

УДК 551.49 + 551.435 (262.5)

**Ю. Д. Шуйский**, доктор геогр. наук, профессор  
**А. Б. Муркалов**, ст. преподаватель  
кафедра физической географии и природопользования  
Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова,  
ул. Дворянская 2, Одесса-82, 65082, Украина

### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРИСЛОНЕННЫХ ОДНОСКЛОННЫХ ПЛЯЖЕЙ НА АБРАЗИОННЫХ БЕРЕГАХ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Пляжи испытывают максимальную антропогенную нагрузку на морских побережьях, в т.ч. и Черного моря. Составлена карта распределения пляжей, сложенных наносами разного состава. Разработаны модели, описывающие связи между различными линейными и объемными размерами пляжей и их зависимость от энергии морских волн. Полученные результаты могут быть применены в различных отраслях хозяйственной деятельности на берегах Черного моря. Данные могут использоваться при разработках берегозащиты, рекреационного хозяйства, при создании искусственных пляжей, для оценки общего природного состояния морского берега.

**Ключевые слова:** Черное море, берег, пляж, волны, наносы, морфология, динамика, применение.

#### **Введение**

В последние годы начали интенсивно меняться социально-экономические отношения в Украине. В связи с установлением независимости и новой правовой базы, начали быстро осваиваться различные территории страны. Особенно привлекательными оказались берега морей, водами которых омывается территория страны. Из теории береговедения следует [4, 8], что пляжи любого типа представляют собой составной

© Шуйский Ю. Д., Муркалов А. Б.

элемент береговой зоны морей. Причем, это наиболее динамичный элемент, способный мгновенно реагировать на естественные и искусственные возмущения сложившегося режима развития. Поэтому они столь же быстро сказывались и неблагоприятные воздействия при использовании природных ресурсов. Ко всему, пляжи представляют собой наиболее яркий индикатор общего состояния береговой зоны. Поэтому в условиях изменения социально-экономических условий стала острой необходимость сохранения и восстановления природных ресурсов в береговой зоне. Наступила пора пользоваться реальной научной информацией и научными положениями биологии и географии, а не безосновательными директивами экологических организаций различного административного уровня. В этой связи необходимо знать достоверные закономерности формирования, структуры и динамики пляжей. Следовательно, тема статьи является *актуальной*.

*Цель данной работы* состоит в выявлении и анализе закономерностей формирования естественных односклонных прислоненных пляжей на абразионных берегах Черного моря. Для достижения данной цели были решены такие *основные задачи*: а) установить линейные и объемные размеры пляжей, особенности состава пляжевых наносов; б) установить взаимосвязь между отдельными характеристиками размеров пляжей разных типов; в) изучить соотношение между линейными и объемными размерами пляжей; г) установить сезонные закономерности изменения пляжей; д) многолетние тенденции изменения размеров пляжей; е) приложение полученных результатов для разработки одного из методов создания искусственного пляжа.

В качестве *объекта исследований* были выбраны сложившиеся типичные, разнообразные и весьма динамичные песчаные пляжи в северо-западной части Черного моря, где относительно полно исследованы физико-географические условия пляжевого морфогенеза. Предметом нашего исследования выступают закономерности развития линейных и объемных размеров и состава наносов песчаных односклонных прислоненных пляжей в береговой зоне северо-западной части Черного моря. *Достоверность* конечных результатов обеспечивается использованием многолетних натурных работ и стандартной общепринятой методики камеральной и теоретической обработки натурных данных. В основе данной работы лежит, среди других, принцип унаследования работ предшественников и их научных достижений. Разработка теоретических моделей пляжевого морфогенеза и обнаружение закономерностей развития пляжей во времени можно оценивать как определенный вклад

в теорию береговедения. Это можно считать *теоретической значимостью* данной работы. Полученные материалы и выводы могут использоваться при разработках берегозащиты, рекреационного хозяйства, при создании искусственных пляжей, для оценки общего природного состояния морского берега и др. Этим определяется *практическая значимость* данной работы.

### Материалы и методы исследования

В основу данной работы положены материалы многолетних (до 40 лет) инструментальных исследований на стационарных участках, закрепленных на местности. На каждом участке выполнялись промерно-грунтовые и нивелировочные профили с отбором проб наносов. Характеристики пляжевого рельефа выявлялись полевым описанием и профилями в масштабе в 1 см равно 2 м ( $M = 1:200$ ), а положение уровня воды — нивелировкой от постоянного репера. На поверхности пляжей образцы наносов отбирались, исходя из особенностей рельефа: чем сложнее рельеф, тем больше проб. Статистические показатели брались по среднему из совокупности проб на данном профиле. В лаборатории по показателям камерального гранулометрического анализа выполнялся фракционный анализ и рассчитывались статистические характеристики. Они выносились на карты, а в результате составлялись карто-схемы вдольберегового распределения  $Md$ ,  $S_o$ ,  $S_k$ ,  $C_o$ ,  $\Gamma_o$ ,  $CaCO_3$  и др. Строились графики связи между этими показателями. Полученные характеристики и их величины легли в основу количественных моделей, разработанных впервые.

Исследования выполнялись на 18 узловых стационарных участках (рис. 1). На них отрабатывалось около 200 промерно-грунтовых профилей в течение одного года. Литодинамические характеристики были получены по данным отработки 930 образцов пляжевых наносов, взятых во время одного года на профилях изученных песчаных берегов. Вся информация была представлена в виде таблиц, графиков, схем, карт.

Весь полевой материал и данные его камеральной обработки были интерпретированы и подверглись исследованиям с помощью теоретических методов. При этом были применены методы систематизации, анализа, синтеза, классификации, районирования, полевым маршрутным и стационарным. Большинство характеристик пляжей представлено с помощью картографического метода. В массовом виде

применялись методы сравнительно-географической и математической статистики. Результаты и выводы данной работы стали продолжением исследований предшествующих авторов.

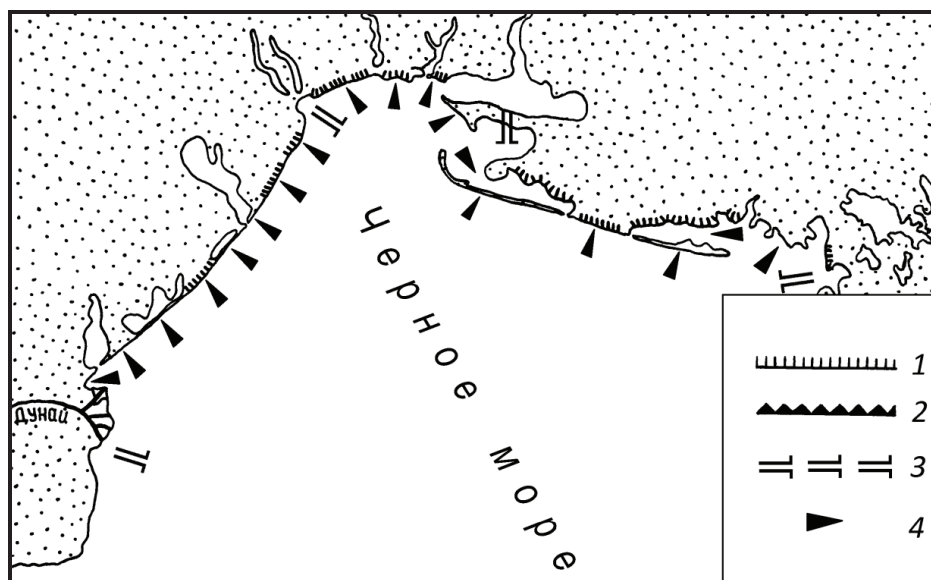


Рис. 1. Схема расположения основных стационарных участков по многолетним географическим наблюдениям за пляжами разных типов: 1 — активные клифы; 2 — отмершие клифы; 3 — границы береговых районов; 4 — положение стационарных участков.

