




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И. И. МЕЧНИКОВА

Ю. Д. Шуйский



ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
В БЕРЕГОВЕДЕНИИ



Одесса
2022

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И. И. МЕЧНИКОВА**

Ю. Д. Шуйский

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
В БЕРЕГОВЕДЕНИИ**

**Одесса
2022**

УДК 627.2.5.8 + 551.46

Ш95

Ответственный редактор – профессор Выхованец Г. В.

Рецензенты:

*Доктор географических наук, профессор Берлинский Н. А.
Заведующий кафедрой океанологии Одесского Экологического
государственного университета,*

*Доктор географических наук, профессор Андрианова О. Р.
Старший научный сотрудник Одесского отдела Института геофизики
и м. Субботина НАН Украины,*

*Доктор географических наук, профессор Лабуз Т. А.
Щецинский университет, Институт морских и экологических наук, Польша*

Шуйский Ю. Д.

Ш95 Практические приложения в береговедении: [монография] / Ю. Д. Шуйский;
Отв. ред. Выхованец Г. В. – Одесса: Бондаренко М. А., 2022. – 300 с.
ISBN 978-617-8005-45-0

До полувека длится процесс обособления развития антропогенного фактора в береговой зоне Мирового океана. Этот процесс осмысливался разными авторами, пока не стало ясным, что дальнейшее становление практического береговедения тесно связано с общей природной географией. Книга рассматривает краткую историю практического использования теории учения о береговой зоне и основные виды морских гидротехнических сооружений. Показаны основные виды взаимовлияния прибрежно-морских природных систем и антропогенных сооружений. Рассмотрена внутринаучная, образовательная и инженерно-практическая значимость береговедения. С позиций сохранности качества природных ресурсов и длительности работы искусственных сооружений, оснований, фундаментов. Рассмотрено портовое строительство и эксплуатация портов, берегозащитных сооружений, судоходных каналов, использование прибрежно-морских наносов, планирование и сохранение селитебных и рекреационных объектов, объектов рыбного промысла. Разработан и изложен в книге комплекс стратегии, комплекс естественных и искусственных рисков и угроз рациональному природопользованию в береговой зоне морей.

УДК627.2.5.8 + 551.46

ISBN 978-617-8005-45-0

© Шуйский Ю. Д., 2022

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
§ 1. Краткая история хозяйственной деятельности	8
§ 2. Основные виды гидротехнических сооружений	46
§ 3. Особенности природы береговой зоны моря.....	77
§ 4. Внутринаучная значимость береговедения	106
§ 5. Образовательная значимость береговедения	128
§ 6. Портовое строительство на морских побережьях	151
§ 7. Берегозащитное строительство в береговой зоне	167
§ 8. Судходные каналы на морских побережьях	207
§ 9. Организация добычи наносов из береговой зоны	228
§ 10. Стратегия застройки береговой зоны моря.....	257
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	278
ЛИТЕРАТУРА	281



Профессор, доктор географических наук,
Почетный член Украинского Географического общества,
Кавалер Почетного Ордена «Международный Амбассадор Мира»,

Шуйский Юрий Дмитриевич

ВВЕДЕНИЕ

Еще в 1902 г. один из основателей современной географии профессор Д. А. Анучин подчеркивал, что «...отношения между природой и человеком крайне многообразны и не всегда представляются очевидными». Уже более 100 лет это наставление маститого ученого укореняется все глубже в самой географичной из наук. Были и продолжают попытки «новаторов» фактически подменить географию разными другими учениями, типа геонмии, геогнозии, геоэкологии и прочими. Но все эти попытки в конце концов возвращаются к начальной точке, поскольку опыт географии настолько силен, а наработки настолько богаты, что позволяют и сегодня успешно справляться с любыми практическими задачами и практическими приложениями. Такая ситуация относится также и к разным отраслевым и межотраслевым географическим наукам, включая также и береговедение.

Эта книга написана на основании длительного опыта автора, почти 60 лет работавшего с вопросами природного обоснования проектирования, строительства, эксплуатации, ремонта морских портов, навигационных каналов, водных путей сообщения, берегозащитных, навигационных, рекреационных, селитебных сооружений в береговой зоне морей и др. Дополнительная информация была почерпнута из соответствующих многочисленных библиографических источников, работ разных авторов. Необходимость темы данной книги продиктована негативным умножением случаев неудачного природопользования в береговой зоне моря в течение последних десятилетий, в особенности на Черном, Азовском, Балтийском, Северном, Охотском, Средиземном морях. Это приводит не только к бесполезности различной застройки и выходу сооружений из эксплуатации, но и к нанесению существенного ущерба прибрежно-морским природным комплексам, к потерям полезных свойств природных ресурсов прибрежно-морского генезиса. Данный существенный ущерб особенно сильно затронул побережья в пределах Украины, на мористом обрамлении Причерноморской и Приазовской низменностей в их южной части. Здешние береговые области в

значительной мере подвержены влиянию антропогенного фактора, а потому природа подверглась значительному влиянию, вплоть до запредельного состояния, коренным образом и безвозвратно изменившего генетический облик и развитие прибрежно-морских объектов.

При этом обращаем внимание читателей, в основном географов-естественников, что в прошлом ни один автор, исследовавший названные приморские низменности, не включал в содержание публикаций их береговое обрамление. Практически всегда авторы ограничивались материалами и результатами исследований территории суши, её природными системами (ландшафтами). При этом могли лишь упоминать побережья Черного и Азовского морей, но не представляли развернутые данные о морских побережьях и о береговой зоне морей в том числе, тем более собственные. Тем не менее, эти побережья имеют международное географическое значение, поскольку представлены типичными, классическими типами: лиманным, лопастным и вторично расчлененным с косами «азовского типа». Здесь автор не разбирает их специально, о них подробная информация изложена в соответствующих публикациях (см. список цитированной литературы). Однако, многие практические приложения рассматриваются на фоне происхождения, строения, природных условий, значений морфологии и динамики береговой зоны Черного и Азовского морей. Соответственно морской край Причерноморской и Приазовской низменностей рассматриваются как своеобразный натуральный полигон для исследования взаимовлияния естественных и искусственных объектов, их взаимодействия, в условиях неприливных морей. В качестве сравнительного материала приводится соответствующая информация о береговых районах нескольких иных морей, – Балтийского, Северного, Средиземного, Охотского и других, о влиянии антропогенного фактора в их физико-географических условиях.

Объектом исследований стали основные искусственные сооружения, созданные из различных материалов. *Предметом* исследований стали процессы взаимовлияния естественных и искусственных компонентов береговой зоны морей на фоне усиления влияния

антропогенного фактора, с учетом особенностей естественной истории, эволюции, гидрогенного, морфологического, литодинамического, «неволнового» факторов. Целью данной работы является выявление, формулировка, аналитическое рассмотрение и практическая оценка элементов взаимовлияния природной среды и различных сооружений и застройки в целом в береговой зоне неприливого моря. Для достижения поставленной цели было решено *несколько типичных задач*, среди которых: а) рассмотреть исторические пути развития хозяйственной деятельности и сложившиеся виды различных построек и гидротехнических сооружений на морских побережьях; б) проанализировать основные компоненты, факторы и закономерности развития прибрежно-морских природных систем разного уровня организации; в) определить научную и образовательную значимость как одну из важнейших практических задач; г) выявить и проанализировать основные закономерности взаимодействия и взаимовлияния естественных объектов с портовыми, берегозащитными сооружениями, с судоходными каналами, надводными и подводными карьерами, общей застройкой в береговой зоне моря; д) выявить и обосновать основные положения о рисках и угрозах рациональному природопользованию, также научных основ для практических приложений в береговой зоне неприливых морей. В качестве главного примера (опытного полигона) выбрана береговая зона Черного и Азовского морей.

§ 1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Практическое значение береговедения базируется главным образом на научно-прикладном фундаменте инженерной географии (Казаков, Чижова, 2001). Оно определяется тремя основными направлениями (Шуйский, 1983): внутринаучным, образовательным и инженерно-практическим. Опыт исследования этих направлений показал, что они формировались постепенно, от зарождения науки и до текущих дней, т.е. на принципах исторического развития. Однако, каждое направление возникало отдельно от других и в разных частях, на разных территориях Земли и, видимо, в разное время, по мере накопления опыта исследований не только природного окружения, но и состояния, поведения, эффективности работы, технологичности строительства тех или иных гидротехнических сооружений в береговой зоне морей. При этом строительство и эксплуатация сооружений требуют подготовки соответствующих специалистов. Они должны твердо знать, понимать, иметь навыки и быть компетентным как области береговедения, так и в области гидротехнического строительства.

Прообразом начала образовательного процесса можно считать первые научно-философские школы древности как результат «простого созерцания» окружающего мира или впечатления странствующих мудрецов и целителей. Примером могут служить естественно-философские «школы» в Древней Греции, скажем, ионийская, пифагорейская или элейская (Соломина, 1983; Шуйский, 2018). Представители каждой школы высказывали разные позиции и мнения о происхождении Земли, о размерах и форме планеты, о соотношении площади суши и океана. Однако, в одном они были едины – мыслительная деятельность должна обеспечивать всемерную пользу людям. Скажем, достаточное количество пищи, топлива, строительного материала, воды, благоприятный рельеф и почвенный покров и прочее. В этой связи география в целом давала необходимую информацию о природных ресурсах, но при условии, что люди владели первичным знанием, так сказать – на «бытовом уровне». Эти знания

собирали, обдумывали, систематизировали, обучали и распространяли не только среди членов научно-философской школы.

Такие знания были найдены и определены для различных географических объектов в разных странах и на разных широтах. В частности, были выработаны правила для рационального ведения лесного хозяйства в условиях применения «подсечного земледелия». Рационально использовались водные ресурсы в условиях полупустынь и пустынь путем создания систем ирригации. Местное население выясняло границы разлива рек во время половодий и паводков, а потому избегало возводить жилища в очаге затопления. Одновременно люди изыскивали практическую пользу из первичных, простейших, элементарных, «бытовых» знаний о морских берегах при необходимости построить сторожевой пункт, крепость или торговый город, выявить путь для прохода войск, определить место высадки морского десанта.

Конечно, даже в Раннем Средневековье все практические мероприятия изыскивались в разных районах морских побережий. Интересы европейцев были связаны прежде всего с берегами морей Средиземноморского Бассейна, где наибольший интерес вызывали естественные укрытия от ветров, морских волн, где не угрожала заносимость причалов и якорных стоянок, где берега были бы доступны для причаливания судов различных размеров (Фашук, 2002). Нет сомнений и в том, что подобная ситуация была характерна и на других побережьях морей и океанов. В качестве примеров можно привести риасовые бухты на побережье Китая, лагунные бухты Индостанского побережья, идеальные акватории фьордовых бухт Скандинавии и Исландии.

Очагами древнейшего портостроения являются побережья Восточного Средиземноморья (Тир, Сидон, Яффа), Восточных берегов Балканского полуострова (Тессалоники, Пиреус, Эвбея), северных берегов Черного моря (Мидия, Ольвия, Херсонес, Пантикапей, Дюскура), о. Крит (финикийские колонии). Сегодня известно, что могущественный Карфаген имел у себя большую гавань Котон с оригинальными и сложными гидротехническими сооружениями. Активная обильная торговля велась через порты Бейрут, Адрия,

Равенна, Венеция, Триест и ряд других. Одним из крупнейших был морской порт в Александрии, его сооружения находились на о. Фáрос по обе стороны (восток—запад) от мыса Рас-эль-Тэн. Чтобы создать защиту от ветров и волн, мыс был соединен дамбой с материком. Фактически было две портовые акватории, отгороженные от моря волноломами и молами: Западный порт, был меньше Восточного («Большого»). Древние документы свидетельствуют, что «Большая» акватория позволяла расположиться около 1200 судов.

В течение тех далеких от нас годов крупные морские порты Остия, Портус и Эмпориум примыкали к Риму. Каналами они соединялись с городом и выходили прямо на городскую площадь к складам и мастерским. Примыкающие к портам берега Аппенинского полуострова укреплялись стенками и волноломами, а откосы каналов облицовывались камнем. Аналогичные дополнительные сооружения, кроме чисто портовых, применялись почти во всех остальных портах Античности и Раннего Средневековья. Данное положение стало традицией, типичной закономерностью: портовое строительство приводило и к возникновению других видов строительства на морском побережье. И не только в Средиземном Бассейне. Важным очагом разнообразной застройки стали южные берега Балтийского моря.

По всей видимости, первые гидротехнические сооружения были возведены в устьях рек на пути прохождения торговых и военных судов из моря в реку и обратно, например, из моря в Рону, из По в море, из Эльбы в море, из Даугавы в море, из моря в Нил, из моря в Гаронну и т.д.

Например, ограждающие дамбы и направляющие стенки начали возводить в устье Вислы в 1321 г., а в устье Гвадалквивира в 1402 г. При этом было замечено, что устья рек представляют собой необычайно динамичные среды, с подвижными формами экзогенного рельефа, очень чутко реагирующие на малейшие импульсы действия ветра, волн и течений разных типов. Такое их состояние привело к необходимости укрепить выход из реки в море одним, двумя или несколькими сооружениями. Они могут быть выражены в виде единичного мола только со стороны прихода вдольберегового потока

волновой энергии, или двумя, парными, молами в случаях сильных потоков с двух сторон вдоль морского берега. Парные молы уже давно применяются для ограждения входа в такие порты Балтийского моря, как Колобжег, Леба, Балтийск, Клайпеда, Вентспилс, Павилоста, Роя. Именно портовая застройка побережья Балтийского, Северного, Черного морей дала начало селитебным объектам вокруг портов и применению различных типов гидротехнических сооружений. Это еще сотни лет назад означало, что во имя сохранности самих сооружений и природной прибрежно-морской системы крайне необходимо было знать природные физико-географические условия в береговой зоне.

Морские буны были впервые применены в Англии в первой половине XIX столетия для защиты берегов от естественного разрушения. Первые буны были каменными, нередко состояли из каменных набросков между параллельными рядами деревянных свай. В числе ранних оценок эффективности этих сооружений можно назвать труды Х. Р. Пальмера, А. Р. Ханта, Г. Хагена, М. Н. Герсевича, а в первой половине XX века – работы В. Хартнака, П. К. Божича, Е. В. Близняка, Н. Н. Джунковского, А. М. Дранникова, В. И. Чарномского, Р. Я. Кнапса. Эти сооружения во многом копировали вид портовых молов, но строились в зоне действия прибойного потока (Пешков, 1989). Буны препятствуют свободному перемещению пляжевых наносов вдоль берега, приводят к их торможению, накоплению, росту объема пляжа и выдвигению береговой линии в сторону моря в межбунных «карманах» («beach pockets»). Был получен натурный материал, по которому характер накопления различен у наносов гравийно-галечных и песчаных. Песчаные более динамичны, причем, с наветренной стороны пляж имеет наименьшую ширину, чем с подветренной, где предыдущая бун образует «волновую тень» («*wave shadow*»). После возведения бун на галечных пляжах более широкой и объемной становится пляж с наветренной стороны буны, а наименьшей – с подветренной стороны. Типичные буны можно видеть в Судакской бухте Черного моря (Рис. 1). В условиях относительно небольшого дефицита наносов гребенки бун достаточно, чтобы большая часть наносов удерживалась на пляжах в межбунных карманах.

Правда, в условиях приглубого берега ($i_s = 0,0385$) и повышенного влияния ветровых волн рост подвижности гальки и гравия ведет к повышенным потерям массы наносов за счет истирания обломков.



Рис. 1. Пример удержания гравийно-галечных наносов на пляже с помощью морских бун в пределах Судакской бухты.

Создание промышленной базы в портовых городах и усиление торговых отношений активизировали портовую застройку, возведение защитных сооружений против волнового разрушительного действия, причальных и складских построек, особенно во второй половине XVIII столетия, под влиянием кругосветных мореплавателей и колониального передела мира экономически развитыми государствами Европы. Исторически сложилось так, что причальные сооружения портов характеризуются такими видами (Рис. 2). Начало их применения относится к первой половине XVIII столетия. В ряде случаев кратчайшие и наименее дорогие дороги прокладывались вдоль морского берега с абразионными деформациями. Часто это требовало защиты берега от разрушения. Долгое время застройка морских берегов двигалась вперед очень и очень медленно.

Такую весьма вялую активность заметно усиливали социально-экономические и финансовые подвижки в приморских странах. Примером могут служить усиления активности торговли и освоения морских берегов во время колонизации побережий Средиземного, Черного, Азовского морей со стороны ряда Аппенинских стран (Генуэзское Королевство, Флорентийская и Венецианская Республики) в XIII-XV веках. Оно было итогом начала Возрождения и передовых позиций Ганзейского Союза, в состав которого входило до 160 участников. В XII столетии здесь обозначился региональный торговый и промышленный центр, город и порт Копенгаген. Он явился одним из тех, которые стали примером застройки морского берега в условиях влияния индустриализации в Европе вплоть до XVIII столетия. Появление в Португалии судов морского типа, способных быть в плавании многие месяцы, со значительной осадкой, в середине XV столетия предъявила новые требования к портам, к судоходным каналам, к природному состоянию береговой зоны. Важное значение имели научные труды великого английского ученого Исаака Ньютона в деле регулирования глубин в портах и на судоходных каналах под влиянием приливных явлений.

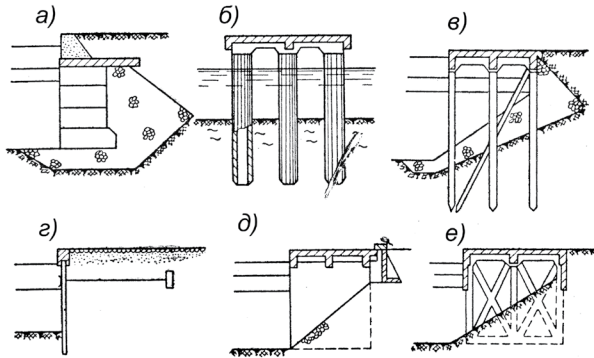


Рис. 2. Сложившиеся исторически основные типы конструкций причальных сооружений: а) гравитационная причальная стенка; б) пирс сквозной, конструкция на колоннах-оболочках; в) свайная набережная; г) шпунтовая набережная («больверк»); д) причал сквозной конструкции на гравитационных опорах; е) сквозной причал на рамных бычках.

В XVI-XVIII столетиях окончательно оформились основные правила планирования и застройки морских берегов. Региональные, а позже – кругосветные плавания европейцев положили начало регулярным съемкам морских берегов, они расширились и усовершенствовались в XVII столетии в связи с активным применением инструментальных съемок. Так, впервые были получены инструментальные карты берегов Балтийского моря в Германии, Польше и Швеции. Последующие годы были временем формирования особенно крупных портов, в частности – в годы колониального раздела Мира европейскими государствами (Великобритания, Голландия, Португалия, Испания, Франция, Дания). Обычно очередным толчком к активизации застройки морских берегов служат социально-экономические потрясения (Айбулатов, 2005; Шуйский, 2018). По-прежнему главнейшим требованием к портам оставалось укрытие от вредного влияния штормовых ветров, волн и волновых течений.

Вокруг крупных портов возникают большие города, а это требует обустройства морского берега, возведения набережных (*embankment*), насыпей (*levees*), защитных откосов (*protective slopes*), бун (*groins*), траверсов (*traverses*), ряжей (*ryazhi*) (Залогин, 1983). К таким городам на Черном море относится Одесса, на Балтийском море – Гданьск, на Средиземном море – Тунис, Бейрут и Мерсин, на берегах Северной Америки – Нью-Йорк, Южной Америки – Рио де Жанейро и Ресифи, на берегах Индостана – Бомбей (Мумбай), а на берегах Восточно-Китайского моря – Шанхай. Поскольку в данных социально-экономических условиях промышленно-портовые очаги предназначаются для обслуживания разных отраслей хозяйства, то часто требуется и расширение содержания застройки морских побережий. Естественным образом, методом проб и ошибок были найдены наиболее благоприятные участки берега, в которых морские порты оказывались гармонично вписанными в природу побережья и максимально полно защищены от штормов и течений. Такая защищенность имеет важное значение при движении по подходному каналу и при входе в ворота порта. При этом учитывается также и возможное влияние заносимости как портовой акватории, так и

подходного канала (Рис. 3). При планировании площади порта по любому из основных вариантов можно учитывать взаимовлияние природных элементов и искусственных сооружений в наиболее полном виде.

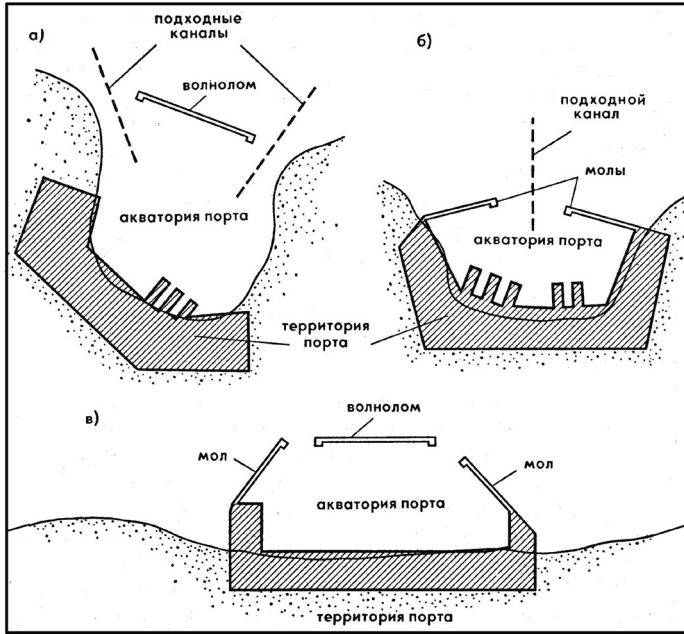


Рис. 3. Схемы наиболее часто взаимно расположенных контуров морского берега по отношению к портовым акваториям, портовым территориям, молам, волноломам и подходным каналам. В течение веков сложились: а) полностью закрытые бухты, лагуны, лиманы; б) вогнутый контур с извилистым берегом со слабым потоком наносов; в) выровненный морской берег с развитым потоком наносов (Яценко, 1985).

Многие поселения, морские порты, железные и шоссейные дороги, возводятся в пределах аккумулятивных форм прибрежно-морского происхождения: на террасах, косах, барах, пересыпях и др. Например, на пересыпях лагун Атлантического побережья США возведены города Оушен-Сити и Атлантик с крупными рекреационными заведениями.

На косе Хель (побережье Балтийского моря) давно существует город, военно-морской и рыбопромысловый порт Хель, а фронтальная часть косы укреплена гребенкой бун и откосами (Furmańczyk, 1994). На косе Чушка (Керченский пролив) и на пересыпи Днепровского лимана (Черное море) построены порты Кавказ и Бугаз (Айбулатов, 2005). Вдоль их береговой линии проложены железная и шоссейная дороги, а у м. Эль-Хадд наброской из тетраподов защищено приморское шоссе, идущее мимо гор Маскат на Аравийском п-ове. Эти сооружения могут подвергаться разрушительному влиянию не только морских волн, но также и влиянию ветра. Так, на морской песчаной террасе Куршской косы (побережье Балтийского моря) селения Пярвалка и Прейла были занесены подвижными дюнами после того, как окрестный лес был вырублен (Выхованец, 2003; Гуделис, 1954). В данном случае важно знать не только работу штормовых волн и волновых течений, но также и работу ветра на песчаной поверхности пляжа, ветровую переработку береговых дюн, величины ситуативных и трендовых ветровых подвижек наносов и проч. При этом любая застройка песчаного рельефа должна обеспечить: а) сохранность береговой природной системы; б) защитную эффективную работу сооружений. Постановка данных задач актуальна для ограждающих лагуны баров и кос, для песчаных террас Ланды и Пикардии, для баров на западном побережье п-ова Ютландия и цепочки Фризских островов (Северное море).

Нередко застройке подлежат также и крутые абразионные берега, с низкими и высокими активными клифами. Внешний край низкого берега можно застроить набережной, бульваром и озеленить. В данном случае высокий берег обычно террасируется, выполаживается, на террасах высаживаются деревья и кустарники. Часто на подобных берегах устраиваются парки, сады или другие территории отдыха. Однако, всегда важнейшей целью является сохранность береговой железной или шоссейной дорог, как например вдоль Кавказского берега Черного моря или Ленкоранского берега Каспийского моря. Здесь же на Кавказском горном берегу, как пример, удачно вписан в природную среду морского побережья торговый порт Туапсе. Выдвинутый далеко в море Северный мол удаляет крупные наносы

подалее от берега при их движении от северо-запада. Таким образом, становится более благоприятным вход в ворота порта, обращенного навстречу второстепенным подвижкам наносов, на юго-восток (Рис. 4). Форма акватории позволяет рационально разместить пять отдельных районов, с необходимой инфраструктурой и подъездными путями, с возможностями развернуться судам на 180°. Аналогичное строение имеет большинство морских портов в разных странах.

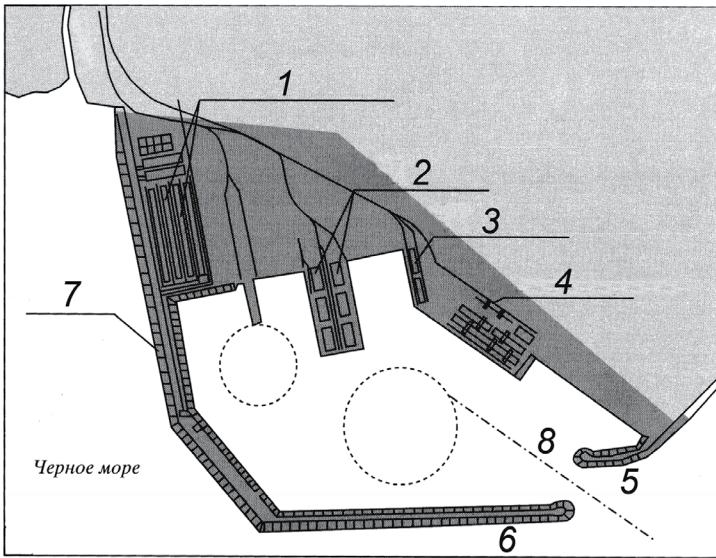


Рис. 4. Морской порт вдоль приглубого берега, с характерными элементами и сооружениями: 1 – открытые складские площадки насадочных групп; 2 – район генеральных грузов крытого крепления; 3 – район генеральных грузов открытого крепления; 4 – контейнерный терминал; 5 – Южный оградительный мол; 6 – Северный оградительный мол; 7 – берегоукрепление; 8 – ось подходного канала.

Для нас важны документальные свидетельства подобной деятельности и подробные описания полученного опыта. Среди таких ранних описаний показательными были инженерные изыскания Леонардо да Винчи еще в XVI веке. Уже в те давние годы этот ученый учел опыт предшествующих результатов и составил

ряд проектов по созданию таких гидротехнических сооружений, которые служили для промывания выхода из портов и устьев рек в условиях действия приливов. Ряд его работ был посвящен морской гидротехнике, особенно – портовой. Этот ученый принимал участие в проектировании портов Чезенатико, Римини, Гавр.

Леонардо да Винчи одним из первых утверждал, что успешная эксплуатация морских гидротехнических сооружений зависит от природы береговой зоны. Он во многом опередил свое время в данном вопросе. И только в конце XVIII века английский инженер Дж. Смитон разрабатывает теорию развития пляжей в условиях влияния гидротехнического строительства, и выявляет накопление галечных наносов у основания портового мола и искусственного «глухого» мола/буны. Он может считаться автором первого активного берегоукрепления в виде молов и бун, развивающегося под влиянием вдольберегового потока *волновой* энергии.

Французский исследователь Ж. Е. Ламбларди предложил использовать угол ϕ на песчаных берегах, и учитывать это положение при портовом строительстве. Как и другие представители Парижской Школы дорог и мостов, он принимал участие в проектировании ряда портов Северной Франции. Именно он наметил план характерного набора обязательных портовых сооружений на открытых морских берегах, как например порт Туапсе.

Порт Туапсе расположен на приглубом Кавказском берегу неприливногo Черного моря, возле устья р. Агой, со стороны которого действует результирующий вдольбереговой поток ветро-волновой энергии. Поэтому основной мол порта («Северный») является наиболее крупным и длинным, чтобы прикрыть акваторию от наиболее частых и сильных волнений (на что указывали еще М. П. Минар и М. Н. Герсеванов). Конечно же, мол «Южный» характеризуется гораздо меньшими размерами, чтобы снизить до минимума второстепенные подвижки наносов. Внутри порта расположились причалы разного назначения, а также имеет место многочисленные железно-дорожные и шоссейные подъездные пути.

Французский инженер-портостроитель А. Р. Эми принимал участие в строительстве портов Ла-Рошель, Ле-Сабль Д'Олон, Нант,

Шербур. Вопросы портостроения он тесным образом связывал с особенностями физико-географических процессов в береговой зоне: с режимом волнений, волновых течений, колебаний уровня воды, движения наносов, формирования пляжей, ударов волн о вертикальные и наклонные стенки, образования аккумулятивных форм берегового рельефа.

С трудами А. Р. Эми во многом перекликаются разработки инженера-гидротехника Х. Р. Пальмера, который изучал режим движения галечных наносов для предотвращения заносимости портовых акваторий, подходных каналов и защиты берега от разрушения. При этом он исходит из новой для того времени идеи о ветровых волнах как главной наносодвижущей силе.

На этих же позициях вопросы защиты абразионно-оползневых берегов решает знаменитый одесский инженер и натуралист доктор М. Гайюи в 20-х годах XIX столетия. Правда, как и Дж. Смитон, Х. Р. Пальмер и М. Гайюи проведенные исследования не доводят до практического внедрения.

Несколько позже, уже в 40-х годах Ж. Эмэ рекомендовал учитывать активное движение наносов от уреза до глубины ≈ 40 м, в частности, при проектировании судоходных каналов. Аналогичные работы проводил М. П. Сио, изучая распределение и строение песчаной ряби на подводном склоне моря. Об уровне знания по морской гидротехнике в середине XIX века можем судить исходя из работ М. П. Минара, – он один из первых исследователей, который считал крайне необходимым знание природы береговой зоны (природной структуры, факторов, процессов, механизмов, их взаимодействия), вслед за Ж. Е. Ламбларди. В книге М. П. Минара приводятся многочисленные локальные описания отдельных портов, натурные описания, оценки, сравнения.

Работами П. Эри, Дж. Г. Стокса, Р. С. Рассела, А. Калини, Е. Вебера и ряда других была создана новая волновая теория, которая, по М. Н. Герсеванову, позволила создавать более совершенные портовые и берегозащитные гидротехнические сооружения, вписать их в прибрежно-морскую обстановку с минимальным ущербом и увеличить сроки эксплуатации. Широкою известностью приобретают

разработки и изыскания Лондонского Института гражданских инженеров и Российского Корпуса путей сообщения.

Середина XIX столетия явилась условным рубежом, после которого резко усилилось портостроение, ремонт и расширение портов, их оснащение железнодорожной сетью. Это время богато разнообразными работами по изучению береговой зоны моря, особенно – после Крымской войны 1853-1855 годов.

В 60-х годах появляются две капитальные работы немецкого инженера Гельмута Хагена. В них описание морских гидротехнических сооружений сопровождается изложением процессов и факторов динамики береговой зоны, как сказано в работе (Лонгинов, 1963). Природные описания остаются наиболее точными и достоверными в течение около 50 лет. Однако, постепенно пришло осознание важности физического моделирования. В 1873 г. в Шербуре был построен гидравлический лоток, в котором на первых порах исследовалось влияние волн на размеры пляжей и подводных валов, на состав пляжевых наносов под руководством инженера Л. Е. Бертéна. С этих пор к натурным и расчетным исследованиям добавилось физическое моделирование в лотках и бассейнах.

Непрерывное и все усиливающееся внимание к физико-географическим свойствам береговой зоны к последней четверти XIX столетия достигло такого высокого уровня, что значимость морфологических, литологических и гидрогенных факторов в морской гидротехнике стала аксиомой. Так, именно знание закономерностей развития морского берега в Гвинейском заливе позволило английским проектировщикам представить правильный сценарий развития берегов при строительстве порта в Лагосе, Нигерия. Там оградительные молы длиной более 2 км привели к аккумуляции с наветренной стороны молов (ширина аккумулятивной террасы Лайтхаус-Бич около 800 м при ее средней ширине около 250 м) и размыву берега с подветренной стороны. Ширина полосы размыва равна в среднем 290 м, а максимум равен 620 м за период 1900-1980 гг. (Рис. 5).

