A Balkena Publ., 1992.

*Одесский государственный
университет*

*Поступила в редакцию
28 июля 1995 г.*