### **Анализ материалов и обсуждение результатов исследования**

В отличие от большинства подобных работ, данная построена на материалах натуральных *стационарных* исследований на 38 участках с 1997 г. Ряд их наблюдался другими авторами с 1972 г.

*Особенности морфологии и динамики пляжей разных типов.* В большинстве литературных источников по морфологии и динамике береговой зоны моря и по морской гидротехнике освещаются результаты исследования естественных пляжей на аккумулятивных берегах [4, 5, 11-13]. В региональных работах, как и в обобщающих, приводятся данные о длине, ширине, высоте пляжей, их изменчивости во времени в

зависимости от повторяемости, продолжительности действия, размеров волн во время штормов, в течение сезонов года и в многолетнем разрезе. Такие материалы исследований позволили установить основные черты морфологии и динамики пляжей как составной части природной системы береговой зоны в различных физико-географических условиях; они сделали более полной теорию прибрежно-морских процессов, широко используются в практике берегозащитного строительства на морских берегах.

Вместе с тем, пляжи широко распространены и на абразионных берегах, где они залегают у подножья клифов разных типов. Такие пляжи, будучи прислоненными к клифам, развиваются иначе, чем на аккумулятивных берегах [4, 8, 13]. естественные пляжи на абразионных берегах представляют наибольший интерес для усовершенствования берегоукрепительных работ, в частности, с помощью искусственных пляжей как наиболее прогрессивного метода. Но именно односклонные прислоненные пляжи изучены гораздо хуже, что делает проблему особенно актуальной.

Кроме того, в подавляющем большинстве случаев в публикациях освещаются результаты исследований линейных параметров естественных пляжей. А в практике берегозащитного строительства важное значение имеют исследования объемных параметров — удельного и общего количества наносов в составе пляжей. Ведь определение оптимальных объемных размеров имеет не только природоохранное, но и экономическое значение: в настоящее время песок, гравий или галька для отсыпки в искусственные пляжи стоит до 9–10 грн. за I тонну. За искусственный пляж небольшой длины (до 500 м) надо платить около 700–800 тысяч рублей. Цена значительно возрастает при необходимости строительства наносозадерживающих сооружений и различных архитектурных форм.

Односклонные прислоненные пляжи широко распространены на берегах Черного и Азовского морей, в частности — от дельты Дуная на западе до Перекопского залива на востоке (рис. 1). Мы рассмотрим закономерности их развития на примере равнинных берегов как наиболее изученных, горные побережья пока не затрагиваются.

Для исследований была применена следующая методика. Прежде всего, была составлена опись пляжей на абразионных участках. С этой целью производилось нивелирование подводной и надводной поверхностей пляжей с помощью серийно выпускаемого нивелира. Пункты нивелирования выбирались так, чтобы измерить наиболее характерные

пляжи, а расстояния между пунктами не превышало бы 1 км. Нередко в пределах одного пункта производилось 5–6 измерений.

Поскольку на изученных берегах прибрежные пляжи распространяются на прибрежное дно моря до глубин 0,5–1,0 м, редко более 1,5 м, то нивелированием измерялись линейные размеры всего пляжа: ширина, высота, форма поперечного профиля. По известным высоте и ширине вычислялась крутизна (уклон). В наиболее характерных точках, где ставилась дальномерная рейка, производилось ручное бурение толщи пляжевых наносов до подстилающих коренных пород [7, 9]. При построении поперечного профиля пляжа можно измерить удельный объем наносов в составе пляжей,  $1 \text{ м}^3$  на 1 пог. м длины берега ( $\text{м}^3/\text{м}$ ), как показано на примере одного из изученных участков (рис. 2). Получение такого материала позволяет определять не только линейные, но и объемные параметры, а также устанавливать корреляционные связи между ними.

При натурных исследованиях односклонных пляжей использовалась также методика, предложенная Д. Филлипсом [14]. Она заключается в выборе оптимального интервала ( $\gamma$ ) профиля пляжа при повторном мониторинге с целью оценки объема и баланса наносов. Для этого используется функция полудисперсии:

$$\gamma(h) = 0,5 s^2 (y_n - y_{n-h} + h) \quad (1)$$

где:  $h$  — сдвиг;  $s^2$  — дисперсия;  $y_n$  — значение высоты пляжа в точке  $n$ . Если среднее измерение постоянно на расстоянии  $d$  и  $h < d$ , полудисперсия со сдвигом  $h$  равна половине математического ожидания  $(0,5E)$  квадрата разности между высотами в точках, разделенных  $h$  интервалами:

$$\gamma(h) = 0,5 E (y_n - y_{n-h} + h) \quad (2)$$

Первоначально съемка производилась с минимальным интервалом измерений. Затем выполнялся расчет функции полудисперсии с различным сдвигом  $h$ . Отсюда, съемки велись достаточно экономно, но без существенной потери информации. Такой подход повысил достоверность конечных результатов.

Выполненные исследования показали небольшие размеры пляжей, согласно табл. 1, как следовало ожидать в условиях острого дефицита наносов. В соответствии с обобщениями материалов, в разных районах средние значения высоты пляжей меняются от 0,99 до 1,38 м, ширины — от 8,4 до 35,99 м. Количество содержащихся в пляжах наносов минимальным является на северо-восточных берегах Азовского моря, а максимальным — между м. Бурнас и м. Бугово.

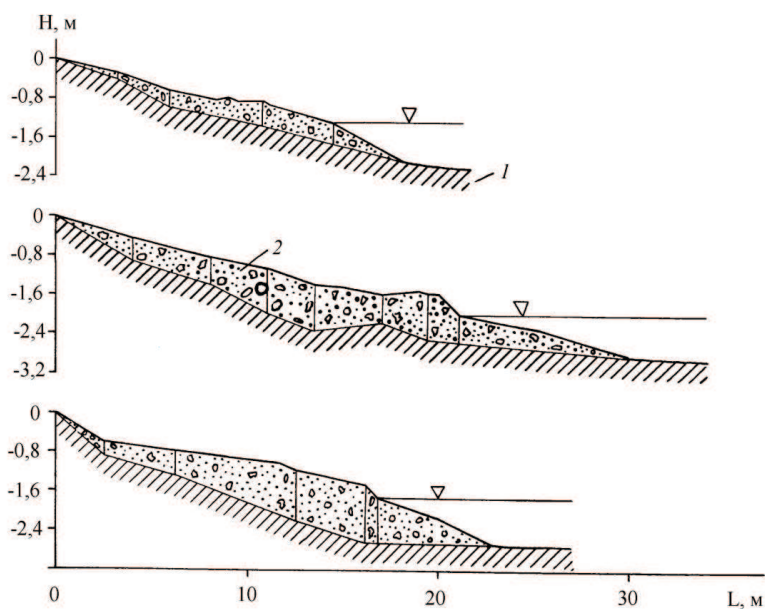


Рис. 2. Типичные разрезы пляжевой толщи наносов у подножья клифов на различных участках берега Черного моря: верхний — в районе устья Люстдорфской балки; средний — район водосброса из очистных сооружений Ильичевска; нижний — возле хутора Леонидово; 1 — подстилающие глинистые породы; 2 — толщина пляжевых наносов.