На повестку дня стал вопрос о методах исследования, – требовалась соответствующая «Инструкция» для унификации исследований. В 1888 г. коллективом крупных российских ученых (И. В. Мушкетов,

Н. А. Соколов, Ю. М. Шокальский, М. Н. Герсевичев, К. И. Михайлов, Д. Ф. Жаринцов, А. А. Брандт и др.), под эгидой Императорского Русского географического общества, эта «Инструкция» была разработана. В ней были отражены основные генетические особенности морских побережий и основные способы исследований. Прямое участие крупнейших гидротехников дает повод утверждать о принципиальной важности физико-географических условий для успешного гидротехнического строительства в береговой зоне морей.

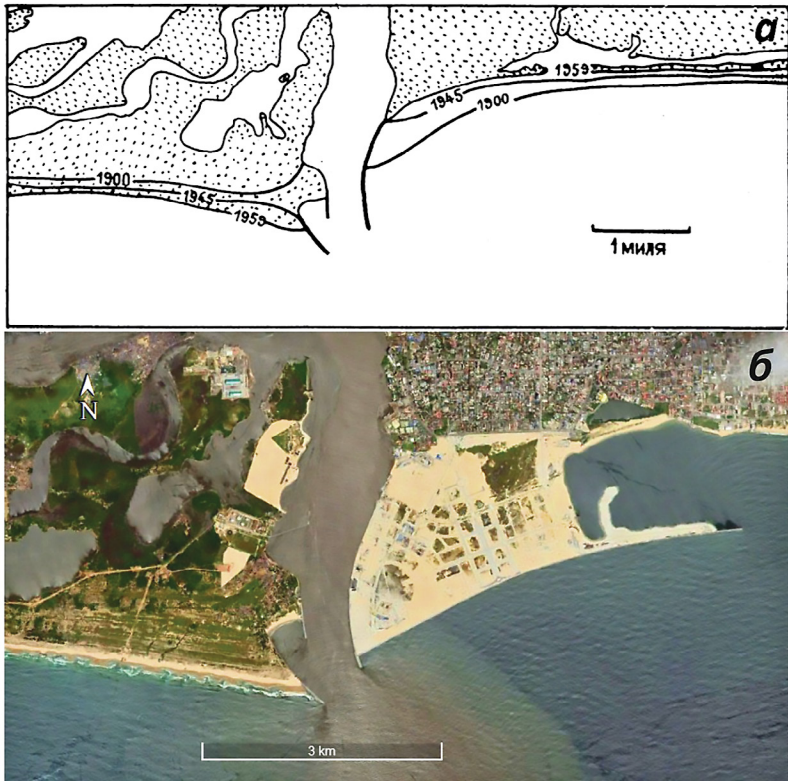


Рис. 5. Оградительные молы порта Лагос на западном побережье Африки: а – динамика по накоплению наносов с наветренной стороны и размыва берега с подветренной стороны от молов (Бёрд, 1990); б – внешний вид порта Лагос на 2017 г. (разработано на базе ресурса *Google Earth*).

На основании таких документов В. А. Яценко (Яценко, 1985) и Д. Я. Фашук (Фашук, 2002) утверждают, что первые в мире порты и их гидротехнические сооружения были первичными строительными конструкциями в береговой зоне морей. Практически всегда, начиная с Раннего Средневековья, порты (с франц. *porté* – «дверь»), были опорными пунктами хозяйственного освоения, а возникающий рядом населенный пункт появлялся как средство обслуживания портового хозяйства. Со временем поселение обычно превращалось в полис или достаточно большой город, с прилегающей хозяйственной территорией («*Hinterland*»). Этот комплекс всегда и на всех континентах определял судьбу окружающих населенных пунктов, промышленных предприятий, припортовой промышленно-транспортной зоны, формировал пригородное сельское хозяйство.

Примерами может служить возникновение портов Александрия (Египет), Кадис (Испания), Лос-Анжелес (США), Рейкьявик (Исландия), Батавия (Индонезия), Санкт-Петербург (Россия). Эти объекты и научные идеи развития были глубоко проанализированы известным ученым, морским гидротехником М. Н. Герсевановым (1830-1907 гг.) (Лымарев, 2002). Получив отличное образование в Главном Инженерном училище в Петербурге, он занялся изучением портовых и других морских сооружений в Великобритании, Франции, Голландии, Германии и Бельгии, т.е. в странах, которые в XVIII-XIX столетиях стали «колыбелью морской гидротехники». Полученный опыт был как нельзя кстати в условиях смены парусного флота паровым и необходимости увеличить численность кораблей. К тому же ученый совершил длительную поездку по портам Черного и Азовского морей.

Все позволило подготовить и издать труды всей его жизни – три выпуска «Лекций о морских сооружениях» и пособие «Курс портовых сооружений» (Герсеванов, 1862). Первый том «Лекций...» посвящен теоретическому обоснованию процессов взаимодействия с природными условиями нахождения гидротехнических сооружений, чтобы достичь гармонии между ними и продлить время эксплуатации в неаварийном режиме. В наиболее полном виде, чем у предшественников, автором рассмотрены факторы, под влиянием

которых находятся сооружения, и не только портовые (ветер, прилив и отлив, течение, волнение, колебания уровня). В Выпусках № 2 и № 3 рассмотрены практические вопросы: конструкции и постройки молов, набережных, эллингов, доков, маяков, более или менее отлогих стенок и проч. При этом излагаются теоретические соображения о взаимодействии сил и факторов, с одной стороны, а с другой – различных сооружений. Выработаны критерии оптимального, равновесного их многостороннего взаимодействия. Эти вопросы представлены в более совершенном виде, чем большинство зарубежных разработок (Hagen, 1863; Hunt, 1885; Keller, 1881; Palmer, 1834) поскольку исходили из новой информации и новых обнаруженных закономерностей различных действующих факторов, и гидрогенных – в первую очередь.

Опираясь на развитие гидрогенных и литогенных процессов в береговой зоне, М. Н. Герсеванов оценивает берегозащитную роль пляжей (Герсеванов, 1862). Это позволяет ему установить такие способы предохранения коренных берегов от многофакторного разрушения как:

- устройство перед берегом сооружений (очевидно – волноломов), о которые волны разбивались бы и теряли бы на них часть своей силы, не доходя до самого берега;
- укрепление берега дамбой или набережной, имеющих более или менее отлогий характер;
- постройка у берегов, где имеет место транспорт наносов, большей частью с поперечной по отношению к берегу экспозицией, которые задерживают наносы, расширяют берег и предохраняют его от разрушения (Рис. 1);
- устраивая портовую акваторию (Рис. 3 и 4), следует уделять перспективное внимание возможности «засорения» (заносимости) наносами гаваней и входов в них.

Как можно видеть, многие выводы в работах М. Н. Герсеванова в принципе весьма близки современным. Они были развиты далее, с учетом мирового опыта, коллегами и учениками в Институте Инженеров путей сообщения и других специальных заведениях.

В частности, морской гидротехник В. И. Чарномский опубликовал капитальную работу «Опыт определения действия, вызываемого волнением данного морского течения на портовые сооружения» (Чарномский, 1900). В этой работе автор подтвердил многие выводы отечественных и зарубежных гидротехников и геоморфологов примерами эффективности портовых сооружений при строительстве новых портов. Он называет многие участки строительства «поперечных сооружений, которые уширяют пляжи» и делают их устойчивыми, как например на берегах Восточной Пруссии, Померании и Мекленбурга (Балтийское море).

Благодаря названной работе В. И. Чарномского, сообщество ученых береговедов и морских гидротехников ознакомилось с передовыми теоретическими положениями в работах итальянского исследователя П. Е Корналья (Cornaglia, 1891) в его большой монографии. Инженер-гидравлик Паоло Корналья основную часть большой монографии (вслед за статьей 1881 г.) посвятил исследованиям трансформации ветровой волны над подводным склоном при ее движении из открытого моря к берегу. При этом автор фактически открывает явление волновых скоростей на разных глубинах подводного склона моря. Основной вывод состоит в утверждении о том, что на прибрежном мелководье величины придонных волновых скоростей (давлений) в направлении берега заметно превышают противоположные величины волновых скоростей (давлений), в основном за счет влияния силы тяжести и денивеляций уровня во время морских ветров. При этом получается, что данная тенденция тем больше выражена, чем круче уклоны подводного склона и подвижнее наносы в волновом поле. Рассмотрение этого явления показывает, что на подводном склоне ниже уровня моря на некоторой глубине («зона нейтралы» или «нейтральная полоса») наносы находятся в относительном равновесии. Наносы повышенной крупности выше «нейтралы» в основной массе движутся в сторону берега и выбрасываются на пляж. А наносы ниже нейтральной полосы под влиянием обратных скоростей, силы тяжести и уклонов движутся преимущественно в сторону моря. Это научное положение, со временем проверенное экспериментально, было поддержано У. Бернсайдом, В. Корнишем, М. Тулэ, А. Р. Хантом, другими учеными, а позже было далее развито

П. К. Божичем, В. П. Зенковичем, А. М. Ждановым, К. Кинг, З. Прушаком.

Таким образом, постепенно шло усовершенствование теории волн мелководья и теории движения наносов в береговой зоне, что имело определяющее значение для проектирования, выбора местоположения и последующей эксплуатации различных морских гидротехнических сооружений. Но самое главное, открывалась дорога к усовершенствованию самих морских гидротехнических сооружений и методов обустройства водных путей, например, в устьях рек. Опираясь на теоретические разработки ведущих гидротехников, гидравликов, гидрографов, они планировали организацию судоходства в речных дельтах, скажем, Ч. Гартлей и П. С. Чехович в устье Дуная, В. Ю. Руммель в устье Днестра и Днепра, З. Матовский и К. Лиерау в устье Вислы, а Г. А. Вильсон и Ф. Х. Аллен – в устье Темзы.

Разработки борьбы с заносимостью портовых акваторий в Великобритании были проведены Б. Редманом, Дж. Кудом, Г. А. Кинаганом. Известны работы В. Е. Тимонова по обустройству порта Либавы (сегодня – Лиепая), а также его тщательный анализ исторического развития морского строительного дела (Тимонов, 1894).

Один из ярких представителей американской науки Г. К. Гильберт в 80-х годах рекомендовал защитить от волнового разрушения берега Великих озер в США. Он один из первых обратил внимание на колебания уровня воды, что требовало от сооружений определенного строения, размеров и механизмов гашения волновой энергии. Такие конструкции долго не появлялись, и только в середине XX века появились пневматические волноломы и габионы. По мнению Г. К. Гильберта, до конца XIX столетия все основные положения о природе береговой зоны были уже высказаны исследователями. Как уже адаптированные в науке, он называл асимметрию волновых движений на прибрежном мелководье, значимость противотечений в выносах наносов в сторону моря и о всех явлениях, связанных с деформацией и разрушением волн. Однако, другой представитель американской физико-географической школы Д. У. Джонсон в монографии 1919 г. (Johnson, 1919), вслед за А. Калинины, А. Чальди,

У. Х. Виллером, Т. Шепардом приведен ряд примеров неудачной работы волноотбойных стенок, волноломов и бун (например, у м. Кейп-Код, у о. Узедом, вдоль Восточных и Южных Фризских о-вов).

Эта информация вызвала интерес у морских гидротехников, прежде всего у известных исследователей Х. Келлера и В. Корниша. Им принадлежат капитальные разработки о гидродинамике придонного слоя в береговой зоне. Они приводят главнейшие сведения о сортировке наносов на поперечном профиле, о потоках наносов вдоль берега, о балансе наносов, о динамике абразионного и аккумулятивного рельефа, о гидравлических свойствах наносов. Это все те научные положения, которые имеют прямое влияние на качество материалов, конструкцию и месторасположение различных морских гидротехнических сооружений в береговой зоне, согласно их назначению. Важно, что эти положения со временем все сильнее влияют на создание эффективных гидротехнических сооружений.

Поэтому первые десятилетия XX столетия накапливали достаточно обильный и разнообразный материал о динамике береговой зоны морей для того, чтобы обеспечивать разработку и применение различных типов морских гидротехнических сооружений – портовых, берегозащитных, рекреационных и прочих. Один из классиков береговедения В. В. Лонгинов (Лонгинов, 1963, с. 41) считал, что в данное время были высказаны все основные гипотезы, положения и закономерности этой науки. В значительной мере было отброшено все незначительное, ненадежное и ошибочное. Начался новый этап, который утвердил приоритет волнового фактора со всеми его приложениями, согласно А. Арриго, Ж. Тьерри, а немногим позже – К. Коике, С. Хайями и П. Брууну.

Исследования волновых давлений и определение силы волн породило вывод о создании таких сооружений, которые смогли бы противостоять ударам волн, т.е. в морской гидротехнике заметное место заняли конструкции пассивного типа (Жданов, 1958; Зенкович, 1962; Сокольников, 1976). Не владея теорией учения о береговой зоне морей, гидротехники и строители были уверены, что напору морских волн могут противостоять прочные конструкции, на которых волны разрушаются.

Со временем, потребности населения множили функции населенного пункта и порта. Кроме портовых, могла возникнуть необходимость в маяках, судоходных каналах, карьерах по добыче строительных материалов или рудного сырья, берегозащитных сооружений на соседних берегах и прочего (Божич, Джунковский, 1949). Поэтому в районах расположения портов часто можно встретить и берегозащитные сооружения, как например совокупность бун около порта Колобжег на Балтийском берегу (Польша), на о. Нордерней (Германия) (Рис. 6) или около порта Сочи на берегу Черного моря (Россия).

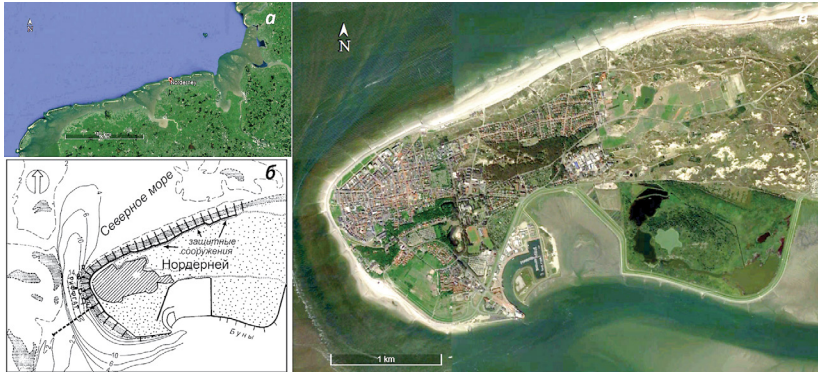


Рис. 6. Берегозащитные сооружения острова Нордерней в группе Восточно-Фризских островов, на приливном побережье Северного моря: а – расположение острова в группе Восточно-Фризских островов; б – схема расположения берегозащитных сооружений на западе острова (Янсен, Хансен, 2003); в – состояние берега в пределах берегозащитного комплекса острова, по состоянию на 2019 г. (разработано на базе ресурса *Google Earthe*).

Традиционно сложилось так, что с подветренной стороны внешних оградительных портовых молов располагаются буны для предохранения «низовых размывов». Яркими примерами являются участки расположения портов Остенде, Зебрюгге, Клайпеда, Порт-Саид, Мерсин, Кочин. Поэтому нередко портовые сооружения включают в себя элементы берегозащиты и процессов экскавации подводного склона.

Восточно-Фризские острова являются тем районом побережья, где были построены одни из наиболее ранних бун. В условиях частых штормов, неконсолидированных песчаных отложений и иссякания накоплений наносов на подводном склоне, процессы размыва берега стали типичными на островах Боркум, Нордерней, Балтрум, Лангеог и др., особенно их западных оконечностей (Бёрд, 1990; Янсен, Хансен, 1957; Ehlers, 1988). Раньше всего были защищены берега о. Нордерней – в 1857 г. и на о. Боркум – в 1869 г., а на о. Йуст – в 1913 г. Накопленный опыт строительства и эксплуатации был затем применен на песчаных берегах всего Балтийского и Северного морей, других берегов. Построенные буны, как правило, имеют длины 150-250 м, а наиболее длинные – до 450 м (Рис. 6). В настоящее время активно применяются подсыпки песчаного материала в межбунные карманы с подводного склона перед островами. Хотя и запрещено такое перемещение песков, но экологи говорят, что это не пески, а «агрегаты». Подобная эквilibристика активно используется также и на берегах Великобритании, Франции, Дании, Голландии, США. Главное, чтобы буква закона соблюдалась, а при рода – потерпит.

При этом работами различных исследователей, а российских и английских в первую очередь, было надежно установлено сложное вдольбереговое движение наносов. Известным советским инженером-гидротехником П. К. Божичем, это явление было установлено вдоль Кавказского берега Черного моря в пределах Абхазии, около города Гагры (Божич, 1927). В 1914 г. для города стали строить портовый мол, выходящий на глубину 6,5 м и расположенный с подветренной стороны от устья горной реки Жоквара. По мере того, как мол удлинялся, все больше речных наносов накапливалось между устьем реки и молем, с «наветренной» стороны мола, а с противоположенной подветренной стороны, по причине недостатка речных наносов, вначале исчезли пляжи, потом начался сильный размыв коренного берега на протяжении нескольких сотен метров. В сферу разрушения попала набережная, часть уникального пальмового парка, памятники архитектуры, появилась угроза разрушения шоссе и железной дорог. С наветренной стороны мола в устье реки

Жоэква́ра накопления гальки стали настолько большими, что случился подпор речного потока. Во время одного из сильных паводков река вышла из старых берегов и проложила себе новое русло на другую сторону от мола, на подветренный участок берега, где уже господствовал размыв. С момента такого прорыва река возобновила питание берега большим количеством гравийно-галечных наносов. В соответствии с направлением вдольберегового потока наносов, они, избавившись от искусственного препятствия (мола), вначале восстановили пляж. Он распространился во всю длину участка размыва, размыв берега прекратился, закончилось разрушение береговой территории. В данном случае видим пример того, как природа реагирует на неудачно расположенное гидротехническое сооружение. Аналогичные явления наблюдались в разных странах, согласно Э. Бёрду (Бёрд, 1990). Поэтому отсутствие гармонии между сооружением и свойствами природной системы, которой навязывается инородное тело, всегда заканчивается ущербом, потерями как для береговой зоны, так и для гидротехнического сооружения.

Выполненные П. К. Божичем обследования береговых процессов и портов Кавказского побережья позволили приобрести ценный опыт. Этот ученый-гидротехник активно участвовал в Комиссии по изучению морфологии побережий при МГУ в 1936-1941 гг. Он ввел понятие «вдольбереговой поток наносов», развивал представления о генетическом единстве подводной и надводной частей береговой зоны, рассмотрел явление «нейтральной полосы» на подводном склоне. Он автор учебника «Регулирование морских побережий и устьев рек», долго работал в стенах Центрального научно-исследовательского института водного транспорта, где им была основана Волновая лаборатория. Он был автором ряда капитальных работ: «Укрепление берегов Абхазии», «Основы проектирования открытых каналов и искусственных постовых акваторий», «Производство волновых наблюдений», «Морские каналы и их обстановка», а в соавторстве с Н. Н. Джунковским – «Морское волнение и его действие на сооружения и берега». Все эти труды поставили П.К. Божича в ряды крупнейших морских гидротехников в Мире.

Важнейший вклад в дальнейшее развитие теории вдольбереговых потоков наносов внесли работы В. П. Зенковича (Зенкович, 1946, 1956, 1962). Именно понятия «нейтральная полоса (линия)», «рефракция морских волн», «вдольбереговой поток наносов» и «режим поперечных миграций» дали возможность применять активные и пассивные берегозащитные сооружения, более точно обозначать и структурировать выход из порта и проходить подходной канал.

Природные основы гидротехнического строительства в береговой зоне моря стали развивать, кроме П. К. Божича, также французский специалист Ж. Ларра́, американские – Дж. Колдвэлл и А. Куинн, немецкие – К. Фолльбрехт и К. Бюллов, советские Н. Н. Джунковский, В. Е. Ляхницкий, Р. И. Гинсбарг, Ф. М. Шихиев, А. М. Жуковец, Н. П. Жемчужин, Л. А. Логачев и др. Хотя в России и в СССР большинство разработок являются оригинальными, дающими толчок к дальнейшему развитию береговедения и морской гидротехники, но ряд иностранных достижений при этом также учитывался.

Также надо брать во внимание, что в СССР специалисты исследовали заносимость портов и каналов илистыми, песчаными, гравийным, галечными терригенными, ракушечными наносами, в береговой зоне с пологими, умеренными и крутыми подводными склонами, с изрезанными и выровненными берегами, на неприливных и приливных морях, расположенных на морском берегу и в устьевых областях рек (Божич, Джунковский, 1949; Шаповалов, 1962). Это привело к многообразию, рационализации, эффективности, малой материалоемкости гидротехнических сооружений (Горюнов, Шихиев, 1970; Джунковский и др., 1967; Хомицкий, 1983). Такого разнообразного поиска в сфере гидротехнического морского строительства, как и соответствующего усовершенствования морских гидротехнических сооружений разного назначения, не было ни в одной стране в 40-50-х годах, кроме, как в СССР. В мировой практике основное внимание уделялось проблемам заносимости портов и каналов, борьбе с процессами разрушения берегов, по динамике наносов, методам исследования наносов, установления параметров различных вдольбереговых

потоков наносов. В 50-х годах XX столетия сложилась четкая практика морского гидротехнического строительства с жесткой привязкой к физико-географическим чертам и характеристикам береговой зоны, опираясь на достижения теории учения о развитии береговой зоны моря. В 50-х годах было выполнено несколько крупных проектов по застройке береговой зоны, что дало заметный толчок к дальнейшим поискам. Среди них назовем прежде всего строительство глубоководного порта Ходейда на Красном море, Находка и Врангель на Японском море, морской порт и аэропорт в Киото (Внутреннее Японское море), порт Ильичевск и Одесский берегозащитный комплекс на Черном море (Горюнов, Шихиев, 1970; Шуйский, 2010; Яценко, 1985).

На много километров протянулась «гребенка» бун («groins») в районе Венецианской лагуны, волноломы разной конструкции между Римини и Чезенатико, в Марина ди-Масса, прерывистые волноломы на берегу Пизы в Италии (Aminti, 2003). На песчаных пляжах Северной Каролины (США) М. Ларсон и Х. Хансон (Larson, Hanson, 2003) выполнили длительный натурный эксперимент. Одним из его результатов стала графическая модель, показывающая связь между количеством перенесенного песка и глубиной начала разрушения штормовой волны (Рис. 7). Такая модель позволяет установить размеры и местоположение бун как средства удержания наносов и накопления пляжей при вдольбереговом переносе наносов.

В 60-е годы впервые в мировой практике была разработана программа, выбраны оптимальные мероприятия на берегах Черного и Азовского морей для отдельной страны. В проекте участвовали только украинские специалисты, которые наметили и обосновали структуру, содержание и технологии выполнения общегосударственной для Украины Генеральной Схемы противооползневых и берегозащитных мероприятий. Главными консультантами и редакторами были: начальник отдела, инженер-гидротехник В. П. Кузнецов, профессора Л. Б. Розовский, И. П. Зелинский (по геологическим вопросам) и Ю. Д. Шуйский (по физико-географическим вопросам).

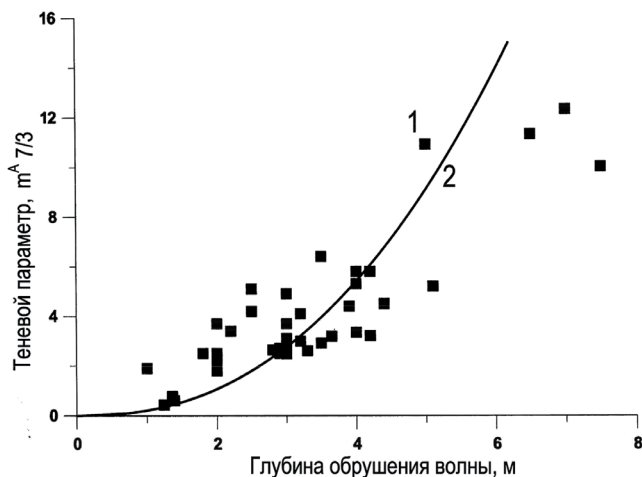


Рис. 7. Графическая связь между «теньвым параметром» волны открытого моря и реальной глубиной обрушения волны при ее движении к берегу (Larson, Hanson 2003).

На побережье были определены участки, которые требуют защиты от разрушения в первую очередь и в последующее время, по очереди. Методы защиты и типы сооружений определялись, исходя из геологического строения, гидрогеологических условий, рельефа, баланса наносов, гидрогенного режима моря, уклонов подводного склона, распределения волновой энергии, экспозиции энергетического вектора по отношению к простиранию береговой линии и др. Каждый участок, относительно однородный по природным свойствам, рассматривался отдельно от остальных, согласно закону географической локальности.

В течение ряда 60-70-х годов XX века были организованы масштабные натурные эксперименты у нескольких морских портов. Стояла задача оценить влияние портовых сооружений на окружающие районы береговой зоны, в связи с режимом вдольбереговых потоков наносов на Азовском и Балтийском морях. Исследовалось окружение портов Ейск и Мариуполь, Клайпеда и Вентспилс.

Ейск является одним из небольших рыболовных портов, куда могут заходить суда с осадкой ≤ 4 м. Он был сооружен в

1903-1906 гг., на морской стороне Ейской косы, южное побережье Таганрогского залива (Зенкович, 1958; Шаповалов, 1962). Два внешних сходящихся мола образуют аванпорт, по дну которого проходит 850 м подходного канала (Рис. 8). Его внешняя (морская) часть имеет 2,3 км и выходит на глубину 4 м.

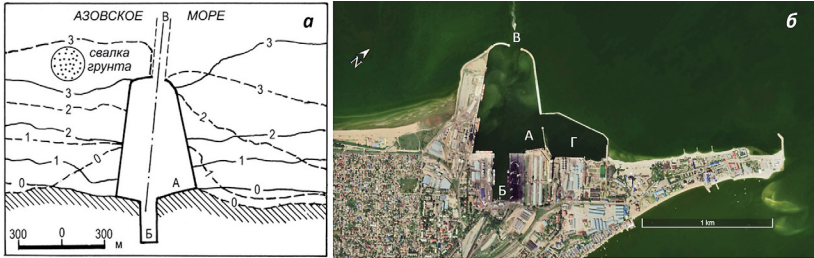


Рис. 8. Торговый порт Ейск и его структурные особенности: *а* – порт Ейск и прилегающий подводный склон по состоянию на 1982 г. (изобаты в метрах: сплошные линии – 1903 г., пунктирные линии – 1982 г.); *б* – порт Ейск по состоянию на 2019 г. На рисунке указаны: А – аванпорт; Б – портовый ковш с причалами; В – ось подходного канала; Г – новый порт (разработано в ресурсе *Google Earth*).

Берег и подводный склон сложены легко размываемыми глинистыми породами, со средними уклонами поперечного профиля $i_z = 0,0025$. Берег и подводный склон типично абразионные. Доминируют алеврито-пелитовые наносы, с небольшой примесью песка; повышено содержание ракуши и раковинного детрита. Господствуют ветры от *ССВ* (среднее 43,3% в году), против второстепенного направления *ЮЮЗ* (22,8% в году). Поэтому на наветренной стороне молв, как это обычно бывает, образовалась терраса у северо-восточного «входящего угла» (рис 8 б). Ширина террасы до 400 м, а количество наносов (в основном алеврито-илистые, со значительной примесью ракуши) – примерно 600 тыс. м³. Соответственно, с подветренной стороны неизбежно резко усилился дефицит наносов, который привел к отступанию береговой линии в среднем на 1,5 м/год. Поэтому с наветренной стороны отмель выдвинулась к оголовкам аванпорта, сюда подошла изобата – 2 м и наносы стали

обходить портовые молы. Такие изменения в течение 60-70-х годов привели к заносимости подходного канала на величину до 50 см, а суммарная заносимость террасы и канала составляет 120-150 тыс. м³. В итоге необходимым является дноуглубление, а свалка грунта организована на южной (подветренной) стороне парных молов. В итоге сложился эффект «*bypassing*», достаточно эффективный, хотя в условиях распространения илисто-алевритовых наносов он применяется нечасто.

Описанные здесь явления изменений берега и подводного склона в условиях влияния сооружений морского порта, вместе с подходным судоходным каналом, являются типичными, действующими в среде влияния портов подобных конструкций. Аналогично повели себя первые порты, которые наблюдались, скажем Гагры, Батуми, Колобжег, Зебрюгге, Остенде и проч. При увеличении длины оградительных молов, глубин порта и больших запасах наносов растут более интенсивно террасы во входящих углах, растет заносимость подходного канала.

Наибольшее внимание следует обратить на зону подветренного размыва. Например, молы порта Клайпеда на побережье Балтийского моря выходят на глубины 5-7 м, а глубины портового канала составляют около 11-12 м. Эта ситуация обозначает очень сильный перехват наносов внешними портовыми сооружениями на трассе Восточно-Балтийского вдольберегового потока наносов. Поскольку оба мола экспонированы под острым углом к общему направлению береговой линии, а наветренный входящий угол является тупым ($\approx 120^\circ$), то состояние береговой зоны отличается от других участков расположения портов. Поэтому в наветренном (южном) входящем углу, в отличие от молов Гагры, Туапсе, Ейска, Ильичевска, Лиепай, Вентспилса и др., развивается не аккумуляция, а размыв (Жухов, 1968; Коробова, 1968; Шишов, 1964, 1966). С момента 1903 г. (окончание строительства) в южном углу берег выдвинулся всего на 50 м, т.е. в среднем 0,4 м/год. В то же время в подветренном остром углу ($\approx 60^\circ$) в волновой тени создалась терраса со средней скоростью аккумуляции, равной 3,6 м/год. Как видим, вокруг портовых сооружений изменчивость берегов связана не только с размерами

сооружений, мощностью вдольберегового потока и окружающими глубинами, но также и с экспозицией молов и подходного канала.

Находит свое отражение и расположение порта Клайпеда в потоке из Куршской лагуны в море, где уровень воды повышен, а в море выносятся дополнительное количество осадочного материала. Это связано с тем, что на обширных мелководных акваториях лагун (лиманов, риасов, боддэнов и др.) толща воды является насыщенной осадочным материалом, а сама струя воды, влияет на береговую зону образует своеобразную «гидравлическую буну». Поэтому подобные порты, как и в дельтовых устьях, на выходе из подходного канала осложнены положительными формами, чаще всего «устьевым баром», дополнительной трудностью для водного пути на подходном канале. Такие бары находим у устья Даугавы, Венты, Немана, Лебы и др. Этот элемент выхода из порта играет важную роль во время эксплуатации канала и требует детального исследования, его надо предусмотреть в последующий промежуток времени.

60-е годы XX столетия стали началом бурного использования морского гидротехнического строительства в Японии, особенно – берегозащитных сооружений (Савараги, 1990; Koike, 1985; Nogikawa, 1988). В этой стране отмечалось наибольшее их число и на наиболее крупную сумму среди большинства экономически развитых стран. Наиболее неуклонно быстрыми темпами росло число подводных защитных волноломов, причем, до 1988 г. (Рис. 9). В отличие от волноломов, повышенными темпами строились волноотбойные стенки, буны и наброски до 1970 г. А позже интенсивность строительства резко понизилась. Такое внимание к морскому гидротехническому строительству было вызвано введением в действие государственного закона Японии от 1953 г., с последующими поправками. Большие берегозащитные работы были выполнены на берегах в районах Ниигата, Канадзава, Акита, Сэндай, Фукуока и др. В 70-х годах застройка разными гидротехническими сооружениями затронула 26,7% длины берегов основных и малых островов из общей суммы 32170 км (Koike, 1985). Это одна из самых плотных застроек на берегах большой длины: портовыми, берегозащитными, навигационными и прочими сооружениями (Бёрд, 1990).

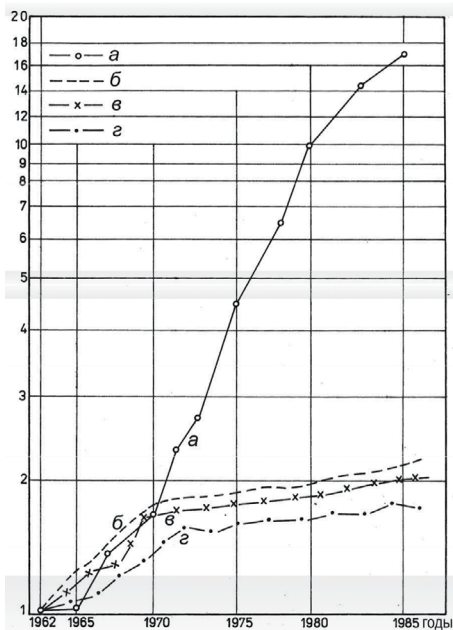


Рис. 9. Графики общего увеличения количества берегозащитных сооружений, возведенных на берегах Японии до 1990 г.: *а* – волноломы различных конструкций; *б* – морские ДИГИ; *в* – буны, разных размеров и состоящих из разных материалов; *г* – береговые стенки и откосы (Савараги, 1990).