Таблица 1

**Средние значения линейных и объемных параметров односклонных прислоненных пляжей на абразионных берегах Черного моря**

№ района	Название района	Высота пляжей, м	Ширина пляжей, м	Объем наносов в пляжах, м <sup>3</sup> /м
1	2	3	4	5
1.	м. Бурнас – м. Большой Фонтан	1,38	15,99	20,23
2.	Одесский залив – м. Аджияск	0,99	11,53	10,24
3.	Западные берега Крыма	1,25	15,76	11,5



Как известно [4, 8, 10, 12], размеры пляжей зависят (помимо запасов наносов в береговой зоне) и от степени волновой активности прилегающей акватории моря. Такая связь проявляется в первую очередь в отношении высоты пляжей. Она достаточно четко прослеживается на Черном и Азовском морях. Наши расчеты по различным волно-энергетическим методам показали, что средние годовые значения волновой энергии составляют до 35–38 условных единиц между мысами Бурнас и Бол. Фонтан (район 1), до 17–19 условных единиц между Одесским заливом и Днепровско-Бугским лиманом (район 2) и до 26–29 условных единиц у северных берегов Каркинитского залива (район 3).

Высокие значения волновой энергии и относительно крутые подводные склоны (0,018-0,020) при достаточных запасах пляжевых наносов привели к формированию самых крупных пляжей [7, 10]. Соответственно ширина их надводной части наибольшая. В таких условиях высота заплеска прибойного потока обусловила и наибольшую высоту пляжей. Район 2 блокирован обширной отмелью Одесской банки со стороны моря, и при меньших, чем в районе 1, запасах наносов здесь наблюдается ослабленный, менее активный волновой режим; в таких условиях сформировалась небольшая высота пляжей. Соответственно, и крутизна, уклоны поверхности пляжей района 2 меньше, — это общая закономерность, характерная для пляжей и других районов (рис. 3).

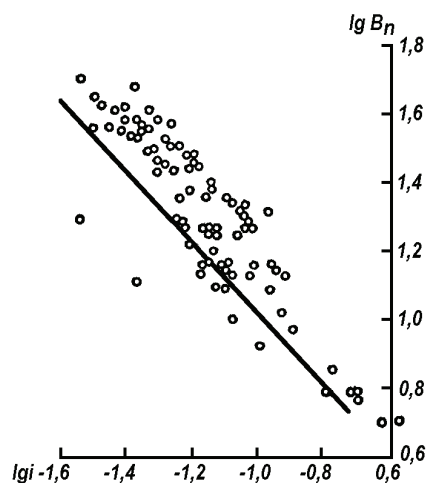


Рис. 3. График связи между уклонами поверхности ( $lg i$ ) и шириной ( $lg B_n$ ) прибрежных односклонных песчаных пляжей в 1 и 2 береговых районах Черного моря (между Жебриянской бухтой и Кинбурнским проливом).



У берегов Каркинитского залива преобладают песчано-ракушечные наносы, а значения уклонов подводного склона 0,025–0,028 не позволяет подходить к берегу таким же крупным волнам, как вообще на галечных берегах (например, у южных берегов Крыма, где уклоны прибрежного дна достигают 0,03–0,06). В этой связи и энергия волн относительно невелика (до 26–29 условных единиц), и ослабленный волновой поток не может создать высоких пляжей (до 4–5 м), как на приглубых галечных берегах. К тому же дефицит наносов, обусловленный сравнительно небольшой продуктивностью источников питания осадочным материалом, привел к небольшой ширине и малому объему наносов в пляжах.

Как видно, возможна тесная зависимость уклонов поверхности пляжей от ширины. При этом прислоненные пляжи бывают сложенными различными наносами, и, чем больше размеры наносов, тем в общем круче уклон пляжа. В этой связи можно предполагать, что уклон пляжа и интегральная крупность наносов тесно связаны. Нами были взяты для анализа поперечные профили с разным уклоном — от 1:15 до 1:110 (рис. 4) и сложенных песчаными наносами со средним диаметром равным  $Md = 0,1-1,0$  мм. Оказалось, что на трех выбранных участках доминируют фракции 0,2-0,6 мм, а с увеличением уклонов растет интегральная крупность наносов.

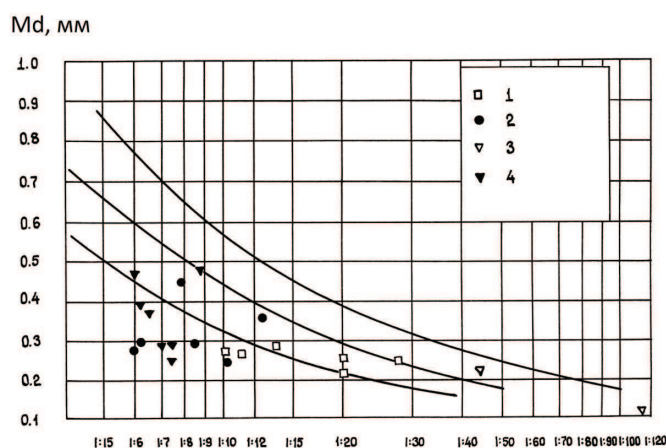


Рис. 4. Графики связи средней крупности пляжевых наносов ( $Md$ , мм) и интегрального уклона односклонных пляжей ( $i_n$ ) по данным образцов, отобранных в районах: 1 — между мысами Санжейский и Бурнас; 2 — на «лбищах» Кинбурнском и Джарылгач-Тендровском; 3 — м. Бол. Фонтан и восточной оконечности косы Джарылгач; 4 — между Одесским заливом и м.Аджияск.

Соотношение линейных и объемных размеров пляжей. Анализ натурных измерений и длительных наблюдений позволил получить ряд закономерностей, указывающих на взаимосвязь линейных и объемных параметров пляжей. При этом ширина  $B_n$ , как и крутизна  $i$  берется для надводной части пляжа, высота обозначается как вертикальное расстояние между средним уровнем моря и вершиной пляжа. Оказалось, что в условиях береговой зоны Черного моря высота  $H_n$  в том или ином районе меняется несущественно и в малой мере зависит от локального изменения состава пляжевых наносов [10]. Поэтому уклоны пляжей  $i$  связаны преимущественно с изменениями их ширины — переменной величиной  $B_n$  в каждом из районов. На примере песчаных пляжей района 1 получено следующее выражение:

$$i = 0,055 + \frac{0,56}{B_n} \quad (3)$$

Для галечных, гравийных и ракушечных пляжей уравнение регрессии имеет иной вид, хотя закономерность, показанная на рис. 3, сохраняется. Она подтверждает, что уклоны поперечного профиля пляжа тем меньше, чем шире пляж. Величина  $B_n$  влияет и на количество наносов ( $F_a$ , м<sup>3</sup>/м), содержащихся в пляжах. В качестве примеров приводятся данные по различным районам. Так, между мысом Бурнас и Сухим лиманом преобладают песчаные пляжи, ширина которых чаще всего составляет 15–20 м, а максимальная — до 45 м. Условия развития береговой зоны между Одесским заливом и Днепро-Бугским лиманом привели к преобладанию песчано-галечных и песчано-гравийных пляжей, шириной до 25 м, обычно — 10–13 м (табл. 1). Эти закономерности позволяют проанализировать и объяснить функцию  $F_a = f(B_n)$ .

Оказалось, что количество наносов в надводной части пляжа, количество наносов в пляже вообще (в его надводной и подводной частях вместе взятых) и ширина надводной части пляжа тесно связаны между собой в условиях изученных районов береговой зоны Черного моря. Узкие пляжи содержат мало наносов, но чем шире пляж, тем дальше в море и на большей глубине распространяется внешняя граница пляжевых наносов, и вместе с тем шире становится надводная часть пляжа. Этот вывод важен потому, что в практике берегозащитного строительства наибольший интерес вызывает ширина надводной части пляжа и общее количество наносов, содержащихся в его надводной и подводной частях вместе взятых (как показано на рис. 2). Поэтому на графиках

рис. 5–6 выносилась ширина только надводной части пляжа  $B_n$ , а объем наносов брался для всего пляжа — надводной и подводной частей.

Как и следовало ожидать, все графики рис. 5–6 показали, что с увеличением надводной ширины односклонных пляжей  $B_n$  растет удельное количество наносов  $F_a$ . Для сравнения были взяты данные для построения графиков в условиях вогнутой береговой дуги Одесского залива (рис. 5), где результирующий вектор ветро-волновой энергии действует по более сложному пути, а величины результирующего вектора ветро-волновой энергии заметно меньше, чем на открытых берегах [2].

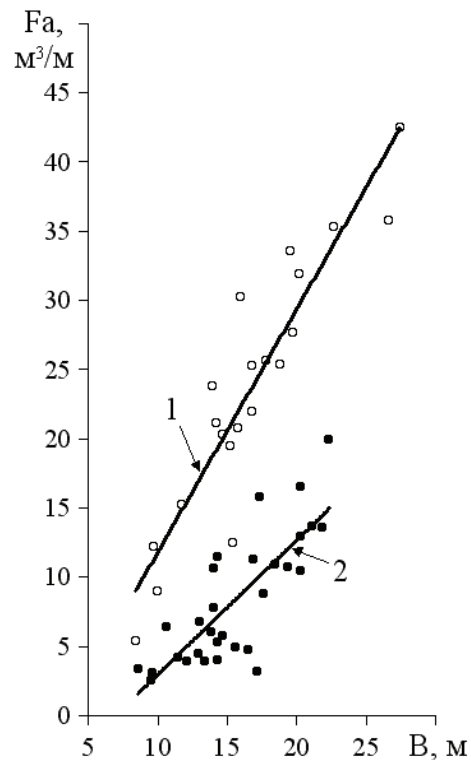


Рис. 5. График зависимости количества наносов в пляжах ( $F_a$ , м³/м) от их ширины ( $B_n$ , м) в пределах вогнутой береговой дуги Одесского залива. Состав наносов: 1 — песчаные; 2 — песчаные с примесью гальки, гравия и ракушки.

Более широкими и с большей массой наносов оказались песчаные пляжи на открытых действию волн участках. Были использованы наблюдения на двух открытых участках: первый расположен между

мысами Санжейский и Бол. Фонтан, а второй — между мысами Сев. Одесский и Аджияск (рис. 1). Для первого участка удельный объем был равен от 4,19 до 42,85 м<sup>3</sup>/м, а среднее 20,23 м<sup>3</sup>/м. Ширина пляжей — до 45 м, при средних 12-16 м (рис. 6). Доминируют пляжи с объемами выше средних. На втором участке объемы пляжей оказались меньше — от 0,62 до 41,35 м<sup>3</sup>/м, а среднее 10,24 м<sup>3</sup>/м. В целом по участку песчаные пляжи содержат в общем на 5-6 м<sup>3</sup>/м больше наносов, чем гравийно-галечные. Наиболее динамичным параметром оказался объемный — количество пляжевых наносов.

Для каждого района, где пляжи сложены наносами разного состава, были получены уравнения регрессии. Для песчаных пляжей в условиях умеренно приглубых подводных склонов и повышенного количества поступающей волновой энергии уравнение имеет вид:

$$F_a = 1,94B_n - 9,01 \quad (4)$$

Коэффициент корреляции составляет:  $r_{B_n F_a} = 0,93 \pm 0,02$ , что свидетельствует о высокой степени связи  $F_a = f(B_n)$  для прислоненных песчаных пляжей района 1 (рис. 6.а).

Более широкий разброс точек оказался на графике рис. 6.б, он показывает более широкое разнообразие линейных и объемных параметров гравийно-галечных (ракушечных) пляжей в районе 3. Уравнение регрессии такое:

$$F_a = 1,04B_n - 7,54 \quad (5)$$

Как можно видеть (рис. 6.б), гравийно-галечные (или ракушечные) односклонные пляжи на абразионных берегах в конкретных условиях района 2 являются более широкими, но при этом содержат в себе меньше наносов, чем песчаные пляжи той же ширины в районе 1. Отсюда, их толщина меньше, они залегают более тонким слоем на поверхности подстилающих коренных пород. Видимо, это связано с меньшей степенью подвижности наносов под влиянием меньшего количества приходящей к берегу волновой энергии. Соответственно, и коэффициент корреляции ниже:  $r_{B_n F_a} = 0,74 \pm 0,06$  при более высокой среднеквадратической ошибке.