Хотя берега Японии и отличаются от берегов других стран частым применением пассивной берегозащиты, но, тем не менее, японские береговеды и морские гидротехники сделали первый шаг на пути создания свободных незакрепленных («полузакрепленных») пляжей.

Первый вариант искусственного пляжа предусматривал расположение искусственной отсыпки песка (гравия, гальки) на поперечном профиле между защитной стенкой над водой и притопленным волноломом на подводном склоне (Рис. 10). Сам по себе искусственный пляж стоит гораздо меньше жестких гидротехнических составных элементов, именно они сильно удорожают берегозащиту. Тем более, что эти жесткие элементы слабо удерживают песок и гра-

вий и требуют непрерывного отсыпания все новых порций наносов. Но этот вариант стал исходным для дальнейшего применения нескольких типов искусственных пляжей: а) свободных незакрепленных; б) свободных частично закрепленных; в) полностью огражденных и закрепленных; г) карманные пляжи. Несколько натуральных экспериментов на песчаных пляжах в северной части Черного моря позволили установить количество наносов, которое во время шторма удаляется на глубину.

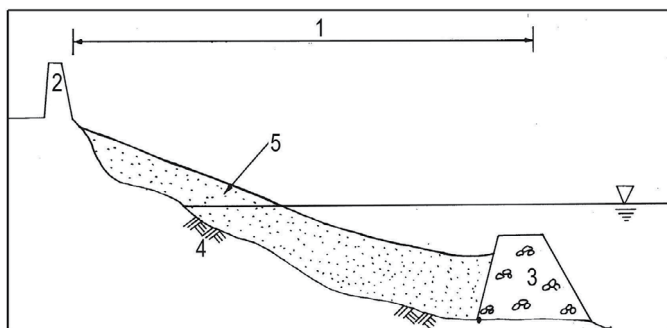


Рис. 10. Общий вид искусственного пляжа, который удерживается подводным волноломом: 1 – защищенный профиль; 2 – волноотбойная стенка; 3 – подводный волнолом (риф); 4 – горные породы, подстилающие толщу пляжевых наносов; 5 – наносы пляжа (Савараги, 1990).

В условиях действия в течение суток волн со средней высотой 1,0-1,5 м и умеренным дефицитом наносов средние потери пляжевых наносов обычно не превышали $6 \text{ м}^3/\text{м}$. Если средняя высота штормовой волны лежала в рамках 2,0-2,5 м, то средние потери составляли до $12 \text{ м}^3/\text{м}$, при прочих равных условиях. При средней высоте волны 3,0-3,5 м потери наносов в составе пляжей могли быть около $18-20 \text{ м}^3/\text{м}$ и даже более. Очень редко бывает, что величины таких размывов быстро восстанавливаются. Их не могут восстановить процессы абразии, очень медленными и мизерными порциями поставляющие пляжевые наносы, при доминирующем вдольбереговом потоке наносов. Поэтому нужен постоянный источник компенсации штормовых размывов, например, в виде «грунтовых бун» или

«грунтовых террас». Часто таким постоянным источником выступает гряда береговых дюн. Возможно также использование механизма «bauprissing», но при точном численном определении постоянной подпитки наносами во время эксплуатации.

Нет сомнения в том, что природа береговой зоны крайне разнообразна, как и морских побережий в целом. Поэтому антропогенное вмешательство с помощью множества гидротехнических сооружений порождает такое же множество последствий в одних и тех же природных условиях. Вместе с тем, многие участки береговой зоны характеризуются существенными природными различиями, и они различно реагируют на застройку одними и теми же гидротехническими сооружениями. Бесконечно многочисленными являются последствия строительства разных сооружений на участках с разным прибрежно-морским природным режимом, в пределах каждой природной физико-географической системы уровня урочища или даже местности. Такое состояние последствий застройки рассматривается нами как необходимость в каждой системе названного уровня организации, комплексной оценки рациональности застройки, достижения минимизации ущерба, эффективности сооружения, максимальных сроков работы сооружения, сохранения полезных свойств прибрежно-морской природной системы и проч. Это значит, что, как правило, полезное для одной системы сооружение не годится для аналогичной системы в другом месте. Как нет похожих рисунков отпечатков пальцев у разных людей и в разных физико-географических условиях, так нет того или иного эффективного гидротехнического сооружения в одинаковых условиях и нет одинаковых физико-географических последствий при применении сооружений одного и того же типа на разных участках. Для одного участка волноотбойная стенка эффективна, для другого – нет. Для одного участка одна и та же конструкция подводного волнолома подходит, а для другого – нет. В одном месте подходной судоходный канал не обостряет дефицит наносов и является эффективным, а в другом – нет. В одних и тех же природных условиях буны разных размеров и экспозиции могут накапливать пляжевые наносы, а в других – не делают этого.

Данный перечень можно продолжить, однако, следует уяснить, что гидротехнические сооружения и природные условия их применения являются строго индивидуальными, неповторимыми, с разной судьбой, разными структурными элементами и действующими компонентами, с индивидуальными схемами взаимодействия. Такие особенности взаимоотношений между природными условиями и антропогенным фактором описывается законом *географической локальности*. Его требования обеспечивают наиболее достоверную информацию о том или ином географическом объекте для достижения гармонического состояния между прибрежно-морским природным комплексом, с одной стороны, а с другой – с искусственным гидротехническим сооружением. Конечно, в арсенале морской гидротехники накопилось большое множество основных, второстепенных, постоянных, временных сооружений, которые состоят из искусственных и естественных материалов. Каждый вид сооружения предназначен для строго определенных природных условий береговой зоны моря и побережья в целом. Даже рядом расположенные участки и их части характеризуются существенными отличиями.

Каждый из них может различаться хотя бы по 1-3 признакам, которые в дальнейшем, по мере эксплуатации сооружения, может решающим образом повлиять и на сооружение, и на качество прибрежно-морской системы, начиная с физико-географической фации или мозаики фаций. Каждая характеризуется собственными неповторимыми физико-химическими свойствами скальных, глинистых и осадочных неконсолидированных пород, литодинамическими свойствами, запасами наносов, петрографическим и минералогическим составом наносов, общим уклоном подводного склона, рельефом подводного склона, ветровым режимом, волновым режимом, определенным строением районов зарождения, транзита и разгрузки вдольберегового потока наносов и режима поперечных миграций наносов и многого другого. Конечно, взаимодействие каждого с остальными свойствами порождает множество сочетаний. А каждое природное сочетание различно реагирует на влияние конкретного сооружения. Сколько сочетаний – столько и последствий влияния гидротехнического сооружения.

Изменчивость береговой зоны имеет необыкновенно высокую интенсивность в связи с высочайшим энергетическим потенциалом береговой зоны (Айбулатов, 1990; Зенкович, 1962; Леонтьев, 1989, 2002). Поэтому и последствия взаимовлияния природы береговой зоны и сооружения оказываются также необыкновенно сильными и интенсивными. Хорошо, если последствия позитивные и эффективные, но чаще они бывают негативными и неэффективными, которые проявляются очень быстро и для природной системы, и для сооружения. Вот почему следует выбирать вид гидротехнического сооружения с учетом закона географической локальности.

Изложенное позволяет обратить внимание, что история развития гидротехнического строительства, и строительства вообще, в береговой зоне обнаруживает ряд социально-экономических рубежей, после которых застройка приобретает новый импульс с последующим усовершенствованием самих сооружений и их размещения, их комбинаций.

Во второй половине XVIII столетия в Англии наиболее массовое распространение получили берегозащитные буны, которые затем массово стали строиться на южных и восточных берегах Балтийского и Северного морей. Они и сегодня используются на берегах разных типов и видов (Рис. 11). Причем, конструкции бун могли быть разными по длине и ширине, а также по применяемому материалу.

Однако, поначалу еще никто не знал точно, где можно эффективно применять буны и какова их эффективная конструкция (Горюнов, Шихиев, 1970; Яценко, 1985). Одним из важных давних рубежей, к примеру, стали «наполеоновские войны» в Европе. Они активизировали поиск береговых сооружений для причаливания судов и десантирования войск. Затем в этом отношении важными стали: Крымская война 1853-1856 гг. в Европе и начало создания континентальной сети железных дорог в Северной Америке, а также Первая Мировая война. Они показали необходимость повышения прочности сооружений и создания комплексных многофункциональных гидротехнических сооружений. Вторая Мировая война

показала необходимость создания особенно прочных сооружений и дальнейшего их разнообразия, основное внимание стали уделять способности гасить волновую энергию.



Рис. 11. Берегозащитный комплекс острова Лидо, в районе Венеции (Италия), северо-западный берег Адриатического моря: *а* – внешний вид острова Лидо; *б* – «наносоудерживающие» буны вдоль фронтального берега острова; *в* – внешний вид песчано-гравийного пляжа (разработано в ресурсе *Google Earth*).

Широкое распространение стала получать каменная наброска, как мелкая, так и крупная, причем, в основном в виде отдельных звеньев надводных волноломов, например, в районе Пизы (Италия) или вдоль полуострова Дарсс, Германия (Aminti, 2003; Pruszk, 2003). В 40-50-х годах резко возросло применение подводных волноломов, особенно в Японии, Британии и СССР.

Они дали ценный опыт, как например Ахунский волнолом на Кавказском берегу или надводный волнолом напротив Практической гавани порта Одесса, Черное море (Гамаженко, 1956; Жданов, 1960; Савараги, 1990; Яценко, 1985).

В 60-70-х годах волноломы стали применять в основном как один из элементов более сложных берегозащитных комплексов (рис 12, VI), в частности на Одесском побережье Черного моря, согласно Ю. Д. Шуйскому (Shuisky, 1994, 2003; Шуйский, 2010).

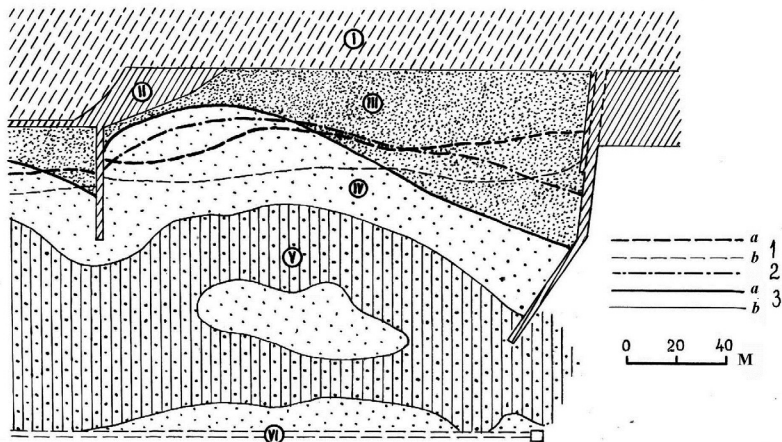


Рис. 12. Схема строения пляжеудерживающей ячейки в составе Одесского противооползневой и берегозащитного комплекса. Основные элементы комплекса: I – искусственно выположенный оползневой склон, высота 42 м; II – подпорная стенка в основании клифа; III – надводная часть искусственного пляжа спустя 2 года после начала формирования; IV – подводная часть искусственного пляжа; V – глинистый подводный склон, лишенный наносов; VI – притопленный подводный волнолом, над его вершиной глубина 0,3 м. Даты топографических съемок: 1 – через 2 месяца после отсыпки искусственного пляжа 17.07.1972 г., *a* – береговая линия пляжа, *b* – внешняя граница подводного пляжа; 2 – береговая линия пляжа 10.07.1973 г.; 3 – съемка 28.01.1974 г.: *a* – береговая линия, *b* – внешняя граница подводного пляжа внутри ячейки.

Он предназначен для гашения волн, сохранности искусственного песчаного пляжа и интродукции на его фронтальную и тыльную стенки разных моллюсков-фильтраторов, в основном мидий и дрейссен, а также для пригрузки «языка оползня» («*landslide longue*»).

Расчет был на то, чтобы волнолом поставить на пути движения волны к берегу. Поэтому перед тем, как накинуться на пляж или клиф, штормовая волна разрушается на волноломе и к береговой линии подходит с существенно низкой энергией и такой же низкой

наносодвижущей способностью. Таким образом волноломы создавали волновую тень и не допускали усиленную абразию или размыв наносов на пляжах и террасах, а часто могли и вовсе не допускать разрушения берега. Начались поиски оптимальных условий для наибольшей эффективности волноломов, а за основу был взят природный аналог подводных валов (Айбулатов, 2005; Кнапс, 1956; Bruun, 1963; Gerritsen, 1963). В частности, интерес вызывали расстояния между волноломом и берегом, глубины установки волноломов, экспозиции продольной оси волнолома относительно берега и результирующего вектора волнового режима, мощность морских волнений, состав пляжевых наносов, форма и структура волноломов и многое другое.

Усиление исследований данных вопросов пришлось на 40-50-е годы XX столетия (Гамаженко, 1956; Лызлов, 1961; Nogikawa, 1978; Walker, 1988), причем, как натуральных, так и методами физического моделирования. Основные разработки были включены в проекты строительства подводных волноломов разных конструкций. Прежде всего стали уделять внимание поперечному профилю волнолома, поскольку поначалу считалось, что чуть ли не единственным регулятором работы волнолома выступает его гасящий барьер на подводном склоне. Соответствующие исследования были выполнены в Лаборатории Дельфта (Нидерланды), в Лаборатории Гидротехнических конструкций в Бресте (Франция), в Морском институте в Киле (Германия), в Институте Скриппса (США) и других (Walker, 1988).

Большой объем исследований был проведен в Гидротехнической лаборатории Одесского института инженеров морского флота, СССР (Лызлов, 1961). Эти исследования позволили выполнить экспериментальное моделирование в «глубоком» гидравлическом лотке с 19 различными профилями.

Анализ результатов этих экспериментов и их сравнение с натурными данными позволило сделать ряд выводов. Оказалось, что: а) волногасящий эффект подводных волноломов, независимо от силы штормового волнения, определяется заглублением гребня волнолома: чем меньше глубина над гребнем, тем больше степень гашения энергии волн; б) величина отражения волн подводным волноломом, при одной и той же крутизне и поперечной форме волны, зависит не

столько от уклона передней стенки, сколько от площади поперечного сечения волнолома; *в*) и в лабораторных, и в натуральных условиях, для получения одинаковой с предыдущим степени волногашения у волноломов с откосными стенками необходимо уменьшать крутизну откосов и увеличивать заглубление гребня; *з*) в пределах пляжеудерживающего бассейна уровень воды всегда несколько выше, чем на сопредельной акватории моря: повышенная глубина усиливает волновую переработку пляжа и способствует усилению размыва пляжа; *д*) следует строго следить за тем, чтобы между бетонными, железобетонными или каменными блоками не было крупных зазоров и щелей: во время действия даже слабых волнений происходит выброс песчаных наносов из бассейнов в море и повышенные потери массы пляжевых наносов; *е*) в случаях создания берегозащитного комплекса каждый его элемент должен быть рассчитан и испытан индивидуально, согласно закону географической локальности.

Для обеспечения морского гидротехнического строительства и выполнения требований закона географической локальности предварительно выполняются прибрежно-морские изыскания. От обычных инженерно-геологических, портовых, ландшафтных и др. они отличаются прежде всего методикой, понятийным аппаратом, необходимостью понимания неповторимых природных процессов, явлений, механизмов природы, организацией изыскательских работ, а также особыми приборами и оборудованием (Зенкович, 1962; Буданов, 1964; Леонтьев, 1989, 2002; Шуйский и др., 1987, 2010, 2015 а). Как и в других географических науках, в береговедении любой комплекс или цикл изысканий включает в себя три основных периода.

Подготовительный период. Выполняется в соответствии с техническим заданием на изыскательские исследования и предназначен для полного обеспечения всех видов работ: от составления программы и календарного плана и до одобрения (утверждения) сметы. Во время этого периода определяется состав изыскательской группы (экспедиции, партии), подбираются приборы и оборудование, транспорт, материалы, подбираются карты, необходимые руководящие документы, наставления, рекомендации и проч.

Полевой период. Предназначен для полевых маршрутных и стационарных работ в береговой зоне моря, путем визуальных, инструментальных и расчетных описаний, картографирования, прямых и дистанционных съемок, в т.ч. повторных. В это время набирается полевой материал, необходимая информация для камеральной обработки и построения графического материала. Чаще всего полевой период начинается с рекогносцировочного этапа, в это время производится организация района изысканий. Затем отрабатывается рабочий этап (выполняется программа полевых описаний, измерений, съемок, пробоотбора и др.). Заключительный этап обычно посвящен резервным работам и подготовке к камеральному периоду.

Камеральный период. Выделяется для систематизации, правки описаний, измерений, съемок, пробоотбора и аналитической обработки материала, построения таблиц и иллюстраций, их стандартных упорядоченных описаний, согласно рабочей программе. Окончание камерального периода знаменует собой окончание всего времени прибрежно-морских изысканий для природного обоснования строительства в береговой зоне моря (океана). Фактическим окончанием работ является прием заключительного отчета заказчиком и подписание соответствующего Акта о приемке–сдаче НИР.

В связи с изложенным, искусственное преобразование природы береговой зоны может происходить под влиянием застройки морскими гидротехническими сооружениями, строениями транспортного, промышленного и гражданского назначения (Джунковский и др., 1967; Сафьянов, 1987; Шуйский, 2001; Шуйский, Выхованец, 1989). Любая застройка любыми сооружениями и строениями всегда нарушает состояние природной прибрежно-морской системы в разной степени, от несущественной до угрожающе опасной. В любом случае задача состоит не в том, чтобы отказаться от застройки, от возведения сооружений, зданий, фундаментов, а в том, чтобы средствами и теорией науки обеспечить минимальное допустимое воздействие на береговую зону.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Как видим, практическая значимость береговедения является разнообразной. Она зависит от ряда причин, среди которых: *а)* строение и динамика, природные ресурсы береговой зоны моря как сфера интересов общества; *б)* практическая потребность в использовании береговой зоны, различная в разных районах; *в)* наличие и возможности практических и исследовательских средств для оптимизации природопользования; *г)* наличие натурной и лабораторно-экспериментальной информации о структуре и закономерностях развития береговой зоны моря.

Как можно себе представить, практическое применение теоретических разработок береговедения для застройки береговой зоны и применения морских гидротехнических сооружений было тесно связано с общим состоянием гидротехнического строительства в Море. В данном случае счастливо сочетались достижения развития науки и ее практическое применение, поскольку при этом практический опыт обогащал сложную береговедческую науку и опыт самого строительства в условиях динамичной «океанической зоны высоких энергий». Все упомянутые здесь и не упомянутые причины находятся в разных широтах, на берегах разных морей, под влиянием разнообразных физико-географических условий (Божич, Джунковский, 1949; Furmanchik, 1994). Приобретенный опыт хозяйственной застройки показал, что по своим особенностям морские порты чаще всего подразделяются на следующие группы:

- по назначению: на торговые, специализированные, промышленные, промысловые, военные, порты-убежища;
- по видам перерабатываемых грузов: на лесные, угольные, контейнерные, нефтяные, рудные, специальные;
- по месторасположению: континентальные, островные, устьевые, лиманные, фьордовые, шхерные, по расположению на изрезанных бухтовых берегах и выровненных прямых берегах, и проч.

- по видам влияния прибрежно-морских факторов: по влиянию илистых, песчаных и гравийно-галечных наносов, слабых и сильных волнений, бесприливных и приливных явлений, воздействию льдов и безледного режима и прочего.

В повседневной практике в береговой зоне возводятся различные сооружения: крупные, малые, поперечные, продольные, положительные, отрицательные, а также состоящие из разных материалов. В большинстве случаев их внешний вид, конструкция и местоположение противоречит особенностям природы того или иного участка береговой зоны, а потому представляет собой чуждый ей элемент, который самой природой активно отторгается, будучи неприемлемым. Это всегда ведет к значительному сокращению времени эксплуатации, по причине нанесения очевидного ущерба природе, либо путем разрушения самого сооружения, т.е. значительно растут эксплуатационные расходы.

В литературе (Айбулатов, 2005; Божич, Джунковский, 1949; Зенкович, 1962; Джунковский и др., 1967) широко известны случаи разрушения оградительных и обыкновенных молов, в пределах таких портов как: Алжир, Катания, Новороссийск, Лиссабон, Кочин, Мадрас. Другие порты подверглись заносимости, вплоть до выхода их из строя, как например: Цеара, Роя, Павилоста, Швентойи, Усть-Дунайск.

Строительные блоки и части, применяемые в портовом строительстве, используются также и в сооружениях другого назначения (надводные и подводные откосы, стенки, волноломы сплошные и прерывистые, портовые брекватеры и прочее), хотя они испытывались в гидравлической лаборатории в качестве деталей для подводных волноломов (Рис. 13). Разные типы блоков можно устанавливать в состав разных сооружений, как портовых и берегозащитных, так и других.

Например, сплошные четырехугольные блоки вполне подходят для вертикальных стенок оградительных волноломов или парных молов для защиты подходных каналов (на Рис. 13 в первых трех верхних рядах, крайние справа). Типичные вертикальные откосы неплохо себя оправдывают, скажем, для гравитационной причальной стенки единичного незащищенного мола или оградительного мола на значительной глубине.

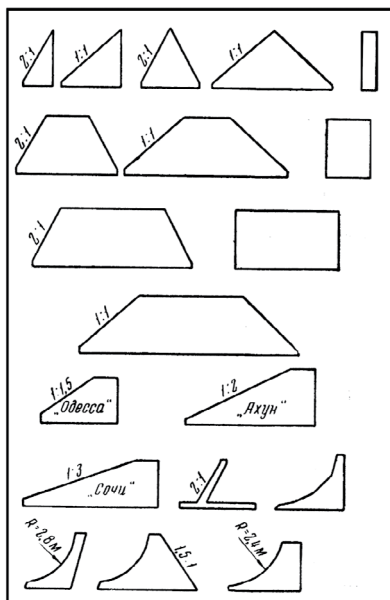


Рис. 13. Основные поперечные профили волноломов на морских берегах (Лызлов, 1961).

При взаимодействии такой стенки с волновым гребнем чаще всего волна отражается, но около 40% её энергии расходуется на образование придонного вихря с горизонтальной осью. Этот вихревой поток направляется к основанию стенки, вымывает шлейф наносов («наносную призму») и оголяет основание.

При отсутствии слоя наносов размыву подвергается либо прилегающее дно, либо само основание стенки. Этот подводный размыв может быть настолько велик, а основание стенки заглублено настолько мелко, что мол может опрокинуться, как это было в Алжире и Дурбане. В этой связи появился вывод, согласно которому требовалось погасить волновой вихрь как на берегу, так и на подводном склоне.

Как первый вариант, было решено сплошную стенку разделить на отдельные горизонтальные полки, каждая – параллельная горизонту.

Внутренняя часть волнолома оказывалась полой. Единый волновой поток разделялся по вертикали на рассредоточенные слабые отдельные потоки, происходило общее гашение волнового потока (Рис. 14а).

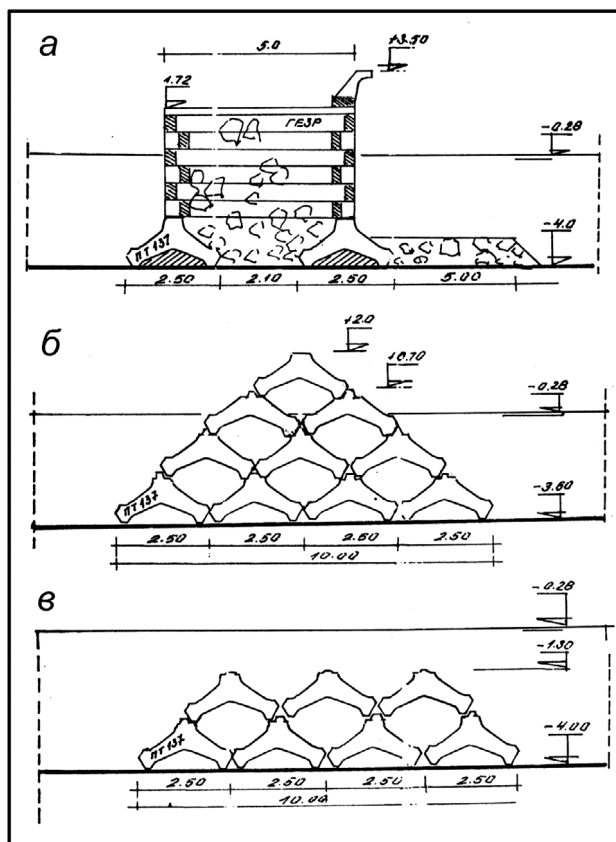


Рис. 14. Примеры использования «тристеней» для возведения волноломов в береговой зоне моря (Василев, 1991): а) «тристеней» как опора фундамента надводного волнолома с вертикальным откосом; б) надводный волнолом, гаситель волны, состоящий из отдельных «тристеней»; в) то же, подводный притопленный волнолом.

Чтобы еще больше снизить скорости пронизывающих потоков, внутренняя часть блока заполняется мелкокаменными обломками неправильной формы. Такая вертикальная стенка практически полностью гасит волновую энергию действующих волн, а «фильтрация» потока на каменных обломках исключает образования «вихря отражения». В итоге имеем эффективно действующий волнолом

(«breakwater») с вертикальными откосами, но без вихревого отражения разрушенной волны.

Ряд участков береговой зоны сложен малопрочными отложениями неоген-антропогенного возраста, а запасы наносов не могут накапливаться на берегу и подводном склоне по причине высокой гидродинамической активности на мелководье в сфере поступательных движений воды. В этих условиях ряд авторов (например, О. Горачек, Д. Фольдербрюк, В. Кнаупе, М. Сыбев, К. Хорикава, К. Кубота, З. Прушак, Н. Ван-Дримелен, Е. Масс, И. Кантаржи и др.) предлагают применение полусквозных конструкций в виде надводного и подводного волноломов. В обоих случаях главной составной частью Т. Василев, С. Стаматов, Г. Пырванов, Ф. Гинев предложили своеобразные детали, т.н. «трисцени», которые позволяют создавать «экологические модули» (Василев, 1991). Они могут быть собраны как надводный (Рис. 14 б), так и подводный (Рис. 14 в) волнолом на различных основаниях – на модулях типа «Н» и типа «И» (Маринов, 1990).

Установленные на таких модулях трисцени рассеивают волновой поток на отдельные импульсы, ослабляя наносодвижущую способность волны. Они показали себя положительно на гидравлической модели в волновом канале, где волновая проницаемость составила $\approx 0,55$. Механизм гашения волны в трисценях напоминает таковой в природном склоне кораллового рифа, который полно рассеивает длинную волну на очень крутых поперечных профилях, с очень высоким удельным расходом волновой энергии. Натурные испытания были выполнены в районах Каварна и Балчик, где лучше всего себя показали двухрядные проницаемые бунны и волноломы (Василев, 1991; Маринов, 1990). И хотя волногасящая и энерго-рассеивающая способность модулей типов «Н», «И», «Z» показала себя наиболее эффективно, тем не менее, основным недостатком оказалась хрупкость трисценей, особенно на берегах с галечно-гравийными наносами.

Под влиянием ударов гальки во время шторма, трисцени (Рис. 14 б и в) могут трескаться и быстро ломаться даже, будучи закрепленными на гравитационных модулях типа «Н». Поэтому они требуют

частого ремонта и дополнительного поддержания накопления пляжей. В отношении прочности более выгодно выглядят сплошные массивы, блоки бетонных и железобетонных форм с пологим мористым откосом, типа «Одесса», «Ахун» и «Сочи» (Рис. 13).

Волногасящий эффект подводных волноломов (Лызлов, 1961; Сокольников, 1976), независимо от силы штормового волнения, определяется заглублением гребня сооружения относительно среднего уровня моря. Как подчеркивают (Лызлов, 1961; Джунковский и др., 1967), наиболее сильное гашение волн достигается тогда, когда уровень моря совпадает с поверхностью волнолома. Уменьшение заглубления гребня подводного волнолома (сложен цельными блоками) вызывает увеличение высоты волны за счет ее отражения. Чем круче волна и чем меньше ее период, тем меньше влияет на эффект волногашения величина заглубления гребня волнолома.

Почти все типы волноломов вызывают местное повышение высоты волны перед сооружением за счет интерференции отраженных волн. С увеличением ширины поперечного сечения сплошных волноломов, при замене вертикальных стен крутыми откосами и при увеличении заглубления гребня, их защитные свойства в общем понижаются. Если волнолом удален от уреза морской воды менее, чем на 30 м, то в условиях береговой зоны Черного моря в заволноломном кармане возникает вертикальная циркуляция воды, направленная по ходу часовой стрелки. Иначе говоря, возникает поверхностное течение в сторону берега и донное противотечение в сторону волнолома. Эта циркуляция играет важную роль в водообмене заволноломного бассейна с морем и имеет важное экологическое значение. Постоянный приток массы воды, нагнетаемой отдельными волнами, обеспечивает более высокое положение уровня воды в заволноломной акватории. Это явление постоянно меняет режим влияния прибойного потока на пляж, способствует повышенной динамичности пляжа и тенденции к постепенному его размыву. Для исследованных искусственных пляжей с увеличением динамичности растут потери массы наносов. Постоянные инструментальные съемки ряда песчаных пляжей, огражденных траверсами по флангам и волноломами со стороны моря (в 60-80 м от уреза), в пределах Одесского

берего-защитного комплекса показали, что горизонтальные деформации ширины этих пляжей составляют обычно до $\pm 10-20$ м, бывает – больше (Shuisky, 1994, 2003; Шуйский, 2010). В общем это близко тому, что у естественных песчаных пляжей на пересыпях группы Тузловских лиманов (побережье Черного моря). Хотя при этом реальные потери массы пляжевого песка составляют 6-9% в среднем за год.

Такой вывод указывает на необходимость регулярной ежегодной подсыпки наносов в удерживающие бассейны, причем, в конце срока можно производить: а) одинарную подсыпку раз в году, б) двойную подсыпку раз в течение двух лет, в) тройную подсыпку раз в течение трех лет. В данном случае следует жестко соблюдать регулярность отсыпок наносов требуемой крупности и следить за состоянием волноломов, бун, траверсов и др. Особое наше замечание – регулярность должна быть построена не столько на календарном отсчете, сколько на отсчете погодно-волновом (гидродинамическом). При разрушении блоков волноломов, бун и траверсов на зазорах возможно резкое увеличение потерь песчаных пляжевых наносов – до 45% год, а в первую очередь – крупноалевритовых и мелкого песка. Как результат, уменьшается пригрузочная ценность искусственного пляжа на языке оползня.

Другая группа сооружений в виде берм (гравитационных) различных конструкций лучше всего себя показывает в условиях острого дефицита наносов, доминирования песчаных наносов, умеренно приглубого подводного склона, преобладания «нормальных» волнений, при требованиях сохранения стойкого статичного берега, сложенного коренными породами.

Бермы относятся к гравитационным волнозащитным сооружениям. Бывают: А – откосные сооружения и укрепления откосов; Б – продольные береговые стены; В – наносозадерживающие береговые дамбы. Особенно полезными бермы бывают при необходимости пригрузки языка оползня вдоль берега с абразионно-оползневыми клифами (Хомицкий, 1983; Шуйский, 2010). Бермы хорошо сочетаются с набережными, причалами, подпорными стенками. Конечно, фронтальный откос бермы, будучи относительно пологим, способствует некоторому гашению волны, однако, является пассивным защитным элементом и

не способствует накоплению наносов или их удержанию. Мало того, при условии значительной крутизны откоса обратный волноприбойный поток может быть в состоянии смыть в море остатки пляжевых наносов, которые сохранялись тогда еще, когда на берегу бермы не было. В качестве откосных сооружений могут применяться откосы ступенчатой формы, которые иногда могут неплохо себя показывать на галечных пляжах. Но при этом стенки, ступени и подпорные *«зубы откоса»* бомбардируются отдельными гальками и быстро выходят из строя. Поэтому требуется частый ремонт таких стенок.

Примером ступенчатого откоса может быть фронт набережной в Бердянске, берег Азовского моря, или мелкоступенчатый искусственный склон в районе пос. Береговое на западном берегу Крымского полуострова (см. далее § 8). В обоих примерах волнозащитные сооружения оказались неудачными по причине того, что не были учтены особенности абразионного процесса в береговой зоне вообще.

Чтобы избежать подобных последствий, многие участки берега, и не только Черного моря, стали укрепляться бермами, у которых на мористом откосе сделаны щели. Во время волнений, когда прибойный поток накатывается на щелевой откос, вода фильтруется вниз, на своеобразный наклонный «поддон». Он имеет скат в сторону моря. Поверхность ската может быть жесткой (бетонной, железобетонной, гладкой каменной укладкой), но может быть выложена наклонным к морю щебнем или мелкокаменной (щебневой) наброской. Поэтому по гладкой жесткой поверхности вода из щелей стекает обратно в море. Во втором случае вода фильтруется к подошве наброски, и также стекает в море навстречу прямому волновому потоку. Обе конструкции относятся к щелевым с обратным фильтром. Как будет видно далее (см. § 7), на примере ступенчатого откоса с обратным фильтром в районе пос. Береговое, данное сооружение может быстро разрушиться, хотя широкая берма со щелевым откосом на пересыпи Днестровского лимана (56-й км железной дороги Одесса-Измаил), существует уже 30 лет и аккуратно, надежно, долгое время выполняет волнозащитное назначение.

Нередко волнозащитные («волноотбойные») гравитационные сооружения устраиваются на скальной коренной породе или на специальном

искусственном основании. Они неплохо показывают себя против волнового подмыва. Для снижения волнового влияния в приустьевой полосе поперечному профилю бермы придаются плавные полого-криволинейные очертания. При этом верхней части криволинейного очертания придается форма волноотражателя, который отбрасывает в сторону моря основную массу морской воды. Как показано на Рис. 15 (Горюнов, Шихиева, 1970, с. 333), часто встречаются монолитные бутобетонные стенки с бетонным зубом (Рис. 15 а) и монолитные бетонные стенки на свайном основании (Рис. 15 б). Инструментальные длительные наблюдения за состоянием берега вокруг берегозащитных гравитационных стенок убедили в наибольшей надежности стенок с волновыми отражателями на приглубых берегах, с галечными наносами.

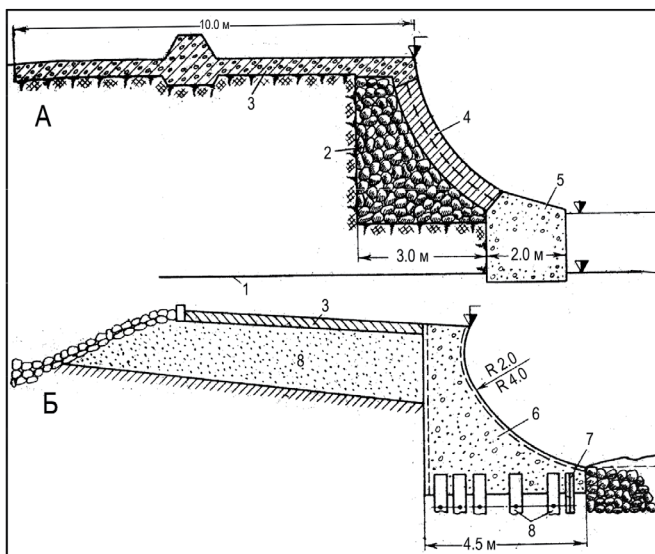


Рис. 15. Берегозащитные стенки разных типов: А – монолитная бутобетонная стенка с зубом; Б – монолитная бетонная стенка на свайном основании. Цифрами показаны: 1 – скальное основание; 2 – бутобетонная стенка; 3 – бетонное покрытие; 4 – облицовка стенки из высокопрочного бетона и натурального камня; 5 – монолитный бетонный зуб; 6 – монолитная бетонная стенка; 7 – шпунт; 8 – свайное основание (Горюнов, Шихиева, 1970).

Применяемые облицовки рекомендуется изготавливать из особенно прочного бетона, для сопротивления ударам гальки во время сильных штормов. Железобетонные шпунты из высокопрочного бетона значительно лучше сопротивляются истирающему влиянию движущейся гальки, по сравнению с металлическими шпунтами. Нет особого смысла применять такие гравитационные стенки на отмелях берегах, в частности, при этом волновой отражатель не нужен и требуются более длинные сваи. Обратный прибойный поток в состоянии размыть песчаный пляж и поддерживать абразивный эффект в области подножья стенки.

В связи с интенсивным исследованием абразионно-оползневых явлений на морских берегах серьезное внимание было уделено регулированию внутренних нагрузок в оползневом склоне, а берегозащитные стенки должны иметь застенные дренажи и устройства для отвода воды. При этом обычно исходят из классического правила о том, что оползневой процесс на морском берегу обеспечивается в общем на 60% действием волновой (гидрогенной) абразии, на 30% геологическим строением берегового склона и на 20% влиянием водонасыщения осадочных пород и подземных вод внутри склона. Горизонтальное залегание относительно малопрочных осадочных пород обеспечивает разрушение волнами подножья клифа (вместе с прилегающим дном) с высокими скоростями, и в итоге склон быстро становится крутым. В итоге усиливается влияние силы тяжести, а склон становится неустойчивым. Если в это время по какой-либо причине происходит водонасыщение осадочных толщ и увлажняются поверхности скольжения между слоями, то откалываются блоки породы, образуя при этом оползневые террасы (Зелинский и др., 1993; Черкез, Мелконян, 2009).

На схеме Рис. 16 видно, что масса **b** значительно превышает массу **a**, а потому увлажнение контактных прослоев на водоупорах обеспечивают глубоко залегающую подвижку по поверхности скольжения **d**, если высота клифа составляет больше 25-30 м. В результате такого механизма оползневой подвижки происходит выдавливание массы грунта на подводном склоне в зоне **a**.

Это ведет к появлению на подводном склоне валов выпирания в 20-70 м от береговой линии, на «языке оползня», причем,

одновременно сильно разрыхляется и водонасыщается грунтовая масса. После этого нужно всего лишь несколько штормов, чтобы размывать грунтовую линзу на языке оползня и приступить к следующей оползневой подвижке. Конечно же при этом требуется отдельный (индивидуальный) подход и другие схемы защиты берега и сохранения защитного сооружения, согласно закону географической локальности.

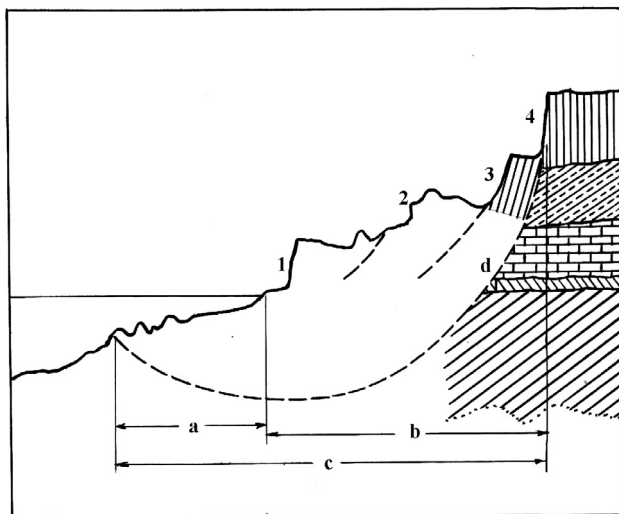


Рис. 16. Элементы классического оползневого склона глубокого заложения: *a* – подводный «язык оползня»; *b* – абразионно-оползневой террасированный клиф; *c* – полная длина прибрежно-морского оползневого склона; *d* – генеральная поверхность скольжения; 1, 2, 3 – оползневые террасы; 4 – верхняя поверхность начального откола блоков породы.

Важно, что абразия подножья склона продолжается, она действует непрерывно, в отличие от процессов водонасыщения. Поэтому предотвратить оползни и потери береговой территории чаще всего можно с помощью защиты от абразии подножья склона (Shuisky, Schwartz, 1988; Shuisky, 1994; Шуйский, 2010). Свободные незакрепленные пляжи, отдельные короткие буны, ряжи, единичные бермы

и т.п. проблему не решают, эти сооружения не могут противостоять оползням глубокого заложения. Они ломаются, дробятся, перемещаются вместе с грунтовой массой (Зелинский и др., 1993). При этом авторы данной цитированной монографии приводят метод расчета усилий глубокого оползня, можно рассчитать численно противостоящее усилие, которое может противостоять развитию оползневой подвижке (Рис. 16).

В качестве одного из эффективных методов защиты абразионно-оползневого берега является различная форма поперечного профиля. Ряд авторов (Хомицкий, 1983; Сафьянов, 1987; Зелинский и др., 1993) рекомендует срезку верхней части глинистого клифа, полное выполаживание абразионного склона до значений 35-45° относительно уровня моря. Срезанный грунт следует складывать у подножья клифа в виде пригрузочной террасы на поверхности языка оползня. Эта методика получила большую прессу, в том числе и в научных изданиях. Однако, тщательные наблюдения показали, что рыхлая глинистая терраса быстро размывается, в течение 2-4 лет, и при этом верхняя бровка склона отодвигается в сторону суши на значительное расстояние (зависит от высоты склона), теряется береговая территория. Быстрая волновая переработка террасы ведет к возобновлению абразии клифа у его подножья. Поскольку волновой режим (и гидрогенный в целом) существенных, коренных изменений во времени обычно не испытывает, то возобновление разрушения клифа ведет к повышенным скоростям абразии у подножья под влиянием уменьшения высоты клифа и, соответственно, – массы грунта в волновой переработке. Здесь высота и масса породы минимальны, а при сохранении высокого энергетического потенциала береговой зоны скорости абразии оказываются намного больше, чем до выполаживания. С учетом гранулометрического состава глинистых и истирания скальных пород в составе оползневых склонов, усиление скоростей абразии не приводит к насыщению береговой зоны пляжеобразующими наносами, и острый их дефицит сохраняется, подчас – надолго.

В итоге применение выполаживания абразионно-оползневых и абразионно-обвальных клифов как метод борьбы с их разрушением в

бóльшей мере вреден, чем полезен. Это заставило прибегнуть к применению ступенчатой формы поверхности клифа, с одновременным водоотведением поверхностных и подземных вод, с возведением подпорной стенки, массивной бермы и отсыпки искусственного пляжа у подножья склона и на языке оползня (Рис. 17). Пляж и стенка не допускают волнового размыва подножья склона, а вместе с бермой они оказывают пригрузку на языке оползня и не допускают подвижку всего оползневого блока с (Рис. 16). Следовательно, у оползневых клифов пригрузочное значение имеют искусственные грунтовые террасы, берма, искусственный пляж, траверсы и подводные волноломы (Шуйский, Выхованец, 1989; Шуйский, 1996, 2010), в отличие от других типов клифов. Искусственные террасы целесообразно озеленять и использовать для малых архитектурных форм (Рис. 17).

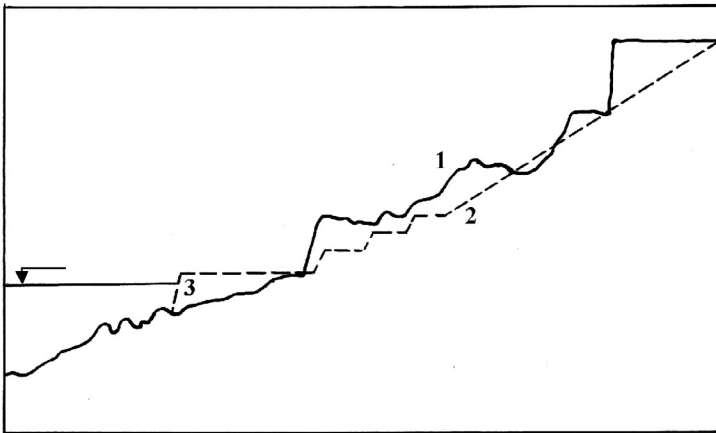


Рис. 17. Сравнение формы поперечных береговых профилей естественного (1) и искусственно преобразованного (2) оползневых склонов; 3 – искусственный профиль выположен для уменьшения внутренних механических напряжений в склоне и роста его устойчивости (в нижней части профиль террасирован).

В последние годы все чаще применяются прерывистые фигурные бермы, как искусственный аналог извилистого морского берега. Считается (Сокольников, 1970, 1976; Пешков, 1989), что в

условиях острого дефицита наносов между отдельными выступами гравитационных берм станут накапливаться пляжи, а выступы будут разбивать волны. Такое сооружение было построено на берегу Финского залива (Россия), на берегу Персидского залива (Бахрейн), в районе Агадира (Марокко) и проч., где удерживались наносы в пляжевых накоплениях. В районе Очакова (северный берег Черного моря) на абразионно-обвальном берегу этим сооружением (Рис. 18) был защищен активный глинистый клиф (средняя скорость абразии $1,3 \text{ м/год}$), высотой до 20 м . Оно предотвратило разрушение берега на фронте около 450 м . Слева и справа берег продолжал разрушаться, что в конечном итоге стало негативно сказываться и на сооружении.

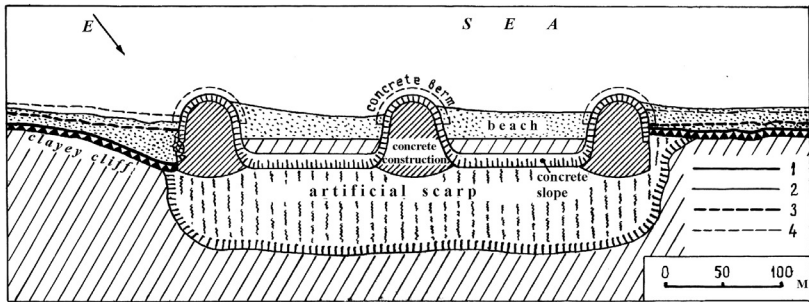


Рис. 18. Прерывистые фигурные бермы и пляжи между ними для защиты глинистого абразионно-обвального берега в районе Очакова (Черное море). 1 – верхняя кромка клифа после постройки сооружения; 2 – береговая линия после постройки сооружения; 3 – верхняя кромка клифа до постройки сооружения; 4 – береговая линия до постройки сооружения.

К сожалению, это один из главнейших недостатков подобного размещения берегозащитного сооружения. На участке его расположения берег был выположен в расчете на то, что грунтовая масса будет отмыта морскими волнами и даст дополнительное количество наносов. Но это глинистый грунт, может дать всего лишь до 10-15% алевритовых и песчаных фракций. Именно поэтому, в течение года, весь материал, за счет действия вдольберегового потока наносов, был удален на участок разгрузки, а соответствующего естествен-

ного питания не оказалось. Поэтому в конечном итоге эрозионный смыв срезанной поверхности («*artificial scarp*») стал источником заиливания пляжа. Вогнутости контура берега характеризуются очень большим радиусом, а это не позволяет волновому потоку потерять сильную наносодвижущую способность (Рис. 18). Но одновременно размеры вогнутостей позволяют прибойному потоку закачивать в них воду, возвышаться нагонному уровню над ординаром и усиливаться обратному волновому потоку в сторону моря. Тем более, что глинистый выположенный склон защищен бетонным откосом. Во время шторма при нагоне откос дает сильный обратный поток, который размывает далее и без того худосочные пляжи. Их ширина хоть и может быть около 45 м, но мощность слоя наносов не превышает 0,25 м. Поэтому волногасящее свойство таких пляжей совершенно невелико (Пешков, 2005; Шуйский, 2010).

Таким образом, несмотря на сложность берегозащитных фигурных берм, сопряженных с пляжами, они не проявили наносонакопления и не смогли удерживать пляжевые наносы в вогнутостях искусственного берега. Поэтому их защитная роль ограничилась обычными пассивными свойствами, но с неоправданно высокой стоимостью строительства. С этим можно было бы как-то смириться, но вот одновременно сильно возросла стоимость эксплуатации данного, вроде бы прогрессивного, берегозащитного сооружения.

Гравитационные бермы нередко служат в качестве оснований или основного элемента набережных в крупных населенных пунктах. В большинстве случаев они сохраняют ценную городскую территорию, памятники истории, архитектуры и природы на морском берегу. Подобные сооружения встречаются в Монако, в Дакаре, в Монтевидео, Гаване, Кейптауне, Порт-Элизабете, Абердине, Порту и прочих приморских городах.

В некоторых случаях, подножья берм, вертикальных, ступенчатых и откосных, усиливаются наброской фасонными блоками и массивами (Рис. 19). При нарушениях технологии и недооценке природы береговой зоны, такие бермы могут быстро разрушаться, как например произошло в Евпатории на побережье Черного моря и в Бердянске на побережье Азовского моря.

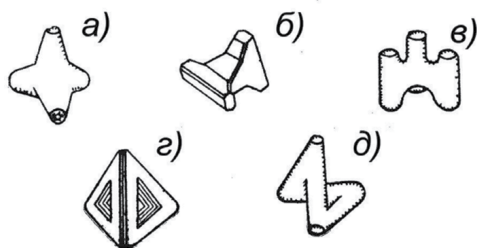


Рис. 19. Виды фигурных массивов для создания волногасящих откосов: а) тетрапод; б) дипод; в) трибар; г) холоублок; д) стабит.

В зависимости от целей и задач берегозащиты, природных характеристик береговой зоны, конструкции защитного сооружения и других причин выбирается тот или иной вид фигурных массивов, для усиления защитной способности мола, а особенно – его подножья. Часто применяют некондиционные обломки рваного скального камня. Например, вдоль оградительного портового мола и набережной Гаваны (Куба) защитную роль играет как каменная наброска, так и барьер из тетраподов и диподов. Аналогичное усиление применено с внешней стороны молв порта Туапсе, порта Лагос, портов Констанца, Батуми, Лиепая, Момбаса, Генуя.

Мелкую каменную наброску применяют также и для ограждения бун, чаще всего на их дистальной оконечности, где максимально сильно действует прибойный поток, а также в качестве заполнителя в теле буны между двумя шпунтовыми рядами. Неплохой результат дает усиление защиты фигурными массивами вдоль вертикальных стенок (Рис. 2 а, б, г, д), как например между Туапсе и Сочи на побережье Кавказа.

Применение набросок разных форм и типов, может нести и негативные последствия. Так, если их применять на поверхности глинистых пород или толщ песчаных и галечных отложений, то узости между отдельными блоками приводят к значительному усилению скоростей волновых течений, особенно – прибойного потока. Происходит усиление размывающей способности волн, которая может вывести из строя все защитное сооружение в целом (см. § 7). Бывает, что фигурные массивы подвергаются процессам выветривания и быстро (в течение до 5-6 лет) дробятся, раскалываются, разрушаются. Особенно четко усиление скоростей течений между блоками

и фигурными массивами наблюдается на аккумулятивных формах прибрежно-морского рельефа. В целом различные наброски показывают себя полезно и эффективно на оградительных молах морских портов, где большие глубины, обычно > 10 м. Все эти гидротехнические элементы благоприятствуют полному разрушению волны, при сильном действии прибоя (Рис. 20). А поэтому они надежно защищают портовые молы от волновой деструкции в условиях повышенных глубин у входа в порт и усиленного действия волн.

Прерывистые волноломы (Сокольников, 1967, 1970, 1976; Горюнов, Шихиев, 1970; Пешков, 2003) стали широко применяться не столь уж давно.



Рис. 20. Пример защиты внешнего мола и акватории порта Вентспилс (Балтийское море), внешний мол укрепленный фигурными массивами (тетраподы, трибары, стабиты); глубина вблизи маяка до 15 м.

Они перешли в категорию надежных и эффективных после исследований В. П. Зенковича, М. М. Ермолаева, В. И. Лымарева, Дж. Норманна. Эти авторы представили достоверные материалы по динамике отдельных островов, одна сторона которых подвержена

сильной абразии, а тыльная сторона находится в волновой тени, а ширины островов достаточно для возникновения наволоков (Зенкович, 1962). После этого (или одновременно) стали сознательно использовать искусственные препятствия, в волновой тени которых могли возникнуть широкие пляжи или сплошные томболо преимущественно в течение 50-60-х годов в Италии, Испании, Дании, Японии, США, Израиле. Описания отдельных прерывистых укреплений и вариантов берегозащиты находим в работах Дэлли и Поупа, Н. Тойяшимы, И. Фрида, Р. Сильвестера, К. Хорикавы, Д. М. Сенсини, Ф. Т. Индозера, П. Л. Аминти, А. Н. Гербиха и большого ряда других исследователей.

Для дальнейшего развития вопроса Ю. П. Сокольников (Сокольников, 1967) выполнил специальное комплексное исследование «прерывистого укрепления берегов» в береговой зоне, с учетом основных иностранных разработок (Horikawa, 1978, 1988; Пешков, 1989, 2005; Dean et al., 1997; Aminti, 2003). При этом в основу было положено овладение «управлением» вдольбереговыми потоками наносов или плановым развитием морского берега при минимальных материальных затратах. Как считает автор цитированной работы, роль берегозащитных сооружений состоит не в гашении энергии волн, а в направлении их энергии в создание защищающих берег аккумулятивных форм или выработку других устойчивых форм берега (Сокольников, 1976). При этом неясно, как без гашения волновой энергии добиться создания аккумулятивных форм, да еще и устойчивых, способных защитить берег от абразии на опасном участке.

В развитие этой темы Ю. Н. Сокольников (Сокольников, 1970) публикует монографию о прерывистых волноломах и других подобных сооружениях. В своей книге он предлагает несколько вариантов использования прерывистых волноломов, в том числе и при строительстве искусственных песчаных островов, которые были позже применены в Бахрейне, Катаре, Сингапуре, Гонконге (Рис. 21).

С другой стороны, появляются новые данные других авторов с предложением проектов разных прерывистых волноломов: а) по длине; б) по форме поперечного разреза; в) по глубине подтопления; г) по расстоянию от берега и глубине расположения; д) по составу материала, которым сложен волнолом; е) по количеству и экспозиции

отдельных звеньев прерывистого волнолома и других признаков. Во время освоения низких болотистых островов в Сингапуре были использованы отдельные звенья прерывистого волнолома и набросные стенки. Как видим, прерывистая волноломная берегозащита позволяет даже наращивать площадь морского берега и обеспечивать его сохранность в течение долгого времени.

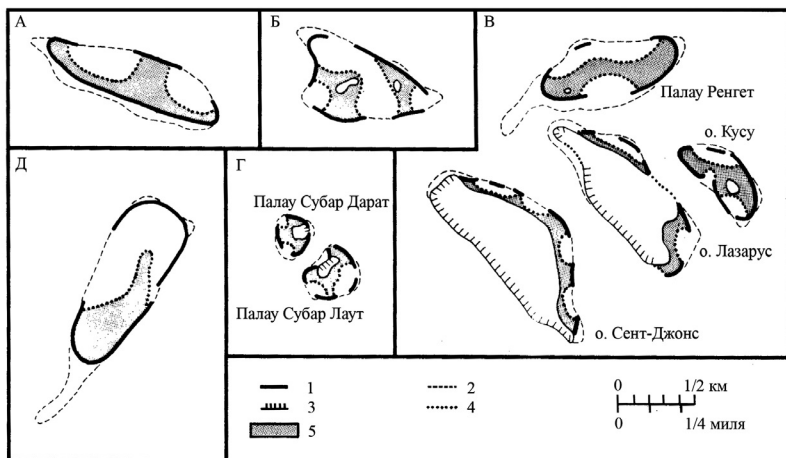


Рис. 21. Варианты защиты от волнового размыва малых искусственных и естественных островов разных размеров и конфигурации. Условные обозначения: 1 – каменные набережные и дамбы; 2 – внешняя кромка кораллового рифа; 3 – клифы и обрывы; 4 – песчаный берег; 5 – восстановленные части островов. Названия островов: А – Терумбу Ретан Лаут; Б – Пулау Ханту; Д – Буран Дарат. Названия остальных островов подписаны (Wong, 1985).

Стало ясно, что каждый вариант прерывистой волноломной защиты имеет свои «точки приложения», участки природной береговой зоны с максимальной степенью гармонизации со стороны защитной конструкции. Используя теорию инженерной морфодинамики берегов (Сокольников, 1970, 1976; Хомицкий, 1983; Horikawa, 1988; Shuisky, 1994), ряд авторов предложил варианты различного расположения «блокирующего элемента», того или иного звена волнолома. В своей

монографии В. М. Пешков (Пешков, 2005) приводит эти различные варианты расположения тех или иных звеньев (Рис. 22).

Уже беглый взгляд на представленную схему показал возможное соответствие видов искусственных прерывистых волноломов разнообразию физико-географических условий береговой зоны. Как раз комбинация подобных вариантов позволяет осваивать низкие и островные территории, типа тех, которые показаны на Рис. 21.

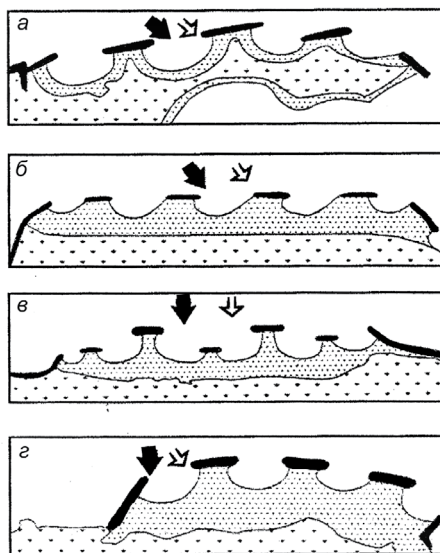


Рис. 22. Различные типы прерывистых берегозащитных сооружений на берегах с умеренным волновым режимом. Черная стрелка – резуль- тативный вектор действия больших штормовых волн, белая стрелка – равнодействующий вектор ветро-волнового режима (Пешков, 2005): а – разноэкспонированные звенья волноломов после образования томболо начинают «работать» как Т-образные буны; б – результат нарастания пляжа в тылу у прерывистого волнолома; в – разноудаленные звенья прерывистого волнолома и их томболо; г – равноудаленный волнолом под прикрытием двух шпор и сохраняемый пляж.

Можно видеть, что на одних участках морского берега отдельные звенья волнолома могут «работать» подобно Т-образным

бунам (см. § 7), но для этого необходимы нужные запасы наносов в береговой зоне и обеспечение достаточно крупных пляжей по дальнейшей трассе вдольберегового потока наносов, слева направо на Рис. 22а. В данном случае в защите от размыва нуждается форма из класса «свободных». В вариантах, а – в действует вдольбереговой поток наносов в направлении слева направо (см. направление стрелок). Здесь, как обычно, требуется соответствующая информация о разных элементах, составных частях береговой зоны, согласно закону географической локальности. На других участках морского берега позитивно сказывается именно свойство прерывистости. Этот вариант Рис. 22б чаще всего рассчитывается на удержание искусственных отсыпок пляжевых наносов, а звенья прерывистого волнолома способствуют удержанию нужной части таких отсыпок. В этой связи не исключается использование данного варианта в условиях дефицита наносов. На третьих участках неплохо «работают» разноудаленные от берега звенья (Рис. 22в), особенно, если их вписать в строение прибрежного рельефа. При этом более выдвинутые звенья волнолома устанавливаются по отрицательным элементам, а менее выдвинутые – по положительным, и следует стараться установить основания всех звеньев на аналогичной глубине. Это позволит регулировать наносодвижущую способность волнового потока дополнительно сохранять пляжевые наносы. Для повышения эффективности варианта в возможно применение оградительных шпор по флангам, как например, это применяется на Мальдивах, в Кувейте, Дании, США, на Фризских островах.

Еще один вариант на Рис. 22г является в общем точечным, с небольшим числом звеньев, но под прикрытием подводных волноломов и двух боковых шпор. Для всех вариантов актуальными являются схемы движения морской воды на прилегающей акватории в случаях применения продольных, поперечных и каменно-набросных сооружений, с искусственными пляжами, подводными волноломами или без них. Обязателен расчет мощности и емкости вдольбереговых потоков наносов.

В Мире существует несколько научно-технических центров, в которых ведутся масштабные исследовательские работы по

конструированию эффективных портовых, берегозащитных, навигационных сооружений и их гармонической эксплуатации в береговой зоне моря. Прежде всего следует назвать Лабораторию в Дельфте (Нидерланды), Лондонский морской гидротехнический центр (Великобритания), Институт Водного строительства в Гданьске (Польша), Институт Исследования берегов и устьев рек в Шанхае (КНР), Технологическую Лабораторию в Университете Цукуба в Токио (Япония) и др. Более 70 лет существует и успешно работает Научно-исследовательский центр «Морские берега» им. А. М. Жданова в Сочи (Россия), который владеет несколькими штормовыми бассейнами, два из них – «глубокие».

Вместе с новейшими лабораториями дистанционного управления, этот НИЦ может решать сложнейшие гидродинамические, литодинамические, морфодинамические задачи. Так, никогда еще для морей Европы не выполнялись исследовательские работы по гидравлическому моделированию прерывистого волнолома, который аккумуляровал и удерживал бы ракушечные наносы (при значительной крутизне подводного склона и действии крутых и коротких волн) на пляжах Северного берега Азовского моря в районе морского порта Бердянск (Бердянская коса); это эффективный пример полезного сотрудничества научных центров Украины и России (Рис. 23).

Основные варианты и комплексы берегозащиты и «берегового дизайна», в основе которых лежит принцип прерывистого крепления морских берегов, привел к разработкам и обоснованию теории инженерной морфодинамики берегов. В этом направлении наиболее широкую мировую известность приобрел исследовательский Центр в Институте Гидромеханики Академии наук Украинской ССР (сегодня ИГМ НАНУ, г. Киев) под руководством академика Пышкина Б. А.

В своих работах В. П. Зенкович и Б. А. Пышкин пришли к мысли о рациональности подражания морфологии и динамике песчаных и других легкоразмываемых осадочных пород в береговой зоне. В течение длительного волнового влияния такие берега имеют тенденцию к выработке рельефных форм динамического равновесия с действующим фактором. Эти формы, достигнув относительного равновесия, гасят волновую энергию и не испытывают прогрессирующего разрушения.



Рис. 23. Во время гидравлического моделирования прерывистой берегозащиты (в основном с ракушечными наносами) в глубоком бассейне Научно-исследовательского Центра им. А. М. Жданова (г. Сочи, Краснодарский край, РФ), октябрь 2001 г. *Слева:* Шахин Владимир Михайлович, д. ф.-м. н., главный научный сотрудник, директор Центра; *справа:* Шуйский Юрий Дмитриевич, д.г.н., профессор, заведующий кафедрой Одесского национального университета им. И. И. Мечникова (Украина).

Развивается своеобразная «самозащита» берегов, согласно географическому «закону саморазвития». Для берегов характерны процессы выравнивания и расчленения, регулирование распределения наносов, локализация абразионных и аккумулятивных форм, создание напряженного энергетического поля.

Поэтому возникла мысль создавать такие формы рельефа искусственно, из искусственных материалов. Встречая их на своем пути, волны затухают, рассредотачиваются, теряют свою энергию, а переносимые наносы остаются в виде защитных пляжей. Такие представления позволили разработать новое направление в береговедении – об инженерной морфодинамике береговой зоны. Она позволяет выработать мероприятия, которые обеспечивают относительную стабильность морского берега (Сокольников, 1970, 1976; Хомицкий, 1983 Пешков, 2005).

В Институте Гидромеханики НАН Украины сформировался продуктивный творческий коллектив, давший Миру ценную теорию и практику защиты берегов морей и водохранилищ от разрушения. В их числе В. Л. Максимчук, Е. С. Цайтц, В. Н. Сидорчук, С. В. Русаков, Е. Г. Горбатенко, В. И. Вечорек, А. Онуфриенко и другие. В 70-е годы XX века Киевский центр становится ведущим специализированным учреждением в странах СЭВ и школой нового направления в морской гидротехнике.

По аналогии с природными прибрежно-морскими условиями, кроме волноломов и их прерывистого варианта, сотрудники ИГМ НАНУ рекомендовали волнолом-косу, подводные валы разных типов, вогнутые бухты, террасы во входящих углах и переиры разных типов, гирляндные дамбы, банкетты из горной массы и др. (Сокольников, 1970, 1976; Хомицкий, 1983). Обращают на себя внимание усовершенствования пневматических волноломов, примененных как в море, так на водохранилищах (Рис. 24). Значения $h_{исх}$ и h после рабочего сектора $A-B$ существенно различаются и показывают эффективность данного волнолома. Этот тип волнолома широкого распространения не получил.

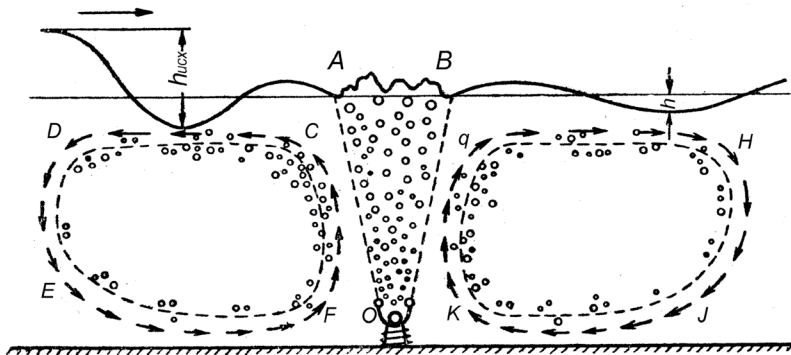


Рис. 24. Общая схема работы пневматического волнолома: OAB – водовоздушный факел; $CDEF$ – циркуляция, направленная навстречу волнам; $qHJK$ – циркуляция, направленная в сторону распространения волн; $h_{исх}$ – высота волны до встречи волнолома; h – высота волны после прохождения волнолома (по исследованиям В. С. Христофорова и Е. Г. Горбатенко).