Похожая закономерность обнаружена и для песчано-гравийных пляжей в вогнутой береговой дуге Одесского залива (рис. 5). Они являются динамически более устойчивыми, сохраняющими линейные и объемные размеры длительное время в условиях очень отмелого подво-

дногo склона и низких значений волновой энергии. Поэтому коэффициент корреляции в данном случае равен  $rB_n F_a = 0,91 \pm 0,04$ . Это достаточно высокая степени связи  $F_a$  и  $B_n$ . Соответственно уравнение регрессии представлено в виде:

$$F_a = 0,46 B_n - 2,2 \quad (6)$$

Наконец, в районе 2 между Одесским заливом и Кинбурнским проливом широким оказался разброс размеров (рис. 6). Одним из основных отличий является смешанный состав наносов: распространены прислоненные односклонные пляжи относительно небольшие в на разных участках района — преобладание либо песчаных фракций, либо гравийно-галечных. Как и в других районах береговой зоны Черного моря, с ростом содержания песка увеличиваются размеры пляжей (рис. 6.1). Однако, в сравнении с районом 1, где пляжи полностью песчаные, здесь их размеры меньше, а с увеличением ширины  $B_n$  рост  $F_a$  менее интенсивен. В то же время аналогичная закономерность обнаружена в районе 2 и для пляжей с преобладанием гравийно-галечных фракций в сравнении с гравийно-галечными пляжами района 3, но рост  $F_a$  вслед за увеличением  $B_n$  еще менее интенсивен (рис. 6.2). По-видимому, эта закономерность обусловлена общим дефицитом (более острым) наносов, меньшим количеством волновой энергии и пологими уклонами подводного склона в районе 2 по сравнению с районами 1 и 3.

Для графика рис. 6.1 оказался высоким коэффициент корреляции функции  $F_a = f(B_n)$ :  $rB_n F_a = 0,83 \pm 0,02$ ; а уравнение регрессии имеет вид:

$$F_a = 1,26 B_n - 1,8 \quad (7)$$

Для графика, отражающего связь  $F_a$  и  $B_n$ , при преобладании гравийно-галечных фракций района 2, коэффициент корреляции меньше, а среднеквадратическая ошибка больше:  $rB_n F_a = 0,81 \pm 0,03$ . Уравнение регрессии:

$$F_a = 0,54 B_n - 1,36 \quad (8)$$

В первом и втором районах береговой зоны Черного моря встречаются ракушечно-песчаные с примесью гравия пляжи относительно небольших размеров —  $B_n = 5-10$  м,  $F_a = 5-10$  м<sup>3</sup>/м. Они менее динамичны в сравнении с песчаными и гравийно-галечными. Для них график функции  $F_a = f(B_n)$  является криволинейным, уравнение регрессии:

$$F_a = 0,54 B_n \sqrt{B_n} \quad (9)$$

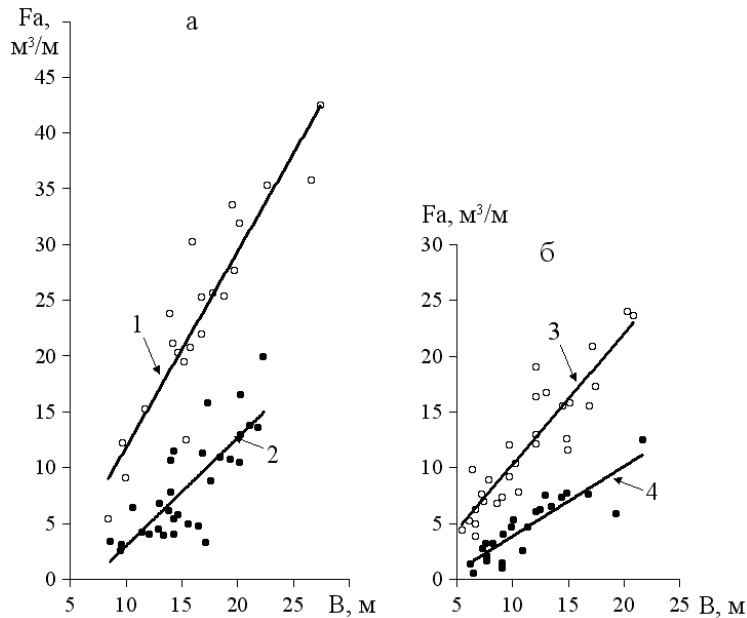


Рис. 6. Графики зависимости  $F_a$  от  $B$ : а — для района между мысами Санжейский и Бол. Фонтан (район 1) для пляжей с песчано-гравийно-галечными наносами: 1 — песчаные; 2 — гравийно-галечные; б — для берегов между мысами Сев. Одесский и Аджияк для пляжей с песчано-галечными наносами: 3 — с содержанием песчаных фракций  $\geq 50\%$ , 4 — с содержанием песчаных фракций  $\leq 50\%$  (из работы [9]).

Как видно из статистической обработки полевого материала, обнаружили достаточно высокие коэффициенты корреляции — от 0,74 до 0,93. У них относительно небольшие среднеквадратические ошибки: от 0,02 до 0,06. Это свидетельствует о значительной устойчивости размеров пляжей в разных условиях, при разных значениях волновой энергии, уклонов подводного склона, запасах наносов и различном составе пляжевых наносов. Одновременно оправдался подход к выбору параметров, использованных для построения графиков рис. 4-б: ширина  $B_n$  взята для надводной части пляжей, а количество наносов — для надводной и подводной частей пляжей, вместе взятых.

Предложенные модели (4–9) позволяют с достаточной степенью надежности использовать полученные зависимости при расчетах параметров искусственных пляжей в подобных природных условиях. На активных абразионных берегах, которые требуют защиты от разрушения

волнами, как известно [4-6], наиболее эффективным средством являются искусственные пляжи. Опытным или расчетным путем определяется такая ширина искусственного пляжа, которая способна обеспечить прекращение отступания клифа и его стабилизацию. По предложенным формулам (4-9) можно определить количество наносов в составе искусственных пляжей, причем, каждая формула применима для конкретных условий: определенного состава наносов, количества волновой энергии, уклонов подводного склона и др.

На рис. 3-6 видно, что угол наклона прямых графиков  $F_a = f(B_n)$  меняется от  $28^\circ$  для гравийно-галечных пляжей до  $53^\circ$  для галечно-песчаных и до  $62^\circ$  для песчаных относительно горизонтальной оси  $B_n$ . В этой связи при одной и той же средней ширине пляжи содержат в себе разное количество наносов: в общем, чем более мелкими являются наносы, тем больший их объем в расчете на 1 пог. м длины. Например, в условиях относительно небольших запасов волновой энергии, небольших уклонов подводного склона и дефиците наносов, при ширине  $B_n = 10$  м песчаные пляжи содержат до  $15$  м<sup>3</sup>/м, галечно-песчаные — до  $10$  м<sup>3</sup>/м, гравийно-галечные — до  $6$  м<sup>3</sup>/м наносов. Следовательно, с увеличением их крупности, при одной и той же ширине уменьшается толщина слоя пляжа (рис. 2), он становится более динамичным.

Такая закономерность оказалась неожиданной, ведь во многих районах береговой зоны не только Черного, но и других морей [4, 11, 12], односклонные прислоненные гравийные и галечные пляжи отличаются значительной мощностью на абразионных берегах. Это отличие с наибольшей достоверностью мы склонны объяснить двумя главными причинами:

а) Малым количеством гравийно-галечных фракций, которые поступают в береговую зону, о чем говорилось выше. Более высокая динамичность крупнозернистых пляжей связана с меньшей массой наносов, на которую тратится меньшее количество волновой энергии.

б) Относительно небольшая степень волновой переработки пляжевых наносов, вызванная пониженными запасами волновой энергии в условиях широкого распространения очень пологих подводных склонов. На переработку ракушечных наносов надо больше энергии, чем на тот же объем песчаных фракций. Эта причина также объясняет более тонкий слой пляжей, так как высокая подвижность наносов способствует столь же интенсивному выносу, как у песчаных пляжей.