Эти формы-аналоги вызывают огромный интерес в других странах, в частности в США, Италии и Голландии (Walker, 1988; Aminti, 2003). Ряд авторов (Bruun, 1963; Horikawa, 1978; Леонтьев, 1989, 2001; Mory, Hamm, 1995; Pruzsak, 2003) исследует динамику вод и наносов в области влияния сооружения для достоверных оценок распределения наносов вокруг или в составе соответствующих сооружений. Обобщение натуральных и лабораторных наблюдений, собственных и других авторов, позволило установить закономерности горизонтальной циркуляции воды в окрестностях единичной буны и нескольких бун, в условиях нормального волнового потока и действующего под острым углом по отношению к линии берега (Рис. 25).

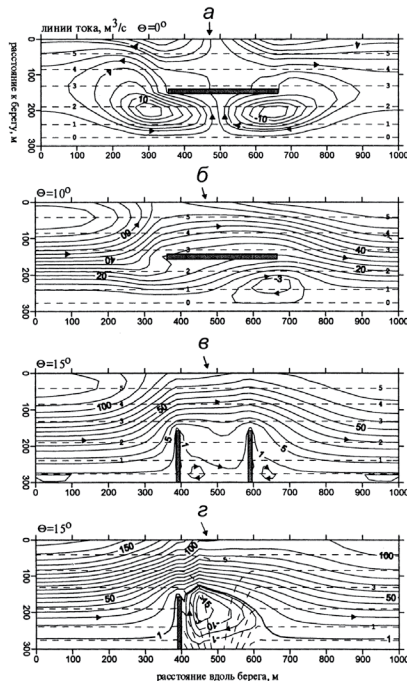


Рис. 25. Горизонтальная циркуляция морской воды в окрестностях единичного волнолома при действии ветровых волн по нормали (а) и при подходе к берегу под острым углом (б); циркуляция воды вокруг бун при действии волн под острым углом в условиях нескольких бун (в) и единичной буны (г) (Леонтьев, 2001).

Единичное звено прерывистого волнолома под влиянием нормального волнения (Рис. 25а) отбрасывает на береговую линию широкую «волновую тень». В этих условиях процессы рефракции приводят к гашению волновой энергии у отдельного звена волнолома с его двух противоположенных оконечностей. Только по центру его тыльной стороны локализуется очаг («тень») минимальной наносодвижущей способности волнового потока. В этих условиях непрерывность вдольберегового потока наносов ведет к накоплению наносов в виде томболо, т.е. к увеличению ширины и толщины пляжа. Томболо приобретает плановую форму, близкую симметричной, когда длина наветренного и подветренного берега примерно одинаковы. Во время действия волнения под острым углом по отношению к береговой линии очаг «волновой тени» смещается к противоположному флангу единичного волнолома, а томболо приобретает удлиненный наветренный берег и укороченный подветренный берег.

Под влиянием нескольких бун подряд (например, Рис. 1 и 11) образуется две вдольбереговых полосы волновых течений: а) упорядоченная равномерная, с повышенной мощностью волнового поля, шириной до 300 м, и б) прибрежная с пониженной мощностью и неупорядоченным движением воды между отдельными бунами, заметным влиянием сгонно-нагонных явлений. Такая ситуация порождает размыв песчаных межбунных пляжей и повышенную интенсивность истирания наносов (Жданов и др., 1952; Кикнадзе и др., 1989; Пешков, 1989, 2005). Она не является оптимальной, положительной. К тому же опыт строительства и эксплуатации морских бун показал (Гамаженко, 1956; Кнапс, 1960; Aminti, 2003; Pruzsak, 2003) необходимость соблюдения их оптимальных размеров: длины, расстояния между бунами, эффективного угла экспозиции по отношению к результирующему вектору ветро-волновой энергии. И хотя четко видно существенное падение напряженности волнового поля в среде нахождения сетки бун, но усиление динамичности воды требует более подробных изысканий в данном случае (Рис. 25в).

Наконец, Рис. 25г показывает токи воды в условиях действия волн под острым углом к общему направлению песчаной береговой линии. Эта ситуация аналогична ситуации с движением волн,

показанной на Рис. 11. Хотя гребни волн в общем и изгибаются под влиянием рефракции, но при наличии бун (поперечных сооружений) подветренная сторона является «затишной», находится в волновой тени, а наветренная – в зоне ветрового нагона, прямого действия волн и нагонного роста уровня, повышенного волнового влияния и размыва песчаного пляжа. Поэтому в наветренном входящем углу размеры пляжа окажутся меньше, чем в подветренном углу. По мере увеличения длины буны и достижения ее оголовком глубин далее полосы забурунивания, за линию забурунивания в сторону открытого моря, ситуация выправится за счет роста размеров наветренного входящего угла и уменьшения размеров подветренного входящего угла (Кнапс, 1960; Shuisky, 1994, 2010; Пешков, 2005).

Применение искусственных берегозащитных форм-аналогов дали определенные положительные результаты. Главное, – они положили начало совершенно иному ходу мышления о взаимовлиянии природы береговой зоны и искусственной (гидротехнической) формы рельефа. Но при этом следует учитывать, что искусственные аналоги – сооружения для защиты морских берегов представляют собой жесткие изделия из бетона, железобетона, металла, каменных деталей и т.п. (Сокольников, 1970, 1976; Хомицкий, 1983). Чем более прочными, стойкими и долговечными они являются, тем более эффективными они считаются. В то же время, согласно натурным наблюдениям, естественные равновесные формы рельефа в береговой зоне потому оказались стойкими и равновесными, потому что являются изменчивыми, эластичными, постоянно переходящими во все новые и новые состояния в каждый последующий период в энергетическом поле морских волн (Шуйский, Выхованец 1997, 2010). Такая цепь смены форм непрерывна и неуклонна вслед за соответствующими изменениями окружающих физико-географических условий и смежных природных систем разного уровня организации. Соответствующее перераспределение усилий, влияющих на сооружение, работает в деструктивном направлении, расшатывая жесткое гидротехническое сооружение, рассчитанное на абсолютные неизменения. А опыт эксплуатации подобных защитных форм-аналогов (например, Рис. 18, 21) показал их принципиальные

недостатки, в основном –отсутствие эффекта постепенной («мягкой») диссипации волновой энергии до состояния полного гашения морских волн. Поэтому сегодня искусственные формы-аналоги естественных форм должны определяться и проектироваться в каждом конкретном случае, на каждом участке береговой зоны, для заданного промежутка времени и класса капитальности, соответственно. Это значит, что для успешной и эффективной работы данного типа берегозащиты необходимо обязательное согласование с положениями закона географической локальности.

Большую известность приобрел опыт создания искусственных форм рельефа в качестве средств берегозащиты от разрушения берегов Черного моря в пределах Грузии (Кикнадзе и др., 1989; Кикнадзе, 1991; Каплин и др., 1997). Проблема обострилась в связи с тем, что $\approx 60\%$ длины морских берегов Грузии (183 км из 312 км) были подвержены различным видам разрушения, в основном – волновым и оползневым.

На основании учения о развитии береговой зоны моря была разработана программа, которая соответствовала физико-географическим условиям морского побережья в Грузии, каждому элементу и компоненту морского побережья Грузии (Кикнадзе и др., 1989). Для каждого отдельного берегового района, с учетом комплекса его физико-географических условий, разрабатывается долгосрочная программа планируемых объемов и видов практических мероприятий, дифференцированных во времени и в пространстве. При этом они систематически корректируются по результатам текущих инструментальных наблюдений, которые устанавливают не только фактические натурные изменения береговой зоны, но и степень соответствия намечаемых наукой и фактически реализуемых берегозащитных мероприятий, и их эффективности. Ее основной задачей было применение не искусственных материалов и изделий из них, а естественных, безопасных для качества прибрежных вод, для сохранения вод от загрязняющих веществ (Кикнадзе и др., 1989; Шуйский, 1990, 1996). Здесь четко просматривается принцип реальной непохожести отдельных береговых участков между собой по показателям исходного расчленения рельефа, геологического строения,

запасов и расхода наносов, волнового режима, колебаний уровня, интенсивности и типа выветривания и проч. Потому и выработывались отдельные схемы берегозащиты для каждого из участков.

Ранее такой принцип был разработан при проектировании Одесского противооползневой и берегозащитного комплекса в период 50-х годов XX столетия, когда были составлены отдельные проекты для каждого из 11 участков. Этот принцип лег в основу обоснования закона географической локальности в береговедении (Шуйский, 2001, 2018).

При этом важно учитывать, что больше половины побережья Грузии являются горными, со сложным рельефом. Высокая влажность и большое количество атмосферных осадков ($> 1500 \text{ мм/год}$) привели к сильному поверхностному стоку с крутых Кавказских гор по балкам и речным долинам. Поэтому на приморской равнине происходит интенсивное накопление аллювиального и делювиального обломочного материала. Причем, важно, что такой материал имеет пестрый спектр механического состава – материал содержит все фракции в большом количестве, и его запасы постоянно пополняются. Он поступает в береговую зону моря, к базису эрозии, там перерабатывается волнами и превращается в наносы. Часть наносов, после прохождения механической дифференциации, сбрасывается по подводным каньонам к подножью континентального склона и на глубоководную равнину (Жданов и др., 1952; Айбулатов, 2005). В условиях крутого подводного склона ($i_{10} \geq 0,04$) и сильного волнового влияния ($W_e \leq 3,5 \text{ т/м}^2$) могут формироваться крупные галечно-гравийные пляжи (Зенкович, 1956, 1958; Жданов, 1958). В естественных условиях размеры пляжей на берегах Грузии, бывало, достигали более $100 \text{ м}^3/\text{м}$, при ширине их надводной части до 60-70 м.

Этот естественный процесс-аналог стал использоваться в качестве основного метода защиты коренных берегов от разрушений. Его использование вошло в СНИП-ы и директивную документацию, а решениями нескольких береговых конференций рекомендовалось к обязательному применению на неприливых берегах как наиболее эффективное с разных позиций. Однако, такие рекомендации нельзя считать оптимальными. В защите от абразии и волно-

вого размыва берегов нуждаются многие участки морского берега. Никто не спорит с тем, что весьма эффективным и конструктивным оказывается искусственное пляжеобразование, когда пляж является свободным незакрепленным или закрепленным небольшими вспомогательными гидротехническими сооружениями. Но не везде имеется возможность получения и использования достаточно крупных запасов грунтовой массы или готовых наносов для конкретного участка морского берега. А во многих случаях использование грунтовой массы вообще вредно для природы.

Так, в условиях отрицательных тектонических структур, где распространены глинистые породы или речные отложения, нет возможности использовать достаточно крупный осадочный материал (как на примере Кавказского побережья Черного моря). Пылеватые частицы тут же вымывает волновыми течениями, особенно на стадиях синоптического роста уровня моря. Причем, данный процесс размыва является наиболее сильным у искусственных свободных незакрепленных пляжей. Если же попытки пляжевой берегозащиты предпринимаются на абразионно-оползневых берегах, особенно с «глубокими оползнями», то подвижки языка оползня в зоне а (Рис. 16) практически всегда разрушают и тело искусственного пляжа, и сопровождающие его сооружения. Поэтому методы искусственного пляжеобразования как берегозащитные надо признать локальными, надежными и эффективными там, где есть для этого благоприятные физико-географические условия. В приведенном опыте на примере берегов Грузии (Кикнадзе и др., 1989; Кикнадзе, 1991) очень четко проявилось влияние закона географической локальности. Соответственно, в других условиях, на других участках береговой зоны такой опыт не дает желаемого эффекта.

Часто наиболее эффективным оказываются комплексные портовые, берегозащитные, навигационные и прочие сооружения в береговой зоне моря. В данном случае под комплексом понимается органически и генетически образовавшаяся природная совокупность элементов и компонентов, с определенным уровнем организации и постоянным взаимодействием. Это значит, что каждый элемент сооружения дополняет все остальные.

На примере Одесского берегозащитного и противооползневоего комплекса это означает (Шуйский, 2010), что работу бун дополняют подводные волноломы, а совместную работу бун и волноломов дополняют подпорные противооползневые стенки. Всех их вместе взятых поддерживает работа искусственных огражденных пляжей, и т.д. Можно назвать также как комплексные защитные сооружения на Фризских островах, в районе Фукусима на о. Хонсю (Япония), на о. Лидо, Адриатическое море (Италия), и др.

В общем, комплексные берегозащитные, портовые и навигационные сооружения являются более эффективными. Однако, реальная эффективность наблюдается лишь при учете индивидуальных природных особенностей участка береговой зоны (Шуйский, 2001). Также следует учитывать новую циркуляцию прибрежной воды и новые трассы движения гравийно-галечных и песчаных наносов уже после сооружения продольных и поперечных гидротехнических конструкций. Они нередко провоцируют неблагоприятный режим вымывания наносов из межбунных «карманов» и усиления абразии коренных пород.

§ 3. ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДЫ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ МОРЯ

Морской берег и его отдельные части издавна заселялись человеком по нескольким основным причинам. Во-первых, здесь располагались населенные пункты и причалы для торговых и военных судов. Берег привлекал возможностью беспрепятственных торговых связей с ближними и дальними соседями, возможностями культурных обменов средствами морского транспорта. Во-вторых, береговые жители были в определенной мере избавлены от голода, поскольку море было поставщиком рыбы, моллюсков, ракообразных, некоторых млекопитающих с их жиром и кожами, водорослей, в том числе и пищевых, а также технической и пищевой соли. В-третьих, проживание на морском берегу существенно благоприятствовало оздоровлению организма, во многом обеспечивало долголетие. Поэтому практический интерес к природе морского берега появился очень давно, т.к. был жизненно необходимым (Яценко, 1985; Фашук, 2002). Жить на берегу означало жить в достатке и с определенными гарантиями безопасности.

По мере изложения дальнейшего текста книги считаем необходимым изложить ряд основных физико-географических терминов и понятий.

В физической географии *береговая зона моря* исследуется одной из отраслевых географических наук – *береговедением*. При этом, для краткости, нередко говорят и пишут «*берег*», хотя при этом и подразумевается «*береговая зона*» как генетически единая система взаимовлияния берега (надводная часть) и подводного склона моря (подводная часть). И хотя береговедение является отраслевой географической наукой, но в её основу положена общая теория географии, в широком смысле этого понятия.

Природа береговой зоны включает в себя элементы суши и моря, т.е. надводную сушу и подводную в виде моря и прибрежного дна. Причем, часть суши испытывает определяющее влияние моря. Их экзогенное взаимовлияние постоянно создает некую третью природную систему, не имеющую аналогов ни на суше, ни в морях

(океанах) – прибрежно-морскую контактную (Шуйский, 2017, 2018, 2021 а). Поэтому надо правильно говорить «береговая зона того или иного океана, моря, залива, пролива», но никак не «береговая зона Крыма, Украины, Италии, Пиренейского п-ова, Британии, Ирландии» и остальное в этом же духе.

Практически всегда направленность и интенсивность развития береговой зоны начинается с подводного склона. Отсюда берет начало экзогенное формирование рельефа, движение наносов на разных глубинах, состав наносов (в том числе и как субстрат для бентосных организмов), вертикальная и горизонтальная дифференциация токов воды и распределения гидрогенных импульсов, процессы распределения волновой энергии по вертикали и по горизонтали, участки накопления и выброс наносов на берег и режим их движения вдоль берега и по поперечному профилю, и многое другое. Это значит, что подводный склон регулирует энерго- и массообмен всей береговой зоны, а потому берег и подводный склон находятся в тесном взаимодействии, в неразрывном взаимовлиянии, и формирование одного составного элемента (надводного) не может быть без участия другого (подводного). Отсюда следует, что любая хозяйственная и бесхозяйственная деятельность человека, любой вид строительства, создание неважно какого сооружения в береговой зоне моря должен рассматриваться сквозь призму гидродинамического, морфодинамического, литодинамического, неволнового взаимодействия берега и подводного склона моря. Такой принцип в равной степени должен соблюдаться при экскавации, застройке, создании поселений и проч. В противном случае «хозяев» ожидает разрушение прибрежно-морской системы, снижение полезных свойств природных ресурсов, выведение из числа действующих морских гидротехнических сооружений, нанесение общего ущерба любому виду природопользования.

Береговая зона Мирового океана и его подразделений относится к экзогенным физико-географическим объектам, с непрерывным действием экзогенных процессов в составе географической оболочки (Григорьев, 1934; Зенкович, 1962; Каплин и др., 1991). При этом следует учитывать один из основных законов географии: теснейшее

взаимодействие экзогенных и эндогенных факторов, процессов и объектов.

Сегодня в географии широко известно определение «географической оболочки», предложенное В. А. Боковым, И. Г. Черваневым, М. Д. Гродзинским, Г. Е. Гришанковым и П. Г. Шищенко. Они утверждают, что она представляет собой комплексную природную оболочку, которая образовалась в результате взаимопроникновения и взаимовлияния вещества отдельных геосфер (литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы).

Географическая оболочка представляет собой сложную динамичную природную систему, в которой вещество встречается в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном, в окислительной среде и с живым веществом. По сути, такой же смысл имеют и определения в Украинской Географической энциклопедии, в Большой Советской Энциклопедии, в «четырёхязычнике» И. С. Щукина, у С. В. Калесника, А. Г. Исаченко, Д. Л. Арманда, других авторов. Среди новейших исследований природы морей, можно указать на большую работу Н. А. Берлинского и его соавторов (Берлинский и др., 2021). Во многом она опирается на материалы недавнего прошлого, и своих результатов у соавторов мало. Однако, в ней приводятся новейшие данные о морских побережьях и открытой части Черного и Азовского морей, которые важны для берегозащиты, портового и навигационного строительства, рекреации, рыболовства и т.д.

Во всех определениях важно, что географическая оболочка является продуктом взаимодействия разных сфер. Будучи экзогенной средой, береговая зона «впитала» факторы, свойства, структурные элементы всех сфер, но не сразу в одночасье, а постепенно, в течение природной эволюции. Причем, в виде двух неразрывных частей – подводной и надводной. Основатели учения о береговой зоне моря утверждают (Зенкович, 1962; Лонгинов, 1963; Айбулатов, 1990; Каплин и др., 1991), что в зоне экзогенного контакта Суши и Океана сошлись действующие факторы (силы, виды энергии) всех геосфер. Гармонично взаимодействуют факторы литосферы, гидросферы, атмосферы, биосферы, антропоферы, соответственно

географическому расположению и структуре того или иного участка береговой зоны Мирового океана. Поэтому грамотное экономическое, промышленное, социальное и селитебное освоение береговой зоны требует от изыскателей, проектировщиков, плановиков и регионалистов совершенного знания структуры, параметров, системы действующих факторов, процессов и механизмов развития (изменчивости) в пределах всех сфер географической оболочки, с одной стороны, а с другой стороны – требует знания натурального режима взаимодействия между всеми названными составляющими в зоне активного экзогенного контакта между Сушей и Океаном, согласно *«закону географической локальности Шуйского»* (Шуйский, 2000а, 2019).

При этом обращает на себя внимание, что ведущим видом энергии, которая непрерывно преобразует природную среду береговой зоны, является механическая энергия гидрогенных процессов (Комар, 1976; Pruszek, 2003; Шуйский, 2015а). При этом сохраняется текущий энергетический баланс географической оболочки. Как и везде в ее пределах, начальным глобальным энергетическим импульсом является суммарная солнечная радиация. Ее поток приходит в атмосферу и на поверхность Океана. В итоге формируются поверхностные водные массы, образуется перераспределение водных масс и возникают ветры. Свойства водных масс при соприкосновении с прибрежным мелководьем и под влиянием вод суши образует группу «неволновых» процессов и элементов прибрежно-морских природных систем. Для них типично рассеяние световой, тепловой, химической, гравитационной энергии. А вот ветры воздействуют над всей площадью акватории Мирового океана, и при этом отдают свою энергию ветровым («фрикционным») волнам повсеместно. Чем больше скорость ветра, чем больше длина разгона ветра над водной поверхностью и дольше дует ветер, тем больше энергия волн, и отдельной волны в том числе.

По районированию акватории Океана, впервые выполненному Г. Б. Бигелоу и В. Т. Эдмондсоном (Бигелоу, Эдмондсон, 1951), наибольшим по размеру волнам благоприятствуют физико-географические условия в «ветровых центрах» умеренных широт северного

полушария и в «ревуших 40-х широтах» южного полушария. Там волны 50% обеспеченности имеют среднюю высоту ≈ 6 м. Встречая на пути к берегу береговую зону Европы (скажем, о. Ирландия), отдельные измеренные ветровые волны Северной Атлантики развивают динамическое усилие до $90 \text{ т/м}^2\cdot\text{сек}$, а на юге Тихого океана у берегов Южной Америки – до $110 \text{ т/м}^2\cdot\text{сек}$. Они имеют период от 14 до 21 сек и обладают громадной «надтитанической» силой. Во внутренних морях волновые усилия значительно меньше, как например, на Черном море ветровая волна во время сильного шторма может создать динамическое усилие на внешние гидротехнические сооружения, равное примерно $5\text{-}8 \text{ т/м}^2\cdot\text{сек}$ (порт Сочи), на Северном море – до $15 \text{ т/м}^2\cdot\text{сек}$ (порт Хеугесунн), на Японском море – до $16 \text{ т/м}^2\cdot\text{сек}$ (порт Сетана), а в прибрежной акватории около Южной Африки, у порта Ист-Лондон – до $25 \text{ т/м}^2\cdot\text{сек}$.

Получается, что волновой режим разных морей характеризуется громадным волноэнергетическим потенциалом. Если принять продолжительность одного шторма в течение 1 суток (24 часа), то любое сооружение прямо на морском берегу получит 1 удар волной в течение, например, 15 секунд (период волны). Несложно подсчитать, что в среднем в течение заданного шторма волна 5760 раз будет обрушиваться на молы, волноломы, стенки, буны или на подходной канал. Аналогично можно рассчитать штормовые усилия на берегах разных морей и океанов. Это исключительно большие усилия (Жданов и др., 1952; Хомицкий, 1983; Леонтьев, 2001; Айбулатов, 2005), способные быстро разрушить любое сооружение (далее см. § 6 и 7). Недаром океанологи, которых весьма трудно удивить сильнейшими штормами открытого океана, береговую зону моря называют «зоной высоких энергий» («*potent energy zone*»).

Дело в том, что ветер передает энергию ветрового потока всей акватории водоема, а она может иметь площадь в *сотни тысяч и миллионы км²*. Строение волнового динамического слоя охватывает поверхность океанической водной толщи, по которой волны движутся вслед за ветром. Но при этом всегда до берега, до берегового мелководья, до подводного склона. Здесь волны перестраиваются, взаимодействуют с подводным склоном, окончательно разрушаются,

иссякают и свою энергию отдают береговой зоне (Зенкович, 1962; Лонгинов, 1963; Леонтьев, 2001). Выходит, что энергия сильных ветровых потоков собирается на громадной площади, а расход этой энергии происходит в узкой береговой зоне. В этой связи можно утверждать, что механическая волновая энергия действует концентрировано, с четким проявлением кумулятивного эффекта. Вот почему концентрация волновой энергии столь велика, что позволяет называть береговую зону «океанической зоной высоких энергий», а ее кумулятивное воздействие оказывает исключительно быстрое преобразование береговых природных элементов.

В то же время другие виды энергии (световая, тепловая, химическая и др.) тоже действуют, но оказывают рассеянное воздействие, постепенное и всеохватывающее, в отличие от механической волновой энергии. Понятно, их влияние является настолько ослабленным, что механическая энергия стирает, убирает следы других видов энергии. В этой связи в береговой зоне различают влияние главного ведущего (доминирующего) *волнового (гидрогенного)* фактора, представленного совокупностью волн и волновых течений разных типов в пределах береговой зоны, а также второстепенного *неволнового* фактора (поддерживается влиянием световой, тепловой, химической, гравитационной, электромагнитной видами энергии). Неволновой фактор типичен для континентальной аэральной среды и является ведущим на суше.

Таким образом, в составе отдельных сфер географической оболочки четко различаются три *мегасистемы*, которые развиваются различными потоками энергии и вещества. Каждая мегасистема исторически организовалась в собственной, присущей только ей природной среде в системы различного уровня организации (Урманцев, 1988; Круть, 1988). В аэральных условиях на Суше развилось доминирующее влияние световой и тепловой энергии, с участием химической энергии, наземного выветривания, с замедленными скоростями преобразования, при наличии почвенного покрова образовались «ландшафты» или «континентальные комплексы» («*landschaft*») (Арманд, 1975; Исаченко, 1979; Гродзинский, 2006). Эта мегасистема исторически была исследована в первую

очередь как доминирующая среда проживания человека, который не может жить без дыхания воздухом. В состав воздуха входит кислород как основной компонент жизни. С другой стороны, в водно-океанических *талассогенных* условиях высокой подвижности воды Мирового океана, океанических систем отдельных течений (очень больших, крупных, средних и малых, и отдельных частей, их размещения в разных структурных зонах океана и в разных широтах), активного водообмена, массообмена и теплообмена атмосферы и океана, образования по вертикали структурных зон, в каждой такой зоне – отдельных водных масс и фронтальных зон между ними, – все это указывает на совершенно иной ход дифференциации океанической гидросферы (мегасистемы) (Степанов, 1982; Шуйский, 2021 б). Нами она была названа талассогенной, от греческого слова «*τάλασσις*», т.е. «*океан*». Конечно, это не ландшафты суши (материков и островов).

Вместе с тем, природная экзогенная среда между указанными мегасистемами сформировалась под влиянием их активного длительного и интенсивного взаимодействия, взаимовлияния. Она характеризуется чертами, которые являются продуктом взаимодействия ландшафтов и талассогенов, а сами отличаются и от первых, и от вторых. В очаге данного взаимовлияния эволюционно создавалось нечто третье, что не встречается ни в составе ландшафтов, ни в составе талассогенов. В сфере взаимовлияния образовался особый рельеф (например, клифы, бенчи, каналы выдувания, морские эвразионные котлы и проч.), необычные по составу наносы и трассы их движения, особые течения и режим колебаний уровня моря, принципиально отличительные физико-химические черты морской воды и др. (Петров, 1989; Шуйский, 2015 б, 2017). Высокая концентрация волновой энергии плюс перечисленные природные отличия привели к возникновению и развитию таких живых организмов, которые встречаются только в береговой зоне Океана, но ни на Суше (в составе ландшафтов), ни в Океане (в составе талассогенов). Многие их виды и семейства способны выполнять эффективную биологическую очистку воды. Поэтому обеспечивается естественное увеличение рекреационной и экологической ценности прибрежно-морской системы, качества бальнеологических ресурсов.

В природных условиях сложилось неравномерное распределение различных элементов береговой зоны (рельефа, геологического строения, устьев балок и рек, сил волнового влияния и проч.). Поэтому на одних участках располагаются рекреационные заведения, а на других их располагать невыгодно, и даже вредно. Одни участки позволяют вписаться в природную обстановку морским портам и их инфраструктуре, а другие – нет. Важно заметить, что практика природопользования в береговой зоне Океана рекомендует избегать абразионно-опасных участков и на них не планировать хозяйственное освоение. В данном случае нецелесообразно их задействовать, но лучше – оставлять в естественном виде. Важно нанести на карту участки, которые: а) нельзя вовлекать в сферу антропогенной деятельности; б) могут быть всегда задействованы в любом виде антропогенной деятельности; в) могут быть вовлечены лишь в строго определенные виды деятельности.

Для любого инженерного проекта, особенно – для целей берегозащиты, крайне необходимым является распределение сферы приложения механической волновой энергии. Берегозащитная деятельность весьма распространена, судя по подсчетам японского исследователя Т. Савараги (Савараги, 1990) (Рис. 9). Наши данные показали (Шуйский, 1986), что глобальная длина разных типов абразионных участков береговой зоны в сумме составляет почти 65% от общей длины. В пределах Черного моря она равна 47,7%, Азовского моря – 22,6%, Балтийского моря – 20,1%, Охотского моря – 44,8% и т.д. Все береговые территории комфортны для заселения, и требуют дальнейших исследований. Следовательно, берегозащитная деятельность, как и другая практическая, является актуальной.

Важно подчеркнуть, что абразия приводит к необратимым потерям береговых территорий, причем, вместе с тем, что на них построено, с лесами, с пашней, с пастбищами, другими угодьями. Принимая, что наиболее вредными являются скорости абразии клифов, равные $\geq 0,1$ м/год, они занимают в сумме $\approx 45\%$ длины берегов Мирового океана. Средние скорости из группы максимальных могут достигать 6-7 м/год в течение десятков лет (Шуйский, 1986, 2000, 2018).

Естественной защитой абразионных форм рельефа в различных физико-географических условиях обычно являются пляжи, в том числе их подводная часть, включая песчаные, вдоль подножья активных клифов. Природа гидрогенного («волнового») механического энергетического процесса такова, что волновая энергия тратится по двум основным направлениям: а) для переработки и перемещения пляжевых наносов; б) для абразионного разрушения горных пород в клифах и на бенчах. Причем, – одновременно.

Обнаружено, подтверждено и сформулировано *правило Шуйского* (Shuisky, 1990; Шуйский, 2010, 2018): чем больше волновой энергии тратится для механическо-дифференционной переработки наносов «волнового поля», тем меньше энергии тратится на разрушение абразионных форм в береговой зоне. И наоборот, чем меньше энергии уходит на переработку наносов, тем больше энергии тратится для абразии клифов и бенчей и для разрушительного отступления берега. Получается: либо количество наносов больше того, что может переработать данный волновой режим, либо мощность волнового поля должна быть понижена. На этом правиле, которое в таком виде было впервые обосновано и сформулировано Ю. Д. Шуйским (Шуйский, 1973), построено применение искусственных пляжей, также и песчаных, в условиях естественного и антропогенного влияния.

Следовательно, повышенная интенсивность (напряженность) волновой энергии активизирует переработку наносов вдоль берега и во времени. А это *всегда* ведет к потерям массы пляжевого песка. Если после размывающего шторма умеренные волнения не восстановят объем пляжей и более крупных аккумулятивных форм, то потери песка оказываются реальными. Любое понижение энергетического напряжения обуславливает понижение динамичности пляжей и наносодвижущей способности волноэнергетических потоков. Следовательно, в условиях природного дефицита наносов для сохранения искусственных пляжей и их берегозащитной способности (экономии количества отсыпанных наносов) особенно важным оказывается понижение волноэнергетического потенциала береговой зоны. Именно для этого сохранение дефицитного

песка и особая ценность защищаемого объекта требуют применение комбинированных сооружений, т.е. пассивных, активных и искусственных отсыпок в комплексе, вместе на научно обоснованных участках берега.

Любой вид природопользования в береговой зоне морей, а на побережье в целом, требует высококачественной информации, она должна быть предусмотрена заранее. Для этого планируется получение упреждающей информации. В наиболее качественном виде она представлена данными повторных стационарных инструментальных наблюдений. Берег покрывается сетью стационарных, жестко закрепленных реперов, как подчеркивали авторы (Буданов, 1964; Шуйский и др., 2015). Разовые измерения показывают строение берега, подводного склона, состава наносов и биоты, динамики вод на момент измерений. Все последующие повторные инструментальные гидрографические съемки по той же методике и в том же масштабе показывают динамику береговой зоны, изменения ее точно описанных основных элементов. Такая информация крайне необходима для того, чтобы определить место расположения гидротехнических, транспортных, трубопроводных, рекреационных и прочих сооружений, их размеры, конструкции, отношения как сооружения с береговой зоной, так и природных объектов береговой зоны с построенным сооружением. Немаловажными являются условия дальнейшей эксплуатации того или иного сооружения в сфере действия прибрежно-морских факторов и процессов, включая финансовые и трудовые затраты, запчасты и ремонтные работы.

Например, сегодня в береговой зоне Черного и Азовского морей в пределах Украины расположены различные сооружения, которые, с одной стороны, активно повлияли на режим развития береговой зоны моря, а с другой стороны, сами испытали на себе существенное влияние факторов и объектов береговой зоны. Такое взаимовлияние является вообще типичным. Оно прослежено в разных морях, странах, широтах, во всех физико-географических зонах. Вместе с тем, на каждом участке береговой зоны всегда обнаруживаются локальные отличия в интенсивности и направленности действия компонентов, в длительности и очередности взаимовлиянии, в режиме и

преобразовании потоков энергии и вещества, в характере изменений за единицу времени и проч. Все эти прибрежно-морские особенности укладываются в проявление «закона географической локальности», которым настойчиво рекомендуется пользоваться при планировании использования любых ресурсов береговой зоны Океана (Шуйский, 2000 а, 2019 а). Ведь учет даже деталей природной системы того или иного уровня организации позволяет максимально гармонизировать антропогенные и природные составляющие в береговой зоне, причем в течение долгого времени.

В процессе природопользования в системе береговой зоны Океана следует придерживаться принятой в географии терминологии, которая закреплена в учебниках, справочниках, словарях, словниках, энциклопедиях. Наиболее совершенный понятийный и терминологический аппарат изложен в различных научных работах (Зенкович, 1962; Лонгинов, 1963; Шуйский, 1986, 2000; Долотов, 1989; Gudelis, 1993). Идентификация нескольких терминов с русского на английский и украинский представлена в монографии (Шуйский, Выхованец, 1989) и в словаре береговых терминов (Морская Геоморфология, 1980), а термины на английском представлены также и Ю. С. Долотовым (Долотов, 1989) и В. К. Гуделисом (Gudelis, 1993). Большое число береговых терминов на английском языке объясняется в международной энциклопедии (Encyclopedia..., 1982). Изложенные понятия и определения позволяют избежать большого числа качественных трактовок и определений разных авторов, позволяют однозначно понимать суть природных явлений и трактовку природных процессов и механизмов, применять названия одних и тех же явлений и событий на разных участках исследованных береговых областей и районов. Скажем, если уж речь идет об оползнях, то они везде оползни: и на участках зарождения вдольберегового потока наносов, и на участках транзита или разгрузки. Если на участке развивается карстовый процесс, то он должен соответствовать признакам развития карста на всех береговых участках. Если на разных участках береговой зоны обозначены аккумулятивные береговые террасы, то должны быть выявлены основные признаки террас на всех участках.

А для этого нужно очень внимательно отнестись ко всем участкам с одинаково высокой требовательностью для подробного сравнения.

В данной работе на протяжении истории береговых исследований обозначился важный вопрос различной трактовки терминов и понятий в научных средах разных стран и тематических школ. Поэтому мы посчитали целесообразным привести здесь наиболее важные и давно адаптированные в науку термины, например, в работах И. С. Щукина (Четырехязычный..., 1980], В. П. Зенковича и Б. А. Попова (Морская геоморфология, 1980), Ю. Д. Шуйского (Шуйский, 2000; Шуйский, 2018).

Береговая зона опоясывает все материка и острова, а ее суммарная длина была нами измерена равной ≈ 797 тыс. км. В зависимости от окружающих физико-географических условий, обычно выделяются различные классы и типы береговой зоны, а также выполняется классификация и районирование (Леонтьев, 1961; Шуйский, 2000, 2018). Основной единицей районирования является вдольбереговая литодинамическая ячейка, природная система, в которой образовался полный круговорот осадочного материала. Этот круговорот включает мобилизацию материала, его вовлечение во вдольбереговой поток наносов или в поперечную миграцию наносов, в механическую дезинтеграцию, в прибрежно-морскую дифференциацию, до стадии захоронения и консервации. Термин «берег» нередко может употребляться в двояком понимании. Об этом речь будет далее по тексту.

Берег (*shore, часто – coast*) – граница суши и моря (океана) (Рис. 26). Хотя на картах эта граница изображается линией, на самом деле следует говорить о береговой зоне, т. е. о более или менее широкой полосе, в пределах которой осуществляется взаимодействие суши и моря. В действительности, часто термин «берег» употребляется в качестве синонима термина «береговая зона». Термин «море» может обозначать «Мировой океан», а употребляется в качестве условного синонима, для краткости.

Береговая зона состоит из собственно берега (ее надводной части) и из подводного склона моря (океана), т.е. она имеет «земноводную» природу (*coastal zone*) (Рис. 26 и 27). Береговая зона является

частью генетической структуры Мирового океана и не может быть частью суши. Именно при таком условии береговая зона предстает составной частью географической оболочки, *контактной полосой* между двумя экзогенными стихиями – морем (*талассоген*) и суши (*ландшафт*). Этим обеспечивается взаимодействие стихий, как это бывает отдельно и на суше, и в море. При этом ведущими факторами развития являются *экзогенные*, а основным источником непосредственно действующей энергии – Мировой океан, благодаря способности его поверхностного слоя трансформировать лучистую энергию Солнца в механическую энергию фрикционных волн. Одновременное воздействие оказывают и *эндогенные* факторы, участвующие в исходном расчленении рельефа или регулирующие влияние эндогенеза. Как и везде в пределах географической оболочки, взаимовлияние двух групп факторов выступает одним из важнейших законов природы береговой зоны Океана.



Рис 26. Схема расположения ведущих морфолого-структурных элементов береговой зоны морей и океанов на стыке Суши и Океана.

Берег (*shore или coast*) – надводная часть береговой зоны, выше среднего уровня моря, – это полоса суши с прибрежно-морским рельефом волнового происхождения. Он может быть абразионным, сложенным коренными породами, т.е. разрушаемым под влиянием волнового прибойного потока и других экзогенных факторов, как на схеме (Рис. 27). Здесь четко выражена верхняя граница береговой зоны (и берега) – по верхней кромке клифа. Нижняя граница берега обозначена средним многолетним уровнем моря.

Вместе с тем, берег может быть также и аккумулятивным: он может быть сложенным наносами и его внутренняя граница проходит по краю современной надводной террасы.

Подводный (прибрежный) склон (*submarine slope или nearshore slope*) является подводной частью береговой зоны. В разных частях Океана он распространяется до глубин, равных от $0,3\lambda$ до $0,5\lambda$, м (λ – длина средней штормовой волны, м), в зависимости от состояния ветровых волн (τ – период волны, сек). Наиболее сильное волновое влияние происходит в интервале глубин $0-3,5h$ м (h – высота волны во время шторма, м) (Рис. 26 и 27). Это прибрежная полоса морского дна, на которой рельеф меняется под влиянием ветровых морских волн. Берег и подводный склон составляют единую природную систему, в которой все элементы тесно связаны и неразрывно развиваются в условиях мощного волнового энергетического поля.

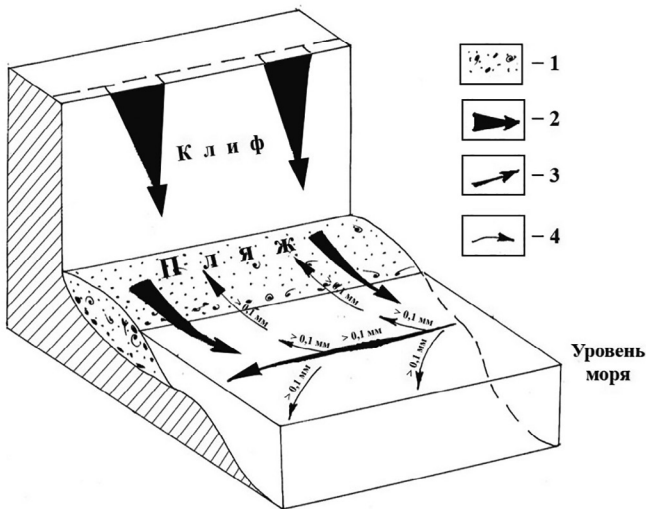


Рис. 27. Блок-схема наносообмена и литодинамических связей на абразионном берегу: 1 – пляж разного гранулометрического состава с предельным слоем волновой переработки; 2 – весь гранулометрический спектр наносов от абразии клифов; 3 – массовое вдольбереговое перемещение наносов; 4 – разнонаправленные миграции наносов (Выхованец, 2018).

Основным источником энергии для развития береговой зоны всегда была и остается сейчас энергия моря в виде механической энергии ветровых волн, волновых течений, колебаний уровня воды, ледовых явлений и ряда других. Их совокупность обозначается как **гидрогенный фактор** или в виде суммы **гидрогенных явлений**, которые строят волновое поле в береговой зоне моря. Если же, то или иное явление (процесс) в береговой зоне развивается под влиянием других видов энергии (световой, тепловой, гравитационной, химической и др.) или другого фактора, то они обозначаются как негидрогенные и развиваются в неволновом поле.

Для понимания ряда практических процессов и мероприятий в течение 60-х годов XX столетия Ю. Д. Шуйским было разработано понятие «*слой волновой переработки*» при исследовании процессов образования россыпных очагов полезных минералов (Shuisky, 1982; Шуйский, 1986; Игнатов, 2004). В отличие от понятий «*активный слой*» и «*деятельный слой*», под *слоем волновой переработки* понимается слой наносов на берегу и подводном склоне моря, ограниченный вертикальными режимными, долговременными, многолетними штормовыми деформациями, образующий своеобразное «*поле кривых*» таких деформаций в течение ряда лет и десятилетий, при несущественном смещении ордината. В пределах такого «*поля*» формируются наносы и отложения прибрежно-морского генезиса (по размеру, форме зерен, их окатанности, вещественному составу в различном соотношении) (Рис. 28). В своих работах Ю. Д. Шуйский (Shuisky, 1982; Шуйский, 1986) обоснованно предлагал рассматривать слой волновой переработки в качестве третьего измерения вдольбереговых потоков и поперечных миграций наносов в береговой зоне морей. Основным значимым показателем слоя волновой переработки является его *максимальная* и *средняя* мощность, т.е. «толщина слоя» $H_{свп}$.

Немаловажно, что слой волновой переработки развивается как на аккумулятивных, так и на абразионных берегах, причем, в зависимости от уклонов подводного склона (Рис. 9) и от запасов наносов в береговой зоне моря. На более крутых склонах (Рис. 28 а) усиливается вынос менее крупных частиц за внешний контур подводного склона, поскольку растёт удельная величина волновой энергии.

В результате возле берега концентрируются крупнозернистые частицы, особенно – на пляжах, что приводит к активизации процесса дробления, истирания и окатывания обломков горных пород. Бывает, при этом могут возрастать потери массы наносов в береговой зоне, что особенно важно при оценках искусственных пляжей. Часто значения $H_{СВП}$ бывают наибольшими, до 5-6 м и более под влиянием океанических волн и уклонов подводного склона $i_s \geq 0,03$.

Умеренно крутые склоны (Рис. 28 б), обеспеченные достаточно большими запасами наносов и под влиянием умеренных значений удельной волновой энергии, характеризуются понижением значений $H_{СВП}$, обычно ≤ 5 м и распространением крупных песчаных фракций наносов ($i_s = 0,020-0,025$).

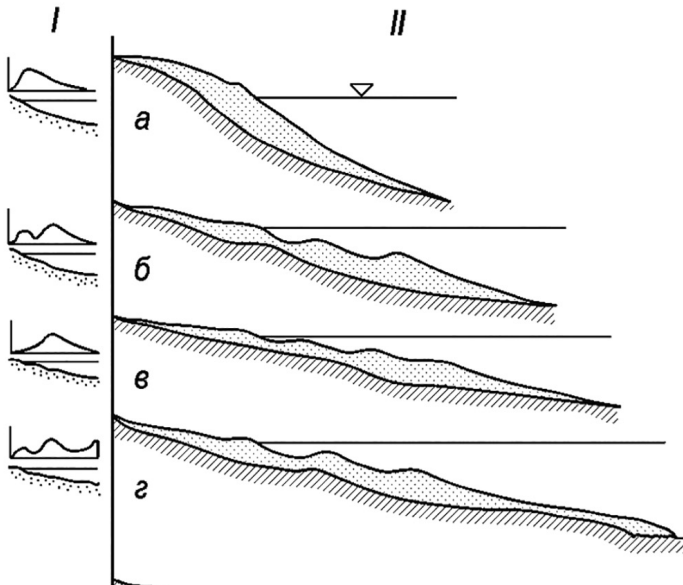


Рис. 28. Типы слоя волновой переработки (а–д) на песчаных берегах неприливногo моря (по Ю.Д. Шуйскому). I – распределение удельной волновой энергии над профилем подводного склона; II – типы СВП (а–д) на поперечных профилях разной крутизны, разного энергетического потенциала и разных запасов наносов; 1 – подстилающие коренные породы; 2 – толщина песчаных наносов.

Они располагаются на Черном, Азовском, Балтийском морях (Рис. 29). Уменьшение уклонов подводного склона усиливает подачу наносов, обычно песчаных, в сторону морского берега, приводит к насыщению наносами и образованию песчаных подводных валов, при прочих неизменных условиях. Такое преобразование важно учитывать при натуральных изысканиях.

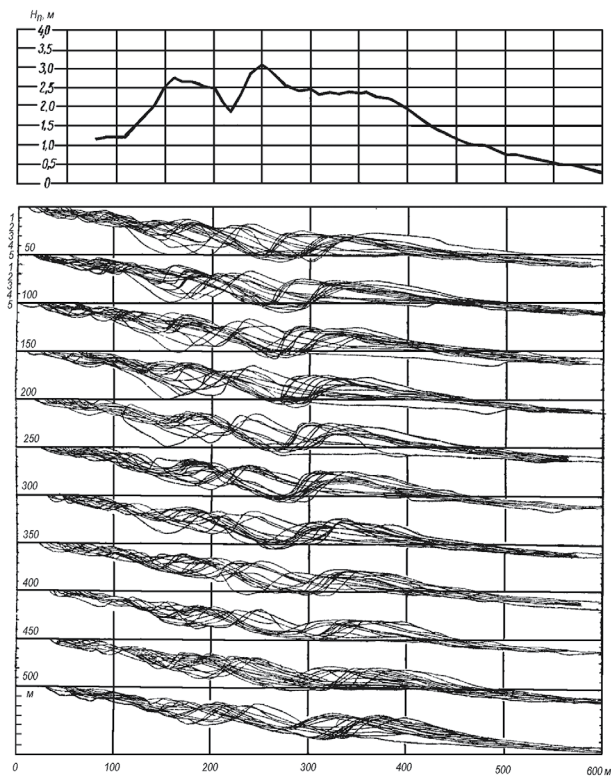


Рис. 29. Множество наложенных кривых поперечного профиля песчаного подводного склона и пляжа на каждом из 9 реперов на аккумулятивном участке береговой зоны. Съёмки в течение 10 лет, показали вертикальный параметр слоя волновой переработки $H_{свп}$, м (Айбулатов, 1990).

В географии **факторами** называются любые компоненты, их свойства и проявления, способные оказывать воздействия на другие

компоненты. При этом факторы относятся к *ведущим*, если они оказывают сильное, действенное и эффективное влияние на большинство компонентов, но при этом они сами меняются несущественно. В то же время в береговой зоне действуют *ведомые* факторы, они сильно зависят от ведущих, но сами на них влияют мало, несущественно. Данные факторы различаются также и при исследованиях слоя волновой переработки как абразионного (Рис. 30), так и аккумулятивного типа.

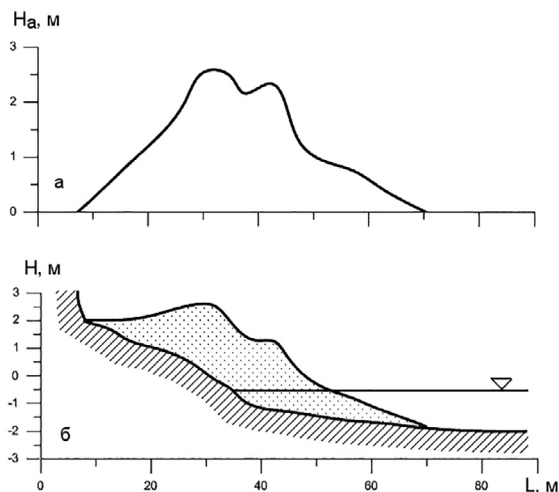


Рис. 30. График: а) изменение толщины слоя волновой переработки $H_{СВП}$ (м) вдоль поперечного профиля прислоненного песчаного пляжа б) глинистый берег стационарного участка «Люстдорф» в условиях дефицита наносов в береговой зоне Черного моря; L – длина профиля, м.

Природный территориальный комплекс (ПТК или ПАК) представляет собой участок территории на суше, условно выделяемый вертикальными границами по методологическому принципу относительной однородности, и горизонтальными по принципу исчезновения влияния того фактора, на основании которого данный комплекс выделен. Чаще всего принимается, что ПТК есть синоним понятия *ландшафт* (*landscape*). В этой книге данное понятие применимо к *аэральным условиям Суши*.

Тип ландшафта – это совокупность природных *территориальных* комплексов (термин от латинского *terra* – суша), хотя бы и разобщенных, но обладающих набором одних и тех же компонентов на суше, притом – находящихся в подобном составе и состоянии. Природные комплексы в береговой зоне принципиальным образом отличаются от тех, которые формируются континентальными *аэральными* силами, процессами и природными механизмами (как отмечено ранее по тексту) (Шуйский, 2018). Определение непригодно для береговой зоны моря.

Аквашафты – это природные комплексы в береговой зоне моря (океана), они являются конечным продуктом влияния сил и процессов моря (океана), с одной стороны, и суши (материка или острова) – с другой стороны, но в меньшей мере. От их взаимодействия и взаимодействия развивается некая третья группа природных свойств и черт, которые больше нигде не встречаются в пределах географической оболочки. Принимаем для дальнейшего их применения, их основные уровни организации – по иерархии прибрежно-морских физико-географических единиц: прибрежно-морская фация, подурочище, урочище, местность, участок, район, область природная система. Принципиально отличается от ландшафтного комплекса.

Что касается *талассогенов*, то их абсолютно «водная природа» диктует разделение этой природной мегасистемы (как части гидросферы) прежде всего на вертикальные структурные зоны, в границах которых формируются циркуляционные системы (экваториальная, субтропические, высокоширотные и др.), водные массы, вергенции и системы океанических фронтов (Степанов, 1982; Шуйский, 2018, 2021 б). В каждом из таких талассогенов как наиболее крупных действуют менее крупные, но генетически взаимосвязанные. Они расположены в разных частях водной толщи Океана и представлены преимущественно течениями разной длины, мощности, направления движения, расхода воды, ее температуры, солености, плотности, содержания первичной продукции и проч. Все перечисленные показатели обозначают океанические системы разной иерархии. Дальнейшая задача состоит в определении численных значений и количественных исследований групп систем и отдельных систем. В будущем это позволит создать общую физико-географическую теорию систем в составе географической оболочки.

В общем выделяются: **приглубый берег** – означает береговую зону с приглубым подводным склоном ($>0,03-0,05$); **отмелый берег** – то же, с отмелым подводным склоном ($<0,03-0,05$). Более подробно можно ознакомиться с морфологическим разнообразием уклонов подводного склона в работах В.В. Лонгинова (Лонгинов, 1963), которое и до сегодняшнего дня не оспорено и не скорректировано другими авторами (Рис. 31).

Береговая зона (*coastal zone*) – понятие также и историческое. В течение геологического времени уровень морей и океанов колеблется, затапливая сушу или осушая прибрежное дно. Синхронно сдвигаются границы береговой зоны, верхняя и нижняя. Поверхность данного интервала перерабатывается волнами и волновыми течениями, а потому здесь сегодня обнаруживаются следы этой переработки выше высоты берега (*поднятые террасы*) и ниже глубины подводного склона (*погруженные террасы*).

В этой связи выделяется побережье – приморская полоса суши, сохранившая формы рельефа и следы воздействия моря во время различных положений уровня воды одного и того же морского бассейна (Рис. 26). Данное определение является генетическим, но многие авторы отождествляют понятия «берег» и «побережье», что принципиально неправильно, поскольку они разные, по О.К. Леонтьеву (1961) и В.К. Гуделису (Gudelis, 1993). Укажем, что побережье – понятие палеогеографическое, а современная, «сегодняшняя» береговая зона – ее часть.

Береговая линия (*shore line*) – линия пересечения среднего многолетнего положения уровня моря («ординара») с поверхностью берега/дна, а на приливных морях – среднее многолетнее положение линий «высокой воды». *Линия уреза* – это линия пересечения уровня моря во время штиля в данный момент, для каждого «момента» имеется своя линия уреза.

Для береговой зоны Мирового океана типичными являются три большие группы **форм рельефа**, согласно генетическому принципу: а) абразионные; б) аккумулятивные; в) созданные неволновыми факторами и процессами, причем, как экзогенными, так и эндогенными. Достаточно широко распространены формы, состоящие из сочетаний, названных трех.

Абразионный рельеф (abrasive relief) создан деструктивным воздействием гидrogenных факторов (преимущественно морскими волнами), с участием неволновых процессов. Выработан в *коренных породах*, которые классифицированы на 5 классов по степени сопротивляемости абразии и по признакам динамичности. Характеризуется литодинамической продуктивностью (величины $m^3/m \cdot год$), которая связана с делением горных пород по степени сопротивляемости абразии (Шуйский, 1986).

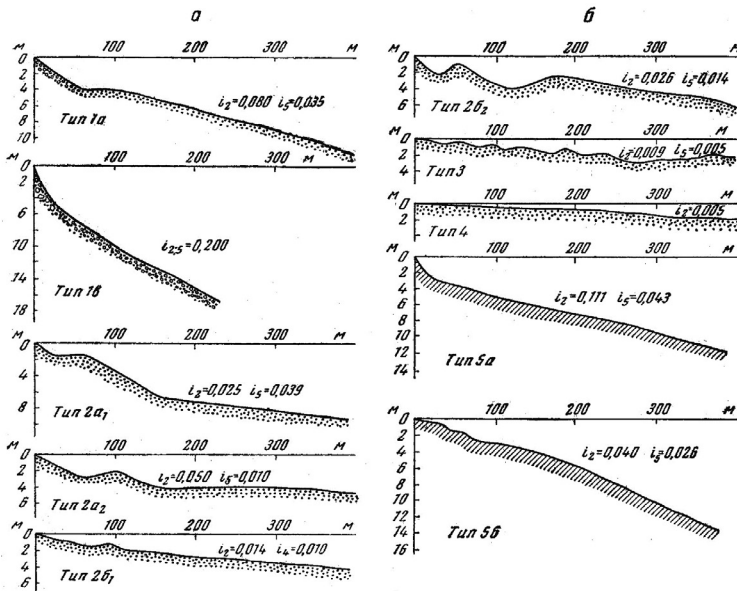


Рис. 31. Типичные профили подводного склона неприливногo моря в природе. Типы: 1а – галечный склон переходит в песчаный на глубине 2-3 м; 1б – галечный склон, с примесью гравия и песка; 2а1 – похож на 2б1 до глубины 5 м; 2а2 – условно приглубый поперечный профиль с одним валом; 2б1 – условно отмелый песчаный профиль большого уклона, с одним валом; 2б2 – условно отмелый песчаный профиль с несколькими валами; 3 – песчаные профили малого уклона; 4 – предельно отмелые песчаные профили подводного склона; 5а – условно приглубые вогнутые профили большого уклона; 5б – прямые профили различного уклона; Уклоны: i_5 – в интервале глубин 0-5 м; i_2 – в интервале глубин 0-2 м.

Аккумулятивный рельеф (accumulative relief) создан наносами, которые сложились в береговой зоне под влиянием процессов механической дезинтеграции и гидрогенной сепарации исходного осадочного материала из различных источников. *Источники питания* осадочным материалом – абразионный, аллювиальный, денудационный, биогенный, эоловый, ледовый, вулканогенный и их сочетаниями. Весь рельеф делится на группы, прежде всего, *генетические* и *морфологические*, а в последние годы наибольший интерес вызывают *динамические* группы данного рельефа. Надо отличать аккумулятивные формы с новейшим накоплением наносов при разгрузке вдольбереговых потоков и поперечных миграций от аккумулятивных форм по генезису, но с современным режимом динамической стабильности или размыва и потери части своей массы.

Формы, созданные *неволновыми процессами*, – живыми организмами (растениями и животными), льдом, ветром, атмосферными осадками, хемогенными и термическими процессами, вулканическими процессами, выветриванием, землетрясениями и проч. Такие формы обычно называют неволновыми (Морская геоморфология, 1980; Gudelis, 1993).

Пляж (beach) – элементарная начальная аккумулятивная форма, первичное накопление прибрежно-морских *наносов волнового поля* в полосе действия *прибойного потока* и в области береговой линии. Наиболее динамичная форма берегового рельефа. Береговой линией делится на надводную и подводную части (до глубины внешней границы, равной $0,5-0,8h$ штормовой волны на разных участках). По *составу наносов* выделяют алевритовые, песчаные, гравийные, галечные, валунные, ракушечные, фитогенные пляжи и их различные сочетания. По морфологии выделяют *двусклонные полного профиля* и *односклонные прислоненные пляжи*, первые типичны для аккумулятивных форм, вторые располагаются у подножья клифов разной высоты. Типичными микроформами являются пляжевые офсеты, волновые валы, пляжевые фестоны, каналы стока штормовой воды и др.

Составной частью большинства песчаных форм прибрежно-морского рельефа являются *эоловые формы* (по имени античного бога ветра *Эола*), созданные на песчаном субстрате ветром, с участием

растительности, грунтовых вод, размеров пляжа, влияния направления и скорости ветра (*coastal dunes*). Процессы зарождения, развития, отмирания, консервации эоловых форм стали называться *эоловым морфогенезом* (Шукин, 1980; Выхованец, 2003). Этот процесс принципиально отличается от процесса на суше, в том числе и в песчаных пустынях. Он происходит в тесном взаимовлиянии с волновыми процессами береговой зоны, выступает регулятором размеров пляжа и всей песчаной формы в целом. В итоге создается уникальная природная система, не имеющая аналогов на Земле (Horikawa, 1988; Furmanchik, 1994; Шуйский, 2013, 2015 а, 2018). Элементами данного аквашафта являются: необычный рельеф, субстрат, действующие факторы, растения, животные, неблагоприятные условия для почвообразования и др.

Клиф (от англ. *cliff* – крутой обрыв) – постоянно разрушаемый обрыв морского берега, который находится под активным действием штормового прибойного потока и морской воды (*активный клиф*) и сложен горными породами, коренными относительно наносов волнового поля. Если береговой обрыв выходит из пределов досягаемости штормового прибойного потока в результате роста ширины пляжа, дальнейшего расширения его до состояния террасы или векового понижения уровня моря, то состояние клифа становится пассивным, а *клиф – отмершим*. Размеры пляжа, наряду с силой шторма и прочностью горных пород в составе клифа, выступают важнейшим регулятором величин (m за определенное время) и скоростей (среднее $m/год$) абразии (Шуйский и др., 2015 в). Выделено 5 групп динамических типов клифов (абразионно-обвальные, абразионно-оползневые, абразионно-денудационные, термоабразионные, ледяные). Обычно на подводном склоне напротив активных клифов располагаются активные бенчи (Зенкович, 1962; Шуйский, 1986, 2000, 2018). Общий механизм сноса осадочного материала с клифов в море может быть иллюстрирован Рис. 27.

Бенч (от англ. *bench* – подводная наклонная полка) представляет собой наклонную подводную поверхность, вырезанную морем в коренных породах, по сути это – абразионная терраса, подводная абразионная форма рельефа «сегодняшнего дня». Бенч может примыкать к подножью клифа, обнажаться от наносов на дне, быть

временно или постоянно погребенным под слоем наносов, приподнятым над уровнем моря.

Выработке бенча способствует, в числе других, *абразивный эффект (abrasive effect)* – природный процесс столкновения в волновом потоке обломков породы с поверхностью сложенного скальными породами подводного склона, он включает *окатывание* обломков и *истирание* поверхности бенча.

Имеются также попытки выделить прибрежно-морские геоморфологические системы (комплексы) с нанесением реальных элементов и компонентов. Такие системы обычно кладутся в основу региональных, реально существующих прибрежно-морских объектов различного уровня организации. Такие региональные системы могут занимать громадную площадь, как например северо-западную часть Африканского побережья, горное побережье на западе Южной Америки или побережье Дальневосточных морей (Зенкович и др., 1967; Арчиков, 1986; Каплин и др., 1991; Игнатов, 2004).

Конечно, для практических целей, скажем, для проектирования, строительства и эксплуатации портов, берегозащитных, рекреационных сооружений, коммуникаций, населенных пунктов и др., такие крупные регионы следует подразделить на иерархически менее крупные системы. Вот для них и следует составлять структуру прибрежно-морской системы, своеобразный практический перечень, как это делали Ю. А. Павлидис, Е. И. Игнатов, К. К. Орвику, А. Г. Кикнадзе, К. М. Петров, Ф. П. Шепард и другие авторы. Весьма показательной и четкой является структурная схема побережья Дальневосточных морей, которая составлена Е. И. Арчиковым (Арчиков, 1986). Он включил в нее в основном геоморфологические элементы (Рис. 32).

При необходимости создания рабочего практического перечня, ее несложно пополнить до нужных кондиций, когда учитываются в максимальной мере литологические, атмосферные, биологические, химические составляющие.

На своей схеме Е. И. Арчиков представил основные элементы и процессы на открытых гористых склонах абразионно-денудационных берегов замерзающих морей. Но даже в таком виде схема показывает направленность развития морского берега.

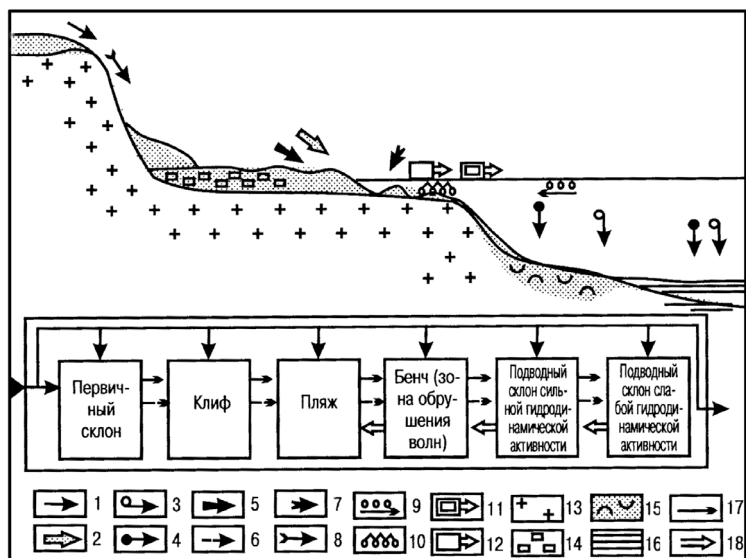


Рис. 32. Общая схема структуры прибрежно-морской геоморфологической системы (Арчиков, 1986). Литодинамические процессы: 1 – перенос терригенного материала в морей волнением и течениями; 2 – поступление обломочного материала под влиянием эолового фактора; 3 – турбулентно-диффузионный перенос обломков и гравитационное осаждение; 4 – биогенное осадконакопление; 5 – поступление аллювия; 6 – гравитационный перенос частиц на дно; 7 – вдольбереговой поток наносов; 8 – поступление осадочного материала на пляж под влиянием склоновых процессов; 9 – выброс обломков породы на ледовый припай волнами; 10 – захват льдами осадочного материала; 11 – вынос осадочного материала в море льдами; 12 – вынос обломков речными льдами. Литология: 13 – склоновые отложения; 14 – галечные наносы и отложения; 15 – пески разномерные с ракушечным детритом; 16 – илистые осадки. Структурные связи: 17 – движение вещества; 18 – передача энергии в потоке.

Приливная осушка (*tidal flat*) образуется на приливных морях, это зона между линиями высокой и малой воды в сизигийную стадию, которая периодически затапливается и осушается. Может быть абразивной и аккумулятивной.

На неприливых морях формальный аналог – **ветровая осушка** (*windy flat*) – т.е. зона между ветровым сгонным и нагонным уровнем моря. В береговой зоне различают: *илистую* и *песчаную осушки* (*mud-flat* и *sand-flat*). Они сложены соответственно илами и песками. Осушки вообще являются очагами обильной и разнообразной биоты, которая очень четко чувствует малейшие изменения приливных колебаний уровня воды, состава наносов, уклонов подводного склона, течений, действия волн. Как правило, осушки являются природными средами аккумуляции громадных масс наносов, особенно мелкозернистых (*muddy flat*). Они встречаются, например, вдоль берегов Желтого, Восточно-Китайского, Восточного морей, в Сиамском, Мартобан, Кач, Бенгальском заливах, вдоль северо-восточных берегов Южной Америки.

В береговой зоне различных морей распространено некоторое, достаточно большое множество абразионных форм (рис. 27), на основании которых разработаны *морфологические* и *динамические* (*morphological and dynamical classifications*) классификации как клифов, так и бенчей. А среди аккумулятивных форм выделяются такие.

Береговой бар (*barrier beach* или *barrier island*) – это длинная песчаная или гравийно-галечная аккумулятивная полоса суши, созданная в береговой зоне моря влиянием процесса поперечной миграции наносов и поступлением донных наносов. Она имеет волновую природу, десятки и сотни метров ширины, отделена от коренного берега пространством лагуны (лимана, риаса, фьорда и др.).