Для понимания развития прислоненных односклонных пляжей важно знать процессы изменения их параметров во времени. По аналогии, можно прогнозировать соответствующие изменения и искусствен-



ных пляжей, используемых как средство берегозащиты. В данном случае наибольший интерес представляет сезонная динамика (внутри года зимой, весной, летом и осенью) и многолетняя динамика (до нескольких десятков лет) пляжей.

Закономерности сезонной динамики пляжей. Внутригодовая (сезонная) динамика пляжей разного состава является общеизвестной. Она исследовалась различными авторами на берегах морей и океанов [6, 11- 13]. На исследованных берегах Черного моря подобные наблюдения были многолетними и впервые выполнены Ю. Д. Шуйским [7], а позже — Г. В. Выхованец [2]. На абразионном участке южнее м. Бол. Фонтан в течение почти 13 лет выполнялись ежемесячные съемки гравийно-песчаных пляжей. Соответственно сезонным колебаниям волновой энергии, зимой размеры пляжей уменьшались, а летом — увеличивались. В течение «штилевого сезона» (летнего) интенсивность волновой переработки значительно меньше, чем во время «штормового сезона» (зимнего). Например, для односклонных прислоненных пляжей средние сезонные значения  $G_a$  за многолетний период составляли зимой от 6 до 9 м<sup>3</sup>/м, а летом — от 9 до 12 м<sup>3</sup>/м. Соответственно, ширина надводной части пляжей оказалась равной 3-8 м и 10-15 м. Эти величины были типичными для выровненного берега, а вдоль вогнутой дуги Одесского залива они были иными, т.е. на разных участках дуги они могли повторяться, на других максимальные размеры наблюдались зимой и минимальные летом, а на третьих четкая изменчивость по сезонам обнаружена не была. Эти изменения имеют важное практическое значение.

В качестве примера возьмем выполнение наблюдений над песчано-гравийными пляжами с примесью ракушки на выровненном берегу, где волновой режим ослаблен, а направления действия  $E$  экспонировано различно на разных участках. По этой причине значения волновой энергии составляет зимой в среднем 8,5 условных единиц, весной 5,5 условных единиц, летом 1,5 единиц и осенью 7,2 условных единиц [7, 10]. В этой связи, в зимний сезон отмечались минимальные средние значения  $B_n = 5$  м и  $F_a = 4,1$  м<sup>3</sup>/м, а летом они в среднем на 35–45% больше. Важно, что и крупность наносов зимой выше:  $Md = 0,43–11,5$  мм,  $S_o = 1,4–4,5$ ; а летом  $Md = 1,20–2,31$  мм,  $S_o = 1,3–2,8$ . Еще добавляется причина повышенных значений волновой энергии, под влиянием которой доминирует размыв пляжей (рис. 7). Причем, в первую очередь удаляются мелкие фракции наносов, а на пляжах остаются более крупные. Поэтому на более крупные наносы тратится больше энергии, хотя они остаются менее

подвижными. Следовательно, меняются не только линейные и объемные размеры пляжей, но и состав пляжевых наносов.

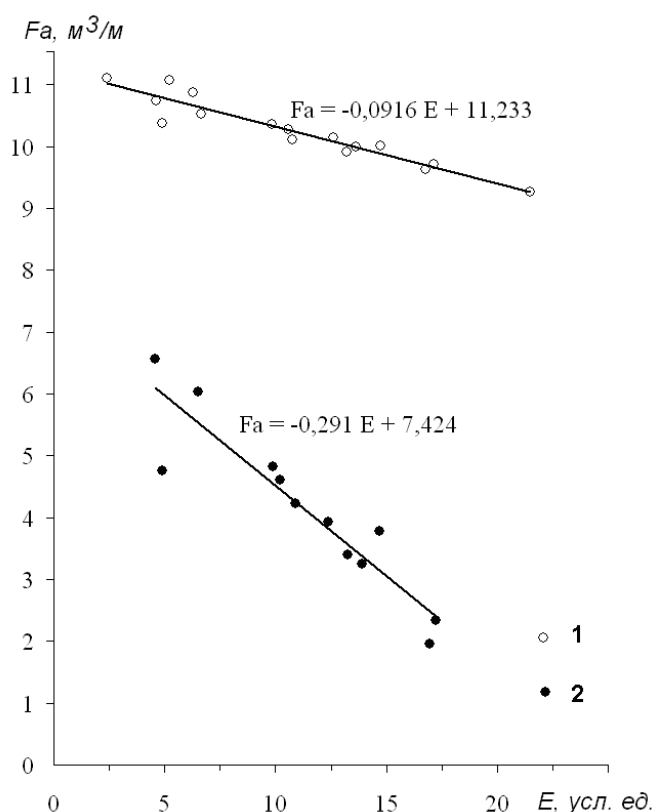


Рис. 7. Графики зависимости удельного количества наносов ( $F_a$ ) в составе пляжей (1 и 2) от напряженности энергии волнового поля ( $E$ ) в береговой зоне с выровненным берегом Черного моря. Пляжи: 1 — песчаные в районе Будакской пересыпи; 2 — песчано-гравийные с примесью ракуши и гальки в районе мыс Большой Фонтан — устье Люстдорфской балки.

Аналогичная закономерность была прослежена и для песчаных пляжей, расположенных на разных участках берега, с повышенной и пониженной волновой энергией (рис. 7). Сезонная изменчивость волнового режима такая же, как и на других участках разных районов — в осенне-зимний («штормовой») период количество волновой энергии обычно в 3–4 раза больше, чем в весенне-летний («штилевой»). Поэтому зимой

волновая переработка пляжей становится сильнее (если море не замерзает), и более интенсивно смещаются наносы с пляжей на подводный склон моря, более активно перемещаются на участки разгрузки вдольбереговых потоков наносов. Затрагивает этот процесс в первую очередь наименее крупные наносы. В этой связи зимой пляжи небольшие ( $F_a = 6-7 \text{ м}^3/\text{м}$ ) и сложены более грубыми наносами ( $Md = 0,6-0,8 \text{ мм}$ ), а летом — увеличиваются в размерах до  $F_a = 11-12 \text{ м}^3/\text{м}$  и  $B_n = 14-15 \text{ м}$  (но  $Md = 0,1-0,3 \text{ мм}$ ).

На ряде примеров замечено, что в процессе сезонных изменений размеры односклонных пляжей не выходят за строго определенные рамки для того или иного района. Например, на участке наблюдений в районе 2 (рис. 7) количество наносов никогда не было более  $24 \text{ м}^3/\text{м}$ , а среднее месячное значение  $12,5 \text{ м}^3/\text{м}$ . В условиях развития абразионных берегов тенденции к размыву (устойчивое сокращение) не отмечено. Следовательно, несмотря на исключительную динамичность от одного шторма к последующему и от одного сезона года к другому, пляжи являются устойчивым объектом природы береговой зоны.