Береговая коса (*shore spit*) – узкая, вытянутая в длину аккумулятивная форма прибрежно-морского рельефа в береговой зоне моря, созданная *вдольбереговым потоком* наносов у выступа берега в результате резкого падения наносодвижущей способности морских волн и волновых течений, длительного накопления наносов. Эти формы исследователями относятся к классу *свободных* форм прибрежно-морского рельефа: это один из самых многочисленных классов. На берегу различают *первичные* (вырастают от коренного берега в сфере влияния вдольберегового потока наносов) и *вторичные* (вырастают с внутренней стороны от тела основной косы или пересыпи) косы.

В общем *косы* могут быть разделены на *простые*, *двойные* и *сложные*. Все эти виды могут быть сложенными алевритовыми, песчаными, гравийными, галечными, ракушечными, или смесью наносов в различных сочетаниях тех или иных фракций.

Простые (элементарные) косы (spits) – образуются в той части береговой зоны, где, в условиях достаточных запасов наносов, происходит резкое падение энергии вдольберегового волнового потока вследствие изменения экспозиции берега, его внешней блокировки островами или отмелями, или по другим причинам, которые препятствуют дальнейшему перемещению наносов, поступающих сюда во *вдольбереговом потоке*.

Двойные косы (double-spits) образуются на участке береговой зоны моря (океана), где встречаются очаги разгрузки двух встречных вдольбереговых потоков наносов. И в данном случае учитывается режим вдольбереговых потоков наносов.

Сложные косы (compound spits) характеризуются морфологическими отличиями от простых тем, что они характеризуются более сложным строением, одновременным или последовательным во времени участием различных факторов (также процессов) в их образовании и дальнейших изменениях. Сложные косы обычно состоят из нескольких разновозрастных систем береговых валов (генераций). Характерной особенностью этих кос, прежде всего при условии, если их питание наносами зависит от абразии сопряженного активного клифа и сильной подачи с подводного склона, являются *крючковидные отропки (hooks)*, а именно – реликты прошлых стадий развития береговой зоны.

Полигенетические косы (polygenetic spits) состоят из различных элементов форм вдольберегового и поперечного донного питания, с участием эоловых, биогенных, ледовых и других факторов, часто такие косы сложены наносами разной крупности. Нередко их длительное развитие и влияние волнового режима с разной экспозицией энергетического вектора приводит к формированию морских аккумулятивных террас, и даже равнин.

Коса «азовского типа» (azov' type spit) характеризуется двусторонним питанием и асимметричным очертанием, который

формируется в условия очень малого угла $\varphi^\circ \approx 15-35^\circ$. Такие косы обычно формируются группами, а не в одиночку, имеют название по северному побережью Азовского моря, где они являются наиболее типичными, смещаются в сторону действия вдольберегового потока волновой энергии в течение долговременного периода.

Коса змеевидная (*serpent spit*) имеет извилистую форму (с несколькими изгибами), которые образуются на участках с неровностями коренного дна на поверхности подводного склона моря.

Коса петлевидная (*looped spit*) представляет собой окаймляющую аккумулятивную форму, созданную воздействием двух систем волнений и наложенных одна на другую. В одной системе волны подходят к берегу под косым углом, и если они огибают выступ берега, то обычно образуется коса. Во второй системе действуют волны зыби или вынужденные ветровые, которые действуют к берегу косы под углом, близким нормальному, а при этом создается тенденция отклонять свободный конец косы к берегу. Здесь коса может соединиться с берегом, но может сохраниться пролив; данная коса обычно охватывает внутреннюю лагуну, имеет асимметричные очертания.

Коса скобовидная (*bracketed spit*) относится к классу окаймляющих и характеризуется двусторонним питанием наносами. Очертания ее сглаженные, симметричные. Она иногда вырастает в волновой тени, за островом. Если остров расположен вблизи берега, то скобовидная может превратиться в треугольную двойную косу, а затем – и в стрелку.

Остальные понятия и термины, связанные с формированием, строением и развитием береговой зоны Мирового океана можно достаточно полно изучить в работах ряда исследователей (Зенкович, 1962; Леонтьев и др., 1975; Морская геоморфология, 1980; Шуйский, 1986, 2000; Долотов, 1989; Gudelis, 1993 Леонтьев, 2001). При этом настойчиво рекомендуется использовать работы И.С. Щукина (Четырехязычный..., 1980) и словарь Береговой секции (Морская геоморфология, 1980). Значительный массив терминов и понятий приведен в уникальной англоязычной работе «Encyclopedia of Beaches and Coastal Environments» (2005) под редакцией

М. Шварца (M. Schwartz). До настоящего времени ни одно зарубежное издание подобных работ не публиковало и не планирует издавать. К сожалению, в работах последних десятилетий терминология и понятийный аппарат береговедения практически не соблюдается, а важные основополагающие термины искажаются. Такая ситуация негативно сказывается на развитии внутринаучного и образовательного уровня в географии вообще.

К слову, с необходимыми терминами специалистам целесообразно работать уже в курсе обучения в вузе, поскольку прибрежно-морские («аквашафтные») термины и понятия наиболее эффективно используются при освоении учебных программ географических специальностей в классических вузах, особенно – в приморских странах. Считаю необходимым обучение береговедению обязательным для любого географа-естественника. Соблюдение правильных устоявшихся значений терминов и понятий весьма важно для оптимального рационального выполнения хозяйственно-практических работ в береговой зоне морей.

§ 4. ВНУТРИНАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ БЕРЕГОВЕДЕНИЯ

Будучи наукой природно-географической и междисциплинарной (Лонгинов, 1963; Бровко, Лымарев, 1997; Шуйский, 2013, 2019 а), береговедение, в отличие от других наук, охватывает свою собственную часть географической оболочки как объект исследования. Напоминаем, эта часть оболочки является пограничной между двумя крупнейшими стихиями – стихией Суши и стихией Океана. С точки зрения проживания и экономико-практической деятельности, для населения морские побережья характеризуются повышенной притягательностью. За минувшие одно-два столетия такая притягательность в общем реализовалась, что привело к повышенной концентрации населения на приморских административных территориях (районах, графствах, вилайетах, округах, провинциях и проч.). В результате повысилась степень использования природных ресурсов, а значит – и антропогенного давления на природную систему береговой зоны. Примерами могут служить побережья Северного моря в пределах Бельгии, Нидерландов, Германии, Великобритании, побережья Черного моря в пределах Украины, Румынии, Болгарии, Грузии, побережья Японии, Кореи, Малайзии, Бангладеш, Индии. Наименьшей сопротивляемостью антропогенному влиянию обладают аккумулятивные формы разных классов и видов, также приливные и ветровые осушки.

Ряд авторов (Ефремов, 1959; Арманд, 1975; Соломина, 1983; Немець, Немець, 2014), отождествляет географическую оболочку с ландшафтной, поскольку только в ней «повсеместно» существует ландшафт как территориальный комплекс, об этом тождестве также прямо пишет И. С. Шукин (Шукин, 1980). Так считало большинство географов 80-100 лет назад, когда в мире только приступали к детальным исследованиям Мирового океана и его береговой зоны. Со временем становилось все более ясным, что природные системы разного уровня организации на Земле существенно различаются (Григорьев, 1966; Круть, 1978). В течение последних десятков лет накопилось все больше достоверной информации о существовании

ных различиях между разными сферами географической оболочки. Оказалось, что нельзя применять установившиеся в географии определения ландшафта и ландшафтной оболочки соответственно к природным системам Океана отдельно и береговой зоны отдельно. В этой связи дальнейшее развитие береговедения некорректно продолжать, в числе других направлений, в направлении тождества с принципами, правилами, положениями и содержанием ландшафтоведения. Процессы дифференциации прибрежно-морских систем характеризуются совсем другим происхождением, содержанием и структурой по сравнению с континентальными (аэральными). Именно такой раздельный подход в состоянии обеспечить рациональное использование природных ресурсов в береговой зоне Океана (Шуйский, 2015 а, 2017, 2019 а).

На генеральную направленность развития всех географических наук и географии в целом для эффективных практических приложений указывали еще Ю. М. Шокальский, М. И. Будыко, А. А. Григорьев, Г. Д. Рихтер, В. И. Польшов, Л. Е. Родин, И. В. Круть и ряд других авторов. Они обосновывали необходимость критического подхода к хорологической традиции. Соответственно, еще 70-80 лет назад исследователи континентальных природных комплексов («систем») пришли к выводу о том, что приоритетными должны быть исследования не взаиморасположения физико-географических систем, от фаций до мегасистем (хотя и это важно), а их динамика, взаимодействие с соседними и трансформация структуры.

В работах А. Ю. Ретеюма, Н. А. Гвоздецкого, А. М. Рябчикова, В. С. Преображенского, М. Д. Гродзинского подчеркивается: физико-географическим системам следует придавать функциональное значение, исследовать изменчивость во времени, сопровождая такое исследование каким-либо одним или совокупностью процессов и явлений. Именно общенаучная динамическая концепция ландшафтоведения и исследования природных систем других сфер Земли позволяет решать современные практические вопросы с максимальным успехом.

Однако, и до начала третьей декады XXI столетия, в Украине в частности, можно встретить ревностных приверженцев того

развития географии, которое ориентировано на приоритетное пространственное размещение географических объектов. В качестве примера может служить монография (Немец, Немец, 2014), где достижением считается рост числа «географий» и явный хронологический приоритет. Скажем, «культурная география» (?) авторами понимается как отрасль социальной географии, которая исследует геопространственную (территориальную) организацию сферы культуры. Другой термин – это «география социального неблагополучия», представляет собой отрасль социальной географии, которая определяет территориальную организацию (территориальное размещение и геопространственную структуру) теневых сторон жизни общества.

Выделяется также «география способа жизни» как отрасль социальной географии, которая исследует геопространственную дифференциацию деятельности человека. В этих случаях (заметим: и во многих других) обращаем внимание на множество составных отраслей более низкого ранга (т.е. отдельных т.н. «субнаук») практически каждой из рассмотренных новых географических наук, – до 3-13 наук с подчинением более низкого ранга (Топчів та ін., 2018). Такое впечатление, что авторы подобных монографий потеряли чувство меры и своей задачей определили перечень максимального числа отраслей в географии, и на этом – конец, как будто от количества отраслей зависит ценность науки и ее ценность для практики. По ущербному принципу: чем больше, тем эффективнее; так недалеко и до передозировки.

Названный подход авторов монографии (Немец, Немец, 2014), еще А. Г. Исаченко (Исаченко, 1979:с. 6) в свое время предугадал как «...устойчивый исторический пережиток, от которого очень далеко до подлинной науки». В этой связи, однако, пространственный уклон неприемлем для береговедения, как и терминологическая путаница в научных изысканиях (Берлинський та ін., 2021). Географическая наука о береговой зоне не может развиваться по такому пути, какие бы цели он не преследовал. Вот почему другие географические науки помогают береговедению выбрать оптимальный дальнейший путь, как и общая теория географии включительно.

В разных частях суши и морских побережий доминирующий хозяйственный интерес к научным прибрежно-морским исследованиям может быть различным, в зависимости от конкретных физико-географических условий. В пределах очень отмелой береговой зоны, морские порты строятся очень редко, это связано с тем, что для их создания и поддержания требуются огромные объемы землянных работ, а это экономически не рентабельно. Болотистые берега обычно не используются для пляжеобразования или гидротехнического строительства, поскольку в их пределах, для закрепления территории и проведения строительства, необходимы очень затратные мелиоративные работы.

Поэтому приглубые расчлененные берега, например, фьордовые и риасовые, используются для строительства морских портов и населенных пунктов. Например, удобными портами являются Генуя, Ла-Корунья, Бильбао, Осло, Тронхейм, Рейкьявик, Севастополь, Находка. Относительно небольшой сток речных наносов, даже крупных рек, благоприятен для строительства в их устьях судоходных каналов. Примерами могут быть подходные и транзитные каналы к портам Рига, Щецин, Николаев, Керчь, Находка, Тунис, Южный и др.

В природной и любой другой географии нет другой отраслевой (межотраслевой) науки, которая имела бы такой же объект исследования и была бы столь востребованной, как береговедение. В этой связи вполне своевременным оказалось выделение соответствующей междисциплинарной географической науки «*береговедение*» (Бровко, Лымарев, 1997; Айбулатов, 2005; Шуйский, 2000 а, 2018). Она исследует в комплексе особую часть географической оболочки, с учетом географических методов, принципов, подходов, степени развитости общей географии и «*закона географической локальности Шуйского*» (Исаченко, 1979; Шуйский, 2015 а, 2018, 2019 а).

Особенности выражаются в высочайшем энергетическом потенциале, в сильной динамичности; у экзогенных природных систем аналогов практически нет. Объект науки выражен в контактном состоянии между Сушей и Океаном, в линейности строения в виде широкой полосы на среднемасштабных и крупномасштабных картах и проч. (см. § 3).

Ряд авторов рассматривает береговую зону как мощнейший физический, гидролого-химический, седиментационный барьер на Земле (Марков, 1980; Шуйский, 1986; Емельянов, 1998; Леонтьев, 2001). Физическая составляющая данного океанического барьера, кроме высочайшей энергетической концентрации волнового поля, характеризуется также проявлением необычных волновых явлений, причем, для волн ветровых, приливных, анемобарических, стоковых, плотностных. Химические процессы выражены растворением различных пород, в частности, гипсов, галлита, известняков разных типов и проч., колебаниями химического состава растворов в береговой зоне. К тому же влияние поверхностного и подземного стока с суши привносит различные растворы, но они другие по сравнению с прибрежными автохтонными, и в смеси с морской водой континентальные химически преобразуются под влиянием смешения. Соответственно, обитающие на подводном склоне животные и растения различно усваивают различные минеральные и органические соединения. Они приспособлены к такому гидрохимическому режиму, чего нет в открытом океане. В прибрежных водах над подводным склоном одни живые организмы накапливают те или иные химические элементы, другие избавляются от этих же элементов. Коагуляция выводит из оборота третью группу элементов. Прямое выпадение пресных вод в виде атмосферных осадков на поверхность акватории Океана приводит к развитию других механизмов перемешивания вод (Залогин, 1983; Емельянов, 1998).

Прибрежно-морские организмы, прежде всего бентосные, приспособлены к активным перемещениям наносов, к значительным вертикальным и горизонтальным деформациям форм рельефа, сложенных неконсолидированными наносами, а также еще способные намертво закрепиться на скалистом субстрате. Как видим, даже подбор строительных материалов для того или иного сооружения, постройки, детали в береговой зоне моря должны учитываться, чтобы избежать загрязнений воды или порчи сооружения и сохранить неповторимую растительность и животных.

Объект исследования оригинален и неповторим, имеет свои теоретические подходы, собственную методику исследований, свой

путь развития и взаимодействие с другими объектами географической оболочки. Результаты таких же исследований не может дать ни одна из географических наук (отраслевых и междисциплинарных). В этом видится вклад береговедения в развитие географической науки в целом. Весьма актуальным теоретическим вопросом является маркировка границ отдельных природных систем различной иерархии и разного уровня организации на Суше, как и в пределах береговой зоны и открытого Океана. Одновременно в них во всех формируются составные элементы, составные механизмы взаимодействия, процессы формирования комплекса элементов, находящихся во взаимодействии, представляющие собой строгую иерархию таксонов в пределах различных подсистем береговой зоны.

С другой стороны, во всех системах географической оболочки развивается взаимодействие с соседними системами в виде внешне-го взаимодействия. Поэтому обозначаются «зоны взаимодействия», что дает повод Д. Л. Арманду, С. В. Калеснику, Ф. Н. Милькову, А. Н. Хименесу, Я. Демеку, Д. Каневу, говорить, что *ландшафтные* системы (на Суше) не имеют четких границ. Они имеют переходные «зоны», «полосы», «среды соприкосновения», оконтуривающие ядро системы. Однако, смеем утверждать, что *аквашафты* береговой зоны гораздо более четко разделены с соседними. В качестве примера обратимся к схеме «границных зон» из книги Е. И. Игнатова (Игнатов, 2004) и работ Е. И. Арчикова (Арчиков, 1986), построенных на геоморфологической основе. Конечно, схемы как нельзя более подходящие для развития до положения граничных зон физико-географической системы, с указанием не только рельефа (Рис. 26, 32). Автор (Игнатов, 2004), по всей видимости, и сам понимает преимущества физико-географической схемы, поскольку к чисто геоморфологическим показателям рельефа привлек и другие, например, гидродинамическое строение волнового поля, единицы возможной дифференциации системы, геологическое строение и черты палеогеографии, количество и состав наносов.

Вместе с тем, границы между литологическими системами движения наносов, между залеганием отложений и коренных пород прослежены четко, благодаря примененным методам вибропоршневого бурения и расчетам вдольбереговых энергетических треугольников

(Буданов, 1964; Шуйский и др., 2015 б). Также четкими являются границы между берегом и подводным склоном, между отдельными формами рельефа на морском берегу, а значит – между отдельными растительными ассоциациями, распространением животных, увлажнением поверхности, составом наносов и другими элементами аквашафта. Считаю показательным, что ряд авторов (Арчиков, 1986; Петров, 1989; Бровко, 1990; Выхованец, 2003; Игнатов, 2004) привел пространственные схемы структур береговой зоны по данным гидрографической съемки той или иной береговой системы. Этим они дополняют двухмерное изображение системы более полным трехмерным, более эффективным и представительным.

И эти зоны, полосы, среды (Рис. 32, 33) имеют условный характер. Поэтому, одним из узловых направлений дальнейшего развития береговедения надо считать исследования границ между природными системами различной иерархии по их разным происхождениям, структурам, свойствам, динамике, дальнейшей эволюции.

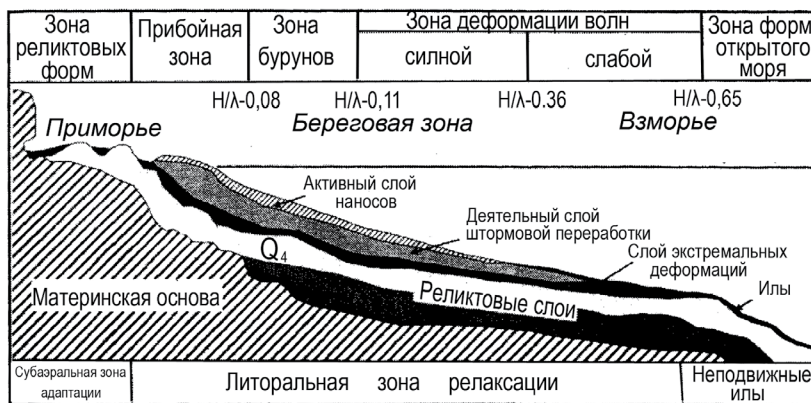


Рис. 33. Общая схема граничных зон в пределах элементарной прибрежно-морской морфосистемы (Игнатов, 2004). Параметры граничных гидродинамических условий даны по В.В. Лонгинову (Лонгинов, 1963).

При этом рекомендуется стремиться к отображению как можно более полного перечня физико-географических элементов и компонентов, их размеров и характеристик.

Природная система береговой зоны, именно в силу своего географического положения, размеров и формы, с площадью 7,5 млн км², является особой географической средой в пределах неприливных и приливных морей. Необычность среды обусловлена тем, что принадлежит не единственной лишь геосфере в составе географической оболочки (или литосфере, или атмосфере, или гидросфере, или биосфере, или антропосфере). Здесь исторически сложилась генетически единая система, в которой принимают также достаточно весомое участие части всех сфер географической оболочки одновременно. Их тесное взаимодействие поддается системному саморегулированию. Скажем, природные системы в составе атмосферы отличаются от природных систем в составе отдельно гидросферы или литосферы. Ведь в пределах литосферы сложились собственные природные системы, как и в составе гидросферы и биосферы (Арманд, 1975; Арчиков, 1986; Игнатов, 2004). При этом все сферы взаимодействуют между собой, и взаимодействие реализуется не всей системой напрямую, непосредственно, сразу не задействуя все ее пространство. Так, атмосфера и литосфера взаимодействуют соприкасающимися поверхностями так, как атмосфера и большая часть гидросферы, как и гидросфера с литосферой. Относительно процессов взаимопроникновения компонентов отдельных сфер считаю, что они наиболее интенсивны вдоль внешних контуров, где расходуется $\geq 90\%$ их энергии и массы. Но внутренние части сфер таким процессам практически не подвергаются, они обладают стойкостью саморегулирования за счет функционирования окружающих внешних условий, согласно «закону окружающего влияния» (Шуйский, 2018, с. 308).

Считаем важными для береговедения особенности биосферы, основная руководящая биота которой занимает поверхность литосферы. Так что же на самом деле перед нами предстает: биота на поверхности литосферы (т.е. с позиций биосферы) или литосфера, прикрытая растениями, животными, грибами (т.е. с позиций поверхности литосферы)? Правда, отдельные живые организмы обитают в среде атмосферы, но не занимают там положения обязательного повсеместного элемента системы. Это могут позволить

себе некоторые виды морских птиц или мошек, но все-таки даже они рождаются в основном на поверхности Земли, и составляют скорее исключение, чем правило. Часть растений и животных обитает в водной толще водоемов и в поверхностном горизонте литосферы. Как видим, биосфера характеризуется особой структурой и единого, одномерного целого не представляет. Чаще она выступает как составной элемент других сфер, а единство ее в значительной мере является условным. Пока остановимся на этой теоретической позиции.

На этом фоне мощная концентрированная («кумулятивная») механическая энергия морских волн и волновых течений на мелководье береговой зоны оказывает столь же сильное воздействие на отдельные элементы всех остальных сфер Земли в составе береговой зоны Океана. В сферу их влияния попадают горные породы, массы воды и воздуха, живые организмы, антропогенные объекты одновременно. Другими словами, в одном месте, в одно время, в зону влияния потока энергии одной и той же природы попадают компоненты и структурные элементы всех мегачастей географической оболочки на контакте «Суша – Океан». Не вся мегачасть геосферы, а ее отдельные элементы, из которых геосфера состоит. *Ни в одной другой экзогенной среде Земли столь тесного и многофакторного взаимовлияния, взаимодействия не происходит природно организованной эволюции естественных таксонов.* Эти явления объясняются всеми вместе взятыми теоретическими принципами, научными положениями, закономерностями строения и развития береговой зоны Мирового океана. Этот объект береговедения требует владения материалами о природе Суши, в равной мере материалами о природе Океана и Атмосферы, а главное – четким, ясным, в полном виде владением материалами, представлениями и выводами о природе береговой зоны моря.

Кроме того, следует помнить, что в составе географии имеются науки, исследующие каждую сферу географической оболочки и отдельные составляющие сфер. Одновременно эти же науки используются береговедением (геология, метеорология, гидрология, океанология, биогеография, геоботаника и др.). В процессе их

использования *береговедение выполняет методические и теоретические разработки, привносящие в названные науки свой ответный вклад и расширяющие возможности и геологии, и метеорологии, и океанологии, и биогеографии.* Так, например, в фаціальных условиях береговой зоны происходит коренное преобразование осадочного материала различного состава, сносимого с суши постоянными и временными водотоками (Шуйский, 1986, 2018; Шуйский, Выхованец, 1989). Это порождает особый тип седиментации и связанного с ним процесса рудообразования (Аксенов, 1972; Айбулатов, 1990; Емельянов, 1998).

Для оценок скоростей абразии используются данные геоморфологии, грунтоведения и инженерной геологии, в частности, – о физико-механических свойствах горных пород, их способности к растворению, выветриванию, к снабжению осадочным материалом, к распространению разных скоростей и типов абразии. Как правило, перед различными полевыми исследованиями производится прибрежно-морское картографирование разного масштаба. При этом используются условные обозначения, рекомендованные Международной Ассоциацией по изучению четвертичного периода (INQUA). Несомненно, что в данном случае также используются научно-практические положения географической картографии. Результаты таких исследований существенно обогащают литологию, океанологию, метеорологию, картографию, а гидробиология получает данные о концентрации взвеси в прибрежной воде и её влиянии на планктонные организмы, состав и динамику донного субстрата.

Береговедение активно воздействует и на морскую картографию, в части составления и корректировки навигационных карт для прибрежных мелководий и также отдельных крупномасштабных карт подходов к морским портам. Такие карты отображают очень динамичный подводный склон моря, часто меняющийся состав наносов («*донных грунтов*»), положение береговых линий аккумулятивного и абразионного типов, особый характер развития морских волн, наличие и режим волновых течений, весьма специфические взаимодействия искусственных форм рельефа со структурой

волнового поля и различными подвижками наносов. Все это отличает прибрежные мелководья в средах береговой зоны моря на разных широтах, в различных морях, океанах, заливах, устьевых областях рек и проч. от условий в открытой акватории моря (океана). Все это требует различных методов и подходов исследования, в отличие от методов общей океанологии, физики моря, морских гидрологических прогнозов и экологии моря. Таким образом *прибрежно-морские исследования оказывают влияние не только на географию в целом, но и в определенной мере на отдельные географические науки, изучающие те или иные сферы и сектора географической оболочки.*

Такое свойство береговедения оказывает существенное влияние и на реальную структуризацию этой науки, а, следовательно, – и на её практическое значение (Стоян, 2010). Как можно видеть (Рис. 34), её основными структурными частями являются: гидродинамика, литодинамика, морфодинамика, раздел неволновых процессов и береговая палеогеография. На их базе, материалах и выводах, становится возможной инженерное береговедение и определяется ее практическая значимость. Такая схема действует повсеместно, для береговой зоны всех морей и океанов при проектных разработках и развитии теории науки. По этой схеме в данной нашей книге и рассматриваются: вначале внутринаучное значение (§ 4), образовательное значение (§ 5) и инженерно-практическое значение (§ 6-9). Надо подчеркнуть обязательный учет всех структурных частей береговедения во время любого практического действия, учет взаимодействия надводной и подводной частей береговой зоны, учет методологических особенностей береговедения.

Как экзогенный объект географической оболочки, береговая зона обязательно подвержена влиянию световой энергии Солнца. В пределах данной географической системы она трансформируется в тепловую, биологическую, химическую энергию, и все они действуют в береговой зоне, как и на суше. Однако, в отличие от природных систем суши («ландшафтов»), прибрежно-морские системы разного уровня организации, разной иерархии и разные таксоны, находятся под доминирующим влиянием потоков механической энергии и осадочного вещества в экзогенной среде морских побережий.



Рис. 34. Блок-схема структуры и практического значения береговедения по данным ретроспективного анализа.

Вместе с тем, например, авторы работ (Петров, 1989; Мануйлов, 1990) стремятся морскую биологию построить на ландшафтном фундаменте, с применением потоков вещества и энергии в условиях суши, что бесперспективно в связи с генетическими отличиями береговой зоны моря. А аналогичные подходы в работах В. П. Воровки (Воровка, 2016, 2017) делают его «фундаментальные» выводы

неприменимыми в практике хозяйственной деятельности в береговой зоне Азовского и других морей. Однако, как и на суше, в береговой зоне непрерывно действуют гравитационная, электрическая, магнитная энергия, что также часто учитывается при природном обосновании различных видов природопользования (Лымарев, 2004; Ильин и др., 2013; Берлинский и др., 2021). Очень важные генетические отличия береговой зоны показывают, что *в природе больше нет таких элементов и компонентов, которые развиваются, используя при этом водородную механическую энергию волн разных типов и размеров в пределах контактной природной среды «Суша—Океан».*

Таким образом, повторяем, в береговой зоне морей и океанов абсолютно распространенным и действенным выступает механический вид энергии, в отличие от *ландшафтов суши, талассогенов толщи воды и дна океана.* Меньшинство географических наук, которые изучают природные системы, формирующиеся и эволюционирующие механическим видом энергии как руководящим (Григорьев, 1966; Лямин, 2012). С увеличением энергетического потенциала береговой зоны растут размеры и количество элементов воздействия механической энергии и сокращаются «неволновые» элементы в разных прибрежно-морских системах в береговой зоне (Зенкович, 1962; Игнатов, 2004; Пешков, 2005). Уменьшение волнового энергетического потенциала и снижение степени его влияния ведет к росту размеров и заметно более широкой распространенности «неволновых» элементов (Рис. 34). Все перечисленные особенности береговедения в целом усиливают разнообразие составляющих географической оболочки Земли. Самое важное здесь видится в том, что перечисленные особенности совершенствуют и развивают ландшафтоведение по схеме обратной связи. Эта географическая наука обогащается береговедением и значительно расширяет возможности береговедения по достижению оптимального природопользования. Это важно учитывать в различных практических приложениях науки о береговой зоне моря. В географии вообще практические приложения выигрывают, если пользуются соответствующим опытом не одной, а нескольких наук.

В береговой зоне моря действие механических факторов ведет к зарождению и образованию специфических форм рельефа. Ряд авторов (Зенкович, 1962; Арчиков, 1986; Шуйский, 1986, 2015 а; Каплин и др., 1991) разделяет их на три большие группы. Первая группа включает в себя те, которые выражены в виде современных морфоскульптур рельефа гидрогенного происхождения. Вторая группа включает в себя прибрежно-морские формы рельефа «неволевого» происхождения (хемогенные, биогенные, термогенные, эоловые, ледовые и др.), а третья группа – исходные, коренные формы рельефа, практически не затронутые гидрогенными факторами в береговой зоне на протяжении голоцена.



Рис. 35. Типичный активный глинистый клиф с очень небольшим прислоненным заиленным пляжем, который не в состоянии защитить берег от абразии

К гидрогенным формам отнесены клифы, бенчи, останцы различных видов и типов (в т.ч. *кекуры*) в береговой зоне разных морей и океанов. Такие формы быстро разрушаются вместе с постройками

(Рис. 35, 36, 37). Формы волнового разрушения весьма разнообразны в разных частях береговой зоны (Bird, 1985; Долотов, 1989; Шуйский, 2000 б, 2018). Это значит, что они возникли и развиваются в различных физико-географических условиях.



Рис. 36. Несмотря на защитную каменную наброску у подножья активного клифа, за период около 50 лет полностью был разрушен мост через естественный водоток Люстдорфской балки под влиянием абразии со средней скоростью 1,3 м/год (фото Ю. Д. Шуйского в 1978 г.)

Среди аккумулятивных форм находим прислоненные террасы, косы одностороннего и двустороннего питания, бары, островные формы и др. Встречается рельеф, созданный накоплениями ракуши, коралловым, тростниковым, мангровым детритом. Все это ведет к тому, что в общей геоморфологии возник и развивается раздел о прибрежно-морских формах рельефа, в литологии – раздел о прибрежно-морских отложениях, в криологии – раздел о преобразовании вечной мерзлоты в осадочный материал. Поэтому настойчиво подчеркну: *перед антропогенным влиянием определяется прежде всего группа, подгруппа и отдельная форма прибрежно-морского*

рельефа со всем перечнем элементов системы (например, Рис. 26, 29 и 31), а также с предварительной оценкой берега, который должен быть вовлечен в использование природных ресурсов (Рис. 35).



Рис. 37. Высокая скорость абразии обвального глинистого клифа (среднее $1,93 \text{ м/год}$ в течение 1952-2021 гг.) неукоснительно привела к разрушению части территории прибрежного поселка Лебедевка на северо-западном берегу Черного моря (фото Ю. Д. Шуйского).

Такой первоочередной шаг позволяет составить наиболее вероятный сценарий поведения береговой зоны моря в будущем, в условиях дальнейшего влияния антропогенного фактора. Соответственно, выстраивается цель и основные задачи, техническое задание, календарный план выполнения проекта, использование различных директивных документов, последовательность проектирования, расчет капитальности и проч. При этом не меньшее значение придается перечню приборов и оборудования для полевых исследований, а также и лабораторной базе, и возможностям камеральной обработки, в т.ч. и состава наносов (Рис. 38).