В практике берегоукрепительного строительства необходимо учитывать и многолетние тенденции переформирования пляжей. Ряд исследователей утверждает [4, 6], что прислоненные односклонные пляжи вдоль подножья клифов подвержены размыву и потере массы наряду с отступанием и разрушением этих клифов. По ежегодным инструментальным наблюдениям с 1962 г. в районе мыса Бурнас обнаружено, что линейные и объемные размеры в общем сохраняются. В качестве примера взято 10 лет — с 1999 по 2009 гг. За это время клиф отступил на 27,4 м, или в среднем 2,74 м/год (рис. 8). Но пляжи, как можно видеть, не имеют столь же длительных тенденций к размыву и уменьшению. Для данного створа колебания ширины  $B_n$  в разные годы составляет 6-16 м (среднее 9 м) и количества пляжевых наносов  $F_a$  от 4 до 19  $\text{м}^3/\text{м}$  (среднее 8  $\text{м}^3/\text{м}$ ). Минимальные размеры бывают зимой при волнениях от северо-востока и востока, а максимальные — в конце лета, при южных и юго-восточных волнениях. Примечательно, что на протяжении также и десятков лет (1962-2012 гг.) активная абразия клифов при скорости отступления 3,1 м/год не приводит к размыву пляжа и непрерывному уменьшению его линейных и объемных размеров [3, 9]. Такая устойчивость обусловлена разными причинами, приводящими к отступанию активных клифов и пляжеобразованию: для клифов своих причин, а для пляжей — других.

Обнаруженное явление (рис. 8) объясняется режимом питания пляжей наносами. Питание пляжей происходит из вдольбереговых потоков наносов, которые получают материал из разных источников питания (абразионных, речных, эоловых, биогенных и других). Морские волны, воздействуя на пляж, перемещают наносы по ходу вдольберегового потока. Казалось бы, в этих условиях пляжи должны размываться. Но в тех же вдольбереговых потоках из источников питания поступают новые порции наносов, компенсирующие то количество, которое ушло на участки разгрузки. Так действует устойчивый литодинамический «конвейер», обеспечивающий сохранность и динамическую устойчивость размеров пляжей, впервые описанный В. П. Зенковичем [4].

Работа подобного «конвейера» нарушается при коренном, фундаментальном изменении волнового режима, уклонов подводного склона, контуров береговой линии, источников питания наносами и их продуктивности. Но эти изменения происходят чрезвычайно медленно, в масштабе геологического времени. Поэтому и пляжи могут однонаправленно меняться так же медленно, согласно закону географической локальности. А в течение сравнительно короткого времени, измеряемого десятками и первыми сотнями лет, размеры пляжей, значения их  $V_n$  и  $F_a$  относительно устойчивы, что подтверждается инструментальными наблюдениями. Следовательно, можно считать, что пляжи как аккумулятивные формы характеризуются определенной емкостью. Они могут содержать строго определенное количество наносов, не больше и не меньше, соответственно функционированию литодинамического «конвейера». В естественных условиях емкость пляжей сохраняется десятки и первые сотни лет, а сезонные и годовые изменения в общем не нарушают средней емкости, поскольку не меняются условия развития береговой зоны.

*Один способ образования искусственного пляжа.* Помимо естественных, могут быть и искусственные изменения емкости пляжей. Так, при создании искусственных препятствий на пути вдольберегового потока наносов размеры пляжей могут увеличиваться или уменьшаться, и в новом состоянии они остаются до тех пор, пока существует препятствие. В данном случае емкость пляжей меняется по причине создания нового контура береговой линии.

Бывают кратковременные изменения емкости, обусловленные, например, изменениями количества наносов в береговой зоне. Искусственные инъекции пляжевых наносов в береговую зону способствует

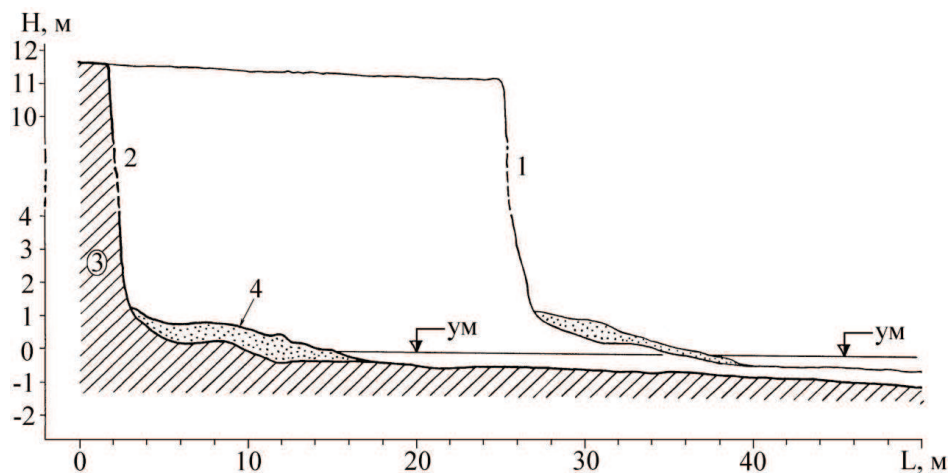


Рис. 8. Размеры прислоненного односклонного пляжа в районе м. Бурнас в условиях сильной абразии клифа и бенча по данным съемки: 1 — в 1999 г.; 2 — в 2009 г.; 3 — глинистые породы в клифе и на бенче; 4 — толщина пляжевых песчаных наносов.

увеличению емкости, но это увеличение является противоестественным, а значит и непродолжительным. Оно не может быть длительным, так как остальные условия неизменны. Снос пляжевого материала в литодинамическом «конвейере» на участки разгрузки вдольберегового потока перемещает большее количество наносов, а естественные источники питания, не изменившись, дают прежнее его количество. Поэтому размыв не компенсируется поступлениями, и со временем пляжи размываются, размеры пляжей уменьшаются, емкость пляжа приходит в прежнее, первоначальное естественное состояние.

В качестве примера можно привести опыт берегозащиты в районе порта Южный на Черном море (район 2). В 1973-1974 годах там была построена грунтовая терраса, состоящая из обломков известняка. В первый год интенсивность волновой переработки фронтальной части террасы оказалась максимальной — до 9 м/год. По мере дальнейшей выработки профиля равновесия, в течение 2-3 лет, скорости абразии фронтальной части террасы замедлились, но все же остались весьма высокими — до 2 м/год [1]. Соответственно, и количество наносов, поступающее в море от разрушения террасы, вначале оказалось значительным — около 30 м<sup>3</sup>/м·год, что составило до 40% от мощности вдольберегового

потока наносов. На сопредельном участке под влиянием аккумуляции части наносов начал расти прислоненный пляж. Вначале рост его был значителен — за 3 года длина пляжа ( $B_n = 20$  м;  $F_a = 25-30$  м<sup>3</sup>/м) выросла до 500-600 м. Максимумом длина пляжа достигла к 1980 г. (т.е. через 6 лет) — около 800 м. Одновременно какая-то часть наносов по-видимому поступала с подводного склона и также питала данный пляж.

В последующие годы скорости волновой переработки фронтальной части искусственной террасы замедлились — сказалась выработка профиля равновесия фронтальной стороны террасы, в соответствии с известной закономерностью [1, 8]. С 1979–1980 гг. отступление берега террасы не превышает 0,5 м/год, а в 1986–1987 гг. —  $\leq 0,1$  м/год. Количество наносов, питающих сопредельный пляж, уменьшилось до менее 0,5-1,0 м<sup>3</sup>/м·год, что совершенно недостаточно для такого действия литодинамического «конвейера», при котором обеспечивалось бы поддержание большой длины пляжа. Поэтому длина стала уменьшаться, и в 1997 г. не превышала 200 м. Тогда же практически прекратился размыв террасы, и, спустя 15 лет ее ширина не уменьшается. На этом емкость пляжа стабилизировалась, он продолжает заполнять вогнутость между террасой и естественным берегом. Правда, сложен он уже совершенно другими наносами, а не теми, которые образовывались обломками размыва искусственной террасы.

## Выводы

1. Пляжевая морфолитосистема представляет собой органическое единство отдельных частей всех сфер географической оболочки и является наиболее динамичной формой рельефа в береговой зоне морей. Часть литосферы преобразуется в наносы в фациальных условиях волнового поля, водная среда обеспечивает механическую и химическую дифференциацию исходного осадочного материала. Атмосфера накапливает энергию и передает ее поверхностному слою моря, при этом образуются волны трения и волновые течения, которые распределяют наносы вдоль берега и поперек подводного склона по гидравлической крупности.

2. Получены натурные данные о размерах односклонных прислоненных пляжей на абразионных берегах Черного моря. Обнаружены основные тенденции многолетних и сезонных изменений пляжей. Установлены закономерности взаимодействия различных размеров пляжей между собой и зависимости от значений волновой энергии.

3. Изложены результаты исследования многолетней волновой переработки искусственной грунтовой террасы, которая привела к образованию искусственного пляжа. Установлены особенности динамики этого пляжа.

4. Изложенные закономерности развития прислоненных односклонных пляжей на абразионных берегах Черного и Азовского морей могут использоваться при проектировании искусственных пляжей. Ход и содержание исследований, подходы к решениям вопросов развития пляжей имеют и методическое значение: они могут браться за основу при подобных работах на берегах других морей.

### **Список использованной литературы**

1. *Бертман Д. Я., Шуйский Ю. Д.* Искусственные формы рельефа как средство защиты морских берегов от разрушения // Физическая география и геоморфология. — 1983. — Вып. 25. — С. 127–135.
2. *Выхованец Г. В.* Динамика естественных песчаных пляжей Одесского залива (Черное море) // Известия Всес. Географич. Об-ва. — 1981. — Т. 113. — Вып. 3. — С. 253–259.
3. *Выхованец Г. В.* Морфология и динамика пляжей на берегах Черного моря между мысами Сев. Одесский и Аджияск // Геогр. и природн. ресурсы. — 1988. — Вып. 2. — С. 72–76.
4. *Зенкович В. П.* Основы учения о развитии морских берегов. — Москва: Изд-во АН СССР, 1962. — 710 с.
5. *Леонтьев И. О.* Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. — Москва: ГЕОС, 2001. — 272 с.
6. *Леонтьев О. К., Никифоров Л. Г., Сафьянов Г. А.* Геоморфология морских берегов. — Москва: Изд-во Московск. унив., 1975. — 336 с.
7. *Шуйский Ю. Д.* Исследование процессов внутригодовой динамики береговой зоны моря // Доклады АН УССР. Сер. Б. — 1977. — № 10. — С. 897–901.
8. *Шуйский Ю. Д.* Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. — Ленинград: Гидрометиздат, 1986. — 240 с.
9. *Шуйский Ю. Д., Выхованец Г. В.* Исследование пляжей на абразионных берегах Черного и Азовского морей // Инженерная геология. — 1984. — № 2. — С. 73–80.



10. Шуйський Ю. Д., Выхованец Г. В., Перейрас Р. П. Опыт анализа берегозащитных сооружений на песчаных берегах Черного моря // Строительство и техногенная безопасность. — 2011. — Вып. 39. — С. 110–117.
11. *Bascom W. Waves and Beaches.* — New York: Doubleday & Company Inc., 1980. — 366 p.
12. *King C. A. M. Beaches and Coasts.* — Arnold Publ. Ltd.: London, 1972. — 570 p.
13. *Komar P. D. Beach Processes and Sedimentation.* — Englewood Cliffs, Prentice-Hall: N.—J., 1976. — 429 p.
14. *Phillips J. D. Estimation of optimal beach profile sample intervals // Journal Coastal Research.* — 1985. — Vol. 1. — № 2. — P. 187–191.

**Шуйський Ю. Д.**, професор  
**Муркалов О. О.**, ст. викладач  
кафедра фізичної географії та природокористування,  
Одеський нац. університет ім. І. І. Мечникова,  
вул. Дворянська, 2, Одеса-82, 65082, Україна

## **ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗВИТКУ ПРИРОДНИХ ПРИТУЛЕВИХ ПЛЯЖІВ НА АБРАЗІЙНИХ БЕРЕГАХ ЧОРНОГО МОРЯ**

### *Резюме*

Серед інших елементів берегової зони, саме пляжі зазнають взагалі максимального антропогенного тиску, в тому числі і на Чорному морі. Разом із тим, вони є найкращим індикатором стану всієї берегової зони моря. Складена карта розподілу пляжів, які складаються наносами різного типу. Розроблені моделі, що встановлюють зв'язки між різними морфометричними та об'ємними розмірами пляжів та їх залежність від енергії морських хвиль. Результати, які отримані, можуть бути застосовані в багатьох галузях господарської діяльності на берегах Чорного та деяких інших морів. Найчастіше вони використовуються при плануванні та експлуатації берегозахисних та портових споруд, об'єктів рекреаційного господарства, в процесі створення штучних пляжів, для оцінки загального природного стану берегової зони моря.

**Ключові слова:** Чорне море, берег, пляж, хвилі, наноси, морфологія, динаміка, застосування.

**Shuisky, Yu. D.**, Prof., DrSci.

**Murkalov, A. B.**, senior scientist

Dept. Physical Geography

Nat. Mechnikov's University of Odessa,

2, Dvoryanskaya St., Odessa-82, 65082, Ukraine

## **PECULIARITIES OF NATURAL SANDY BEACHES ALONG ABRASIVE CLIFFY SHORES OF THE BLACK SEA**

### *Abstract*

Sandy beaches in the coastal zone of the Black Sea get strong anthropogenic impact in general. Beach map was composed, where is showing different types of beaches. Theoretic models were worked up which describe interactions between different linear and volume sizes of studying beaches and its depend from sea-wave energy. The results of our research can to use in various economic parts of Ukraine in coastal zone of the Black Sea. Usual they conform to planning and exploitation of coastal defense constructions, use of recreation resources, during building and exploitation of artificial beaches, for estimation of general environment of the coastal zone.

**Key Words:** Black Sea, coast, beach, wave, sediment, morphometry, dynamic,