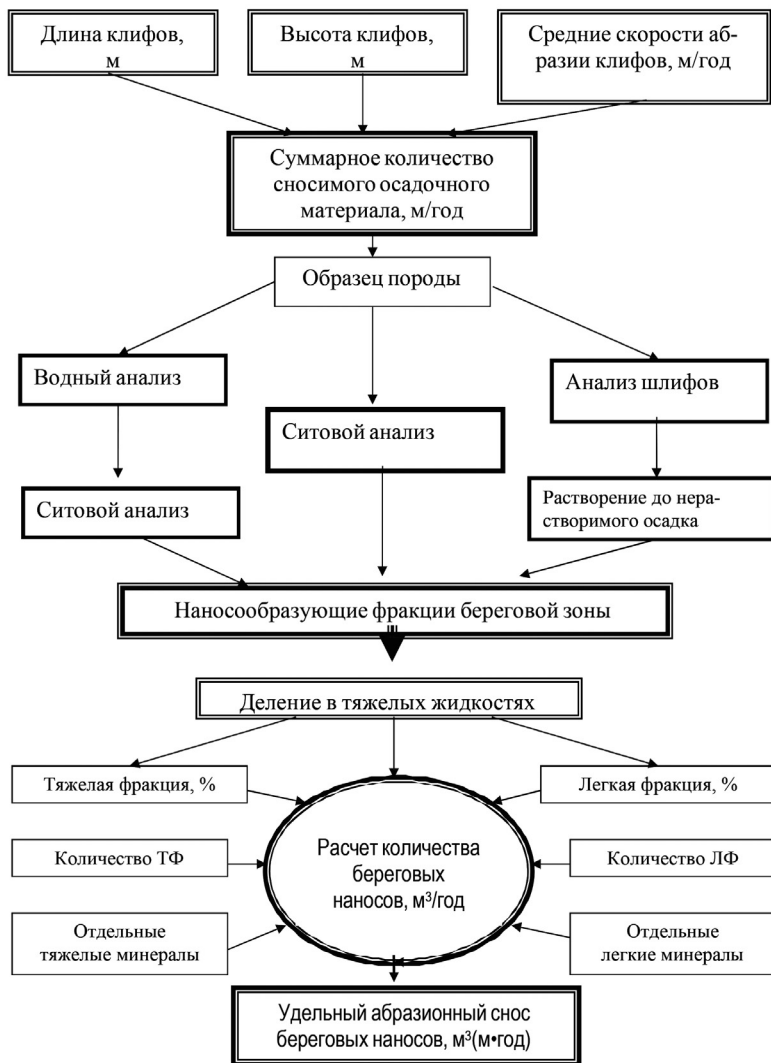


Рис. 38. Схема преобразования осадочного материала из клифов в фациальных условиях береговой зоны моря: моделирование камеральной обработкой образцов коренных пород (Шуйский, 1986).

Лед образует формы ледового выпахивания, а в условиях криолитозоны создаются формы термоабразии и термокарста. В частности,

в северной части Черного моря, на Азовском, Балтийском и Охотском морях наиболее широко известно влияние ледостава и плавучего льда на волновую переработку морских берегов (Рис. 39).



Рис. 39. Во время волнения (высота волны $\approx 1,5$ м) плавучий лед защищает гравийно-галечный пляж от штормового размыва на Охотской косе, северо-западный берег Охотского моря (фото Ю. Д. Шуйского).

Так, ледовые явления изучены А. Б. Муркаловым (Муркалов, 2013) между устьями Днепра и Днестра на Черном море, в том числе литодинамическую функцию морского льда по выносу осадочного материала из береговой зоны в открытое море. В работах Г. А. Сафьянова (Сафьянов, 1978, 2006) находим теоретическое положение, по которому продолжительность ледового периода может определять «возраст береговой зоны». В книге К. К. Орвику (Орвику, 1974) приводятся материалы, по которым подтверждается вывод Г. А. Сафьянова и иллюстрируется механическое влияние льда на береговой рельеф Балтийского моря.

Ледовый режим любого моря важно учитывать при проектировании, строительстве, эксплуатации портовых, берегозащитных, навигационных, иных сооружений, согласно выводам работы

(Яковенко, 1985) и исследованиям Ф. Э. Арэ и его сотрудников (Арэ, 1980) на различных морях: (Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском, Чукотском, Бофорта и др.).

Повсеместное, общегеографическое значение во всей береговой зоне Мирового океана имеет состав наносов. Часто он отражает различную степень влияния волнового режима, режима волновых течений, рельефа берега и подводного склона, источников питания наносами, контуров береговой линии и проч. Поэтому состав наносов волнового поля является одним из важнейших индикаторов направления и интенсивности развития береговой зоны, в том числе и под влиянием антропогенного фактора. В этой связи подходы и методы исследований или изысканий при хозяйственном освоении береговой зоны должны быть различными: одни при залегании песчаных наносов, другие – при залегании ракушечных наносов, третьи – при залегании гравийно-галечных наносов и т.д. (Рис. 31). То же относится и к количеству наносов, слагающих аккумулятивные формы разных типов и классов, согласно закону географической локальности. Это связано с тем, что режимы развития кос, баров, террас и др. заметно различаются (Зенкович, 1962; Каплин и др., 1991).

Во время исследований прибрежно-морского аккумулятивного рельефа рекомендуем обязательно обращать внимание на морфодинамику не только гидрогенных, но также и эоловых факторов в береговой зоне. Особенно актуально это для песчаных аккумулятивных форм в районах транзита и разгрузки вдольбереговых потоков наносов и в условиях нормального или избыточного насыщения наносами береговой зоны морей и при результативном действии ветровых потоков от морского сектора горизонта (Выхованец, 1987, 2001, 2003; Рябкова, Краснов, 2001). Именно в этих районах лучше всего развит песчаный пляж, который, согласно экспериментам К. Хорикавы (Horikawa, 1988) и его сотрудников, является основным элементом, который питает дюнные формы рельефа в береговой зоне. Чаще всего дюнные формы начинаются в «тыльной», верхней части пляжа, могут состоять из двух-четырех гряд («*aeolian ridges*») или основной гряды с отдельными холмиками («*coastal dune hummocks*») за ней (Ehlers, 1988; Dune, European Coasts, 1990).

Максимальная высота береговых дюн встречается на небольшом числе береговых районов, где она может достигать десятков и, даже – сотен, метров (например: на Лебской, Вислинской и Куршской косах на Балтийском море, на побережье Бискайского и Мексиканского заливов).

Наиболее важное значение имеет та береговая дюна, которая находится ближе всего к морю (Рис. 40). Она размывается, но быстро восстанавливается, в течение года-полтора. Во время сильных штормов она сильнее всего размывается волнами, но при этом такой размыв пополняет береговую зону наносами, питает вдольбереговой поток наносов, сокращает дефицит наносов и поддерживает целостность и устойчивость аккумулятивных форм рельефа в районах транзита и разгрузки потока.



Рис. 40. Послештормовое восстановление береговой песчаной авантюны (высота 8 м) на восточном берегу Балтийского моря (фото Ю. Д. Шуйского).

Давно доказано (Шуйский, Выхованец, 1989, 2011; Выхованец, 2003), что дюны обычно бывают резервным запасом наносов в

береговой зоне морей, особенно – Азовского, Черного, Балтийского, Охотского. Специалист-географ должен это прекрасно знать, тем более – во время природного обоснования разных видов природопользования в береговой зоне моря (океана). Заметим, что устойчивость аккумулятивных форм берегового рельефа весьма тесно связана с гидрогенной дифференциацией осадочного материала в силовом поле волновой энергии.

Поэтому, для более полной характеристики аккумулятивных форм прибрежно-морского рельефа нами разработана специальная схема аналитической обработки образцов для расчета абразионного сноса осадочного материала и гидрогенной дифференциации исходного осадочного материала в фациальных условиях береговой зоны моря, на примере образца из активного клифа (Рис. 38). По сути, выполнено имитационное моделирование процесса преобразования, гидрогенной дифференциации осадочного материала.

Вначале устанавливается удельное количество сноса в море. Потом берутся образцы осадка из разных источников (речных, абразионных, золовых, вулканических и проч.), в данном случае из клифа. Материал дробится, разделяется водным, ситовым, другими видами камеральной обработки для выделения пляжеобразующих фракций; их состав выявляется по данным опробования на исследованном участке береговой зоны моря (Шуйский, 1983, 1986). Устанавливаются характеристики формы и окатанности наносов волнового поля. Далее эти наносы разделяются в тяжелых жидкостях, вычисляются валовые и конкретные содержания тяжелой и легкой фракций, выполняется их пересчет на фактическое количество отдельных минералов в группах легких и тяжелых минералов в отобранных из клифов образцах (Рис. 37). Такая же процедура обработки образцов исходного осадочного материала применяется для образцов из рек, из береговых дюн, с подводного склона, из вулканических источников и проч. Подобные схемы позволяют рассчитывать значения положительных и отрицательных элементов баланса наносов в береговой зоне Мирового океана вообще, что весьма важно для оптимизации любого вида прибрежно-морского природопользования.

Перечисленные особенности природной организации береговой зоны во время проектных или предпроектных изысканий отражают влияние береговедения на другие науки (Арчиков, 1986; Бровка, Лымарев, 1997; Шуйский, 2014, 2018). Ведь в процессе таких изысканий и камеральной обработки полученных материалов приобретает опыт, который приводит к совершенствованию береговедения. Но вместе с тем и другие географические и негеографические науки оказывают воздействие на береговедение, и наоборот. Следовательно, на протяжении всей истории формирования береговедения существовало генетическое и непрерывное взаимопроникновение материалов, идей, выводов, подходов, принципов, методов, которые совершенствовали систему всех географических наук в целом (см. подраздел 1.3 и 1.4). Все это дает основание утверждать важное внутригеографическое значение береговедения.

§ 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ БЕРЕГОВЕДЕНИЯ

Поскольку береговая зона Мирового океана является частью географической оболочки, то береговедение («*coastal sciences*») входит в число учебных дисциплин географических специальностей во всем мире, а особенно – в тех странах, которые выходят своей территорией к морю и развивают морское хозяйство (Зенкович и др., 1967; Леонтьев и др. 1975; Марков, 1980; Walker, 1988). Эта наука расширяет и углубляет профессиональный кругозор специалиста-географа не только общей физико-географической специализации, но также и географа-геоморфолога, географа-метеоролога, географа-картографа, географа-гидролога, географа-океанолога и др. Береговедение как учебный предмет имеет особое значение для Украины. Эта страна очень плотно осваивает природопользование на морских побережьях, а поэтому подготовке географов-береговедов в университетах следует уделять самое пристальное внимание, как и во всех остальных приморских странах во имя избежания грубых природопользовательских ошибок.

Прежде всего определяется место береговедения в учебной программе. Понятно, что студенты должны быть хорошо подготовлены к восприятию этого весьма сложного предмета. Они должны быть знакомы с физикой, химией, математикой, астрономией, биологией и, конечно, с основополагающими географическими («классическими») дисциплинами. Студенты должны владеть необходимыми приборами, оборудованием, гаджетами, уметь выполнять съемки тахеометрическую, мензурную, прибрежно-морскую, дистанционную, гидрографическую, производить расчеты, визуальные и инструментальные описания во время маршрутных исследований. Каждый студент должен научиться выполнять стационарные исследования в различных натуральных физико-географических условиях и уметь их обработать в лаборатории. Все перечисленные навыки студент должен получить на учебных практиках и на практических занятиях в учебных лабораториях. Получается, что к восприятию береговедения студент-географ готов ко второму семестру III курса (к 6-му

семестру обучения). Соответственно, учебная практика должна планироваться в летнее время после III курса. Возможно продолжение этой практики в изыскательских, проектных и исследовательских организациях морской и навигационной направленности.

Теоретический курс береговедения рассчитывается на 74-85 часов, из которых 30-40% должны занимать практические занятия. Летняя полевая практика в оптимальном объеме составляет 3-5 недель. Материалы всех полевых практик используются для написания докладов на студенческую научную конференцию, для студенческих конкурсных работ и олимпиад, для студенческих публикаций, для задела исследовательского материала по магистерской программе, для написания квалификационных работ – бакалавра и магистра. Именно длительные полевые натурные исследования кладутся в основу научных магистерских работ, что важно для освоения динамического объекта береговой зоны моря. В ряде случаев полученные материалы служат началом диссертационных работ. При этом руководящим принципом является неразрывная работа студента над теорией и практическими занятиями, и как правило – над разными разделами одной темы.

Например, магистерская работа на тему об аккумулятивных формах береговой зоны моря может быть начата на 3 курсе с темы об анализе истории исследований этих форм и их сравнений. В дальнейшем она продолжается в виде анализа общих окружающих физико-географических условий на 8 семестре, о закономерностях гидродинамических и литодинамических процессов на 10 семестре и о содержании основной части работы на 12 семестре. Крайне вредной считаю коренную смену тематики студенческих научных работ в течение всего периода обучения прибрежно-морской тематике.

Рабочая программа по береговедению для студента-географа должна предусматривать несколько блоков: *а)* история науки и закономерности её формирования; *б)* гидродинамика береговой зоны; *в)* морфодинамика береговой зоны; *г)* неволновые процессы в береговой зоне; *д)* понятия о палеогеографии морских побережий; *е)* основы береговедения и их приложения в хозяйственной практике и проектных изысканиях (Рис. 34). Восприятие всех этих блоков

базируется на усвоении тех учебных дисциплин, которые описывают все сферы географической оболочки, элементы которых взаимодействуют между собой в береговой зоне Мирового океана. Нелишнее здесь заметить, что полный курс береговедения и проведение береговых практик на Украине производится только в Одесском национальном университете имени И. И. Мечникова. Подобные правила организации учебного процесса по береговедению должны исполняться на фоне всеобщих государственных положений концепции географического образования в нашей стране (Шуйский, 2021 а).

Для геолога-«поисковика», исследующего осадочные породы, важно знать условия их формирования и залегания, в том числе и в береговой зоне – прибрежно-морского генезиса. В этой связи нет сомнений в том, что при подготовке таких специалистов в учебных заведениях следует читать курс береговедения, но иначе, чем для географов. В нем надо делать упор на основы литодинамики береговой зоны (Ehlers, 1988; Айбулатов, 1990; Бровко, 1990; Стоян, 2010; Шуйский, 2000 б). Студенты должны знать условия и характеристики сноса осадочного материала (полное понятие «питающие провинции»), его количество и состав, условия механической дезинтеграции в прибрежно-морских фациальных обстановках, закономерности дезинтеграции по гидравлической крупности, вовлечения во вдольбереговые потоки наносов и поперечные миграции наносов, распределения по трассе потока или миграции в пределах литодинамических систем, характер распределения на пляже и на разных глубинах подводного склона. Обязательна информация о формировании процессов обезвоживания, цементации и кристаллизации осадка, о формировании структуры, слоистости, контактных поверхностей. В учебниках указывается, какова при этом связь с гидродинамикой и морфодинамикой береговой зоны, чтобы можно было бы объяснить состав, структуру толщ и количество наносов на том или ином участке каждой литодинамической системы. Весьма ценно диагностировать частицы песчаных наносов, размер которых принимают многие минералы: ильменит, рутил, циркон, монацит, гроссуляр, шеелит, касситерит и др. Зная закономерности распределения отсепарированных наносов в той или иной

литодинамической системе («прибрежно-морские фации»), в алевритах и песках можно определить очаги накопления наносов с определенной гидравлической крупностью: фракции легкую, тяжелую, очень тяжелую и др. (Рис. 38). В итоге можно вести поиски полезных минералов на том или ином участке (зарождения, транзита, разгрузки) вдольберегового потока или режима поперечных миграций наносов на разных глубинах (Зенкович, 1962; Леонтьев и др., 1975; Сафьянов, 1978; Шуйский, 1986; Шуйский и др., 2015 б). Например, среди тяжелых полезными являются рудные, среди легких полезным может быть кварц для стекольного производства и полиминеральные пески для строительных нужд. При этом в учебники можно внести текстурные признаки как поисковые для древних накоплений. В них тоже могут быть повышенные концентрации полезных минералов, строительные гравийно-галечные смеси.

Еще одним важным примером можно считать древние аккумулятивные формы, состоящие из морских железистых песков на Керченском полуострове и на прилегающем дне Черного моря. Зная закономерности размещения аккумулятивных форм в береговой зоне современных морей, *морской геолог* может разработать поисковые признаки на залегание прибрежно-морских фаций по вертикали и горизонтали, на формы древних морей, в которых содержатся либо соединения редких и рассеянных химических элементов, либо соединения железа или марганца. Часто пески (песчаники) и известняки разных типов в древних прибрежно-морских аккумулятивных формах являются средой концентрации, вместилищами нефти и газа, а знания закономерностей расположения этих форм позволяют специалисту-геологу обнаружить нефтегазовые месторождения. Чтобы рассчитать поисковые признаки ископаемых и определить расположение их очагов в береговой зоне специалисту-геологу потребуются надежные знания не только о литосфере, но также и о гидросфере, атмосфере, биосфере, антропогенезе. Но такими знаниями, квалификацией и практическими навыками, без последующего дополнительного образования, обладает физико-географ-комплексник, изучавший океанологию и береговедение. Видимо, в данном случае есть смысл включать в состав геологических учреждений

и предприятий соответствующих специалистов географов с физико-географическим образованием.

В учебном процессе *инженеры-геологи* должны гораздо больше времени, чем геологи-осадочники и морские геологи, уделять познанию береговедения. Это связано с их участием в изысканиях под строительство селитебных и рекреационных объектов, промышленных, транспортных, рыбопромысловых, горнодобывающих и иных предприятий на морском побережье, в береговой зоне и на шельфовом дне, начиная от работ Н. М. Герсеванова (Герсеванов, 1861-1862) и Г. Хагена (Hagen, 1863).

Конечно же, знание закономерностей развития и свойств природы береговой зоны позволяют им, со своей точки зрения, оценивать расположение сооружений и зданий в береговой зоне. Особенно большое значение для них имеют экзогенные процессы, формирование инженерно-геологических свойств горных пород и донных осадков (влажность, пластичность, текучесть, водопроницаемость и др.), физико-химических свойств горных пород разного генезиса, переработка берегов водохранилищ и др. Для морских побережий береговедение дает информацию о «береговой геодинамике». Хотя термин «геодинамика» подразумевает охват всей географической оболочки. А в данном случае речь идет о береговой зоне и новейших побережьях, которые подвержены влиянию прибрежно-морской («*аквашафтной*») динамике, несравненно более интенсивной, – в масштабе не геологическом, а в измерении «*сегодняшнего дня*», первых десятилетий или столетия в целом. Такие вопросы профессиональной подготовки студентов по инженерной геологии требуют включения в учебные планы основ береговедения как географической науки. Это как раз и формирует профессиональную логику геолога не в масштабе сотен тысяч или миллионов лет, а в масштабе указанных десятилетий или столетия в целом.

Надо вспомнить, что береговая зона моря является местом интенсивного природопользования и застройки. Проектирование застройки и самих сооружений выполняется *архитекторами и строителями*, которые должны знать благоприятные и неблагоприятные природные условия, чтобы обеспечить безопасность зданий

и сооружений, сохранить полезные свойства береговой зоны, не допустить потери береговой территории, учесть значимость структуры Рис. 32, 33, 34, 35. Каждый фундамент, основание, здание, сооружение должны быть «вписаны» в природную систему, в прибрежно-морской «аквашафт». В этом состоит смысл *антропогенной геоморфологии*. Для этого студентам нужно знать все основные особенности структуры береговой зоны и закономерности её развития (см. § 3), по Ю. Д. Шуйскому (Шуйский, 1986, 2018). Здесь прежде всего следует учитывать динамичность и очень быструю реакцию природы на строительные мероприятия, на любое другое вмешательство человека в естественную береговую зону. В этой связи целесообразно рекомендуется полевая натурная практика в районы концентрации разнообразных портовых сооружений с целью выработать навыки учащихся для оценки состояния сооружений, в процессе взаимовлияния сооружений с природными прибрежно-морскими процессами и явлениями.

Существует специально разработанная схема стратегии застройки береговой зоны, которая учитывает закономерности строения и развития береговой среды (Шуйский, 2001), подробнее в § 10. Ее принципы, положения и содержание должны освоить и применять морские гидротехники и застройщики береговой зоны. В этой связи следует обязательно разработать программу учебного курса по береговедению для *инженеров-строителей*, специалистов промышленного и гражданского строительства. Особенно актуальным береговедение является для морских инженеров-гидротехников, напрямую использующих в своей профессиональной деятельности возведение гидротехнических сооружений в береговой зоне. Это бывает при возведении молов, защитных шпор, причалов, бун, волноломов и др., а особенно – искусственных пляжей.

Основы литодинамики и гидродинамики следует знать при строительстве на приливных берегах; особенно это важно при прокладке судоходных каналов, как подходных, так и транзитных. В данном случае следует учесть, что студенты строительных специальностей не слушают материал по общей и отраслевой географии, не знакомы с методикой географических исследований, в общем не приучены

воспринимать основные принципы и научные положения береговедения (см. текст § 3). Определенные трудности представляет восприятие студентами динамичности, изменений рельефа, быстрого переноса огромной массы обломочного материала, а значит – часто повышенных усилий воздействия гидродинамических сил на основания и фундаменты, трубопроводы, кабели связи и проч., что требует особого к ним подхода при проектировании.

Жесткость, неизменность формы и массы, стабильность строительных конструкций входит в противоречие с естественной динамичностью береговой зоны во время штормов и общего изменения климата, влияния выветривания, действия ураганов, муссонов, цунами. Как известно (Шуйский, 1986, 2000 б, 2018; Шуйский, Выхованец, 1989), сопротивляемость действующим силам (факторам влияния) в условиях высочайшей концентрации волновой энергии на прибрежной акватории у пляжей, пересыпей, баров, кос, береговых дуг, оффсетов и прочих элементов береговой зоны обеспечивается прежде всего их подвижностью, динамичностью, видоизменением, в быстром преобразовании из одного элемента в другой.

Искусственные конструкции (*антропогенные формы берегового рельефа*) предназначены для противоположно иных свойств – они должны быть прочными, неизменяющимися, стабильными, пассивными (Рис. 4, 6, 15). Так, ряд авторов (Егоров, 1961; Сокольников, 1976; Хомицкий, 1983; Пешков, 2005) настаивали на том, что формы волнового рельефа прибрежно-морского происхождения могут быть очень эффективными натурными моделями для весьма совершенных берегозащитных гидротехнических сооружений. Наш многолетний опыт полевых исследований взаимовлияния естественных форм рельефа и искусственных гидротехнических сооружений показал несостоятельность предложений цитированных и других авторов для береговой зоны разных морей. Естественный подвижный рельеф потому и может противостоять волновому разрушению поскольку он динамичный, эластичный, подвижный в своем взаимодействии с окружающими условиями и соседними участками береговой зоны. В таком случае естественный рельеф постоянно меняется, мгновенно реагирует на динамичную ситуацию, усиливая

свою стойкость по отношению к размыву и при этом приобретая свое самосохранение. Такими свойствами искусственный рельеф гидротехнических сооружений не обладает. Для жестких незластичных искусственных сооружений (каменных, бетонных, металлических, железобетонных, асфальтовых и некоторых других) динамичность нехарактерна и недопустима. Для них динамичность приводит к очень быстрому разрушению и выведению из строя, хотя они стоят очень дорого во время строительства и эксплуатации. Такую особенность должны себе уяснить все те специалисты, которые работают в береговой зоне морей.

Необходимость учета динамичности требуется при сильнейших механических нагрузках со стороны волнового потока на сооружения: нередки случаи, когда на них действует многократный (до 1600 раз за один шторм) динамический удар до $100-120 \text{ т/м}^2$ каждые 14-16 сек в южных широтах с очень большими длинами разгона волн на больших глубинах открытой акватории, как указывали еще П. К. Божич и Н. Н. Джунковский. Поэтому следует вводить в программу по береговедению все эти океанологическо-береговедческие вопросы для накопления опыта и навыков у учащихся. Перечисление особенностей взаимодействия искусственных сооружений и естественных объектов можно было бы продолжать, но достаточно обратиться к ряду источников (Аксентьев, 1960; Фогтланд, Шуйский, 1986; Долотов, 1989; Бровко, 1990; Григорьев, 2012), в которых анализируется состояние морского берега и влияние гидрогенных процессов на различные сооружения. Все это существенно поднимет профессиональный уровень специалистов всех строительных специальностей, но в первую очередь – морских гидротехников.

Кроме географов, геологов, биологов, строителей, в береговедческих знаниях, навыках, квалификации и умениях остро нуждаются *инженеры морского флота*. Реальный волновой режим на прибрежных мелководьях студенты должны знать для обеспечения в будущем безопасного входа и выхода из огражденных портов и устьев рек (Зенкович и др., 1967; Лонгинов, 1963; Михайлов и др., 1988). Кораблестроители должны рассчитывать прочность корпуса, также исходя из усилий для преодоления поступательных потоков

при деформациях «*волн мелководья*», особенно в циклонических «центрах» Мирового океана. Рельеф дна и гидрометеорологические условия важны для постановки судна на открытых рейдах, в том числе и для погрузочно-разгрузочных работ. Динамика подводных валов должна рассматриваться в учебных программах для понимания условий высадки на берег при нештатных ситуациях на торговых и военных судах. А если специалист планирует посвятить себя военному флоту, то такие знания важны для успешной высадки десанта, для эффективного противодействия десанту противника. Также важно учитывать структуру морских побережий, их динамику, кратковременные и длительные изменения для строительства мелких и крупных фортификаций, применения специальной маскировки, установки артиллерии, в том числе и ракетной, постановки минных и других заграждений.

Учебная программа по береговедению особенно важна для *инженеров-гидрографов* и *морских картографов*. Они особое внимание уделяют именно прибрежным мелководьям, где располагаются очень подвижные формы рельефа с высокими значениями вертикальных и горизонтальных деформаций, сложный гидродинамический режим, большие амплитуды синоптических колебаний уровня воды, необычайно высокие скорости волновых течений и усилия волновых скоростей, подвижные наносы, состав которых быстро меняется по определенным закономерностям. Обязательно изучение формирования деятельного слоя наносов и слоя волновой переработки наносов (Зенкович, 1962; Долотов, 1989; Айбулатов, 1990, 2005; Муркалов, 2013; Шуйский, 2000 б, 2018). Ситуацию осложняет достижение понимания различий природных процессов на береговых мелководьях приливных и неприливных морей. В то же время в береговой зоне располагаются порты, судоходные каналы, навигационные установки и др. Важны разработки для нанесения или корректировки подходов к портам, они изображаются обычно на крупномасштабных картах, с особой системой условных обозначений, масштабных и внемасштабных.

В программу чтения соответствующего учебного курса должны быть включены все разделы и направления береговедения: для

гидрографов они равнозначны. Курс лекций (до 70 часов) должен содержать материалы с подробной количественной характеристикой морфологии и динамики береговой зоны, с данными о волновом режиме, режиме волновых течений (включая приливные и анемобарические), о гидрометеорологических колебаниях уровня моря, о физических и химических свойствах вод на прибрежных мелководьях, о льдах и др.

В учебниках по береговедению студенты-гидрографы должны найти материал об истории береговедения и методике натурных и лабораторных исследований. Отдельный раздел должен быть посвящен картографированию необычных явлений на крупномасштабных картах (вертикальных и горизонтальных деформаций берегового рельефа, значений слоя волновой переработки, изменений состава наносов, мощностей и ёмкостей вдольбереговых потоков и поперечных миграций наносов, и т.п.). Профессиональный уровень гидрографов обязательно поднимет вводный курс общей географии, увязанный с содержанием береговедения. В практической сфере надо исходить из принципов и подходов инженерной географии (Жазаков, Чижова, 2001). Береговедение следует читать не менее, чем в течение 3 кредитов, и проводить не менее, чем две полевые практики по гидрографической съемке береговой зоны с применением новейших приборов и оборудования (Буданов, 1964; Рябкова, Краснов, 2001; Шуйский и др., 2015 б). С другой стороны, необходимое и достаточное качество подготовки специалистов обеспечивает восприятие ими различных разделов береговедения. Учащиеся-гидрографы должны воспринимать учебный материал свободно, а для этого они должны обязательно знать учебный материал из таких дисциплин, как гидрология, картография, метеорология, океанология, навигация, гидравлика, геоморфология, литология.

Отдельные разделы береговедения (по крайней мере – морфодинамику) рекомендуется читать в военных училищах, на факультетах морской пехоты. Будущие *морские пехотинцы* должны иметь четкое представление о физико-географических условиях высадки морских десантов, установки спецоборудования, временных ориентиров, особенно на аккумулятивных песчаных берегах. Поэтому им

необходимы знания о динамике вод на прибрежных мелководьях, характере изменения накатывающихся на берег волн и при этом развивающихся скоростях, и направлениях действия волновых течений, о закономерностях изменения рельефа, особенно – подводных валов, межваловых ложбин, песчаных волн, офсетов, о характере распределения глубин и форме поперечного профиля (Рис. 8, 29, 31).

Не менее важное значение имеет методика полевых (натурных) гидрографических исследований в береговой зоне приливных и неприливных морей, профессиональное освоение работы на установках, оборудовании, приборах, получение навыков составления рабочих абрисов, документирования различных элементов береговой зоны моря. Сведения о береговой зоне можно излагать в отдельной дисциплине, это наилучший вариант, или в составе общей гидрографии. Как можно видеть, в береговедении нуждаются не только специалисты-географы, причем, представители разных отраслевых и междисциплинарных географических наук. Научной информацией по береговедению должны владеть специалисты строители, судоводители, гидрографы и многие другие, профессиональная деятельность которых связана с береговой зоной моря.

Также не исключается полезность знаний о береговой зоне морей и океанов для ординарных, обыкновенных граждан разных стран, которые проводят время на материковых и островных берегах в качестве туристов. Тем более, что они стараются посещать песчаные пляжи, наиболее динамичные, в ассоциации с подводными валами. Закономерности гидродинамики могут им подсказать данные натурных наблюдений за ветровыми волнами и течениями (в том числе и *разрывными*), приливами, кратковременными синоптическими колебаниями уровня воды возле берега, за горизонтальными и вертикальными деформациями пляжей и подводного склона разного уклона (Рис. 29, 31). Современный опыт туристического отдыха на море показывает, что такие сведения помогают избежать ряда неприятных последствий.

Таким образом образовательная значимость береговедения состоит в дальнейшем развитии этой науки, в совершенствовании

теоретических положений, принципов, подходов, методов исследования, в их профессиональном использовании не только физико-географами, но и представителями других специальностей. Важнейшим образовательным результатом является приобретение твердых знаний, навыков, умений, профессионального опыта, высокой квалификации. Причем, не только у студентов (курсантов) географических, но и других специальностей.

Для специалистов-береговедов в процессе обучения в учебных заведениях весьма важно знать о практических приложениях своих профессиональных знаний, умений, навыков. Природное обоснование инженерно-практической деятельности в береговедении целесообразнее всего рассматривать и анализировать на уровне отдельных элементарных литодинамических систем, их подсистем и участков (локальный уровень) с позиций «закона географической локальности» (Шуйский, 2000 а, 2019 а). Он исходит из неповторимости любого таксона в пределах природных систем каждого уровня организации в береговой зоне, как и в пределах географической оболочки вообще. В береговой зоне каждый *таксон* приурочен к той или иной форме рельефа, определенного генезиса, размеров, формы, внутреннего строения, местоположения в береговой зоне, взаимодействия с соседними таксонами такого же уровня организации, направленности преобразования, путей эволюции, динамических характеристик, наличия растений и животных и всех остальных показателей. Скажем, две песчаные косы или бара, хотя и являются таковыми по генезису, но в абсолютной степени не сходятся, никогда не бывают идентичными, одинаковыми по всем указанным показателям одновременно. Хотя бы по двум-трем показателям значимой сходимости всегда не бывает, а это уже причина не опираться на принцип аналогий между двумя косами или барами, взятых здесь в качестве примера, а подробно исследовать каждую при проектировании того или иного антропогенного объекта. Дело в том, что в будущем эти два-три различных показателя смогут привести к отрицательным последствиям, часто – с весьма большими потерями.

В этом случае оказывается возможным охватить и учитывать все основные принципы: пространственности размещения, облика

элементов, комплексности, системности, динамичности, географической локальности и др. В связи с особенностями строения береговой зоны, структуры и трансформации ее элементов и компонентов, взаимодействия различных экзогенных и эндогенных сил, нет необходимости дополнительно её исследовать отдельно на глобальном и региональном уровнях, как это часто рекомендуется для аэраль-ных ландшафтных систем на суше (Арманд, 1975; Макунина, 1987). В этом нами усматривается генеральный подход для оптимального природопользования в береговой зоне моря. Достаточно выявить, систематизировать и оценить значимость локальных элементов, компонентов и действующих сил в береговой зоне. Он соответствует основным положениям застройки береговой зоны (Шуйский, 2001).

В данном подразделе мы исходим из тех рекомендаций, которые дают Г. А. Сафьянов (Сафьянов, 1978, 2006), В. И. Лымарев (Лымарев, 2002), Ю. Н. Сокольников (Сокольников, 1976), В. В. Хомицкий (Хомицкий, 1983) и авторы инженерной географии (Казаков, Чижова, 2001) в связи с соответствием рекомендаций основным положениям и ходу истории развития береговедения. Хотя, еще на 2-й Всесоюзной Конференции по проблемам изучения и освоения шельфов в 1974 г. В. И. Лымарев указал (Лымарев, 2002, с. 15), что «... ландшафтный («ландшафтно-геохимический») метод исследования применительно к береговой зоне моря еще не нашел использования» в важнейших практических приложениях. Хотя уже в фундаментальной географической монографии этот метод исследований, как и ландшафтный в общем, поставлен как приоритетный (Лосев, Романова, 2006; Сафьянов, 2006). Именно по этой причине сегодня нами поднят вопрос об интеграции береговедения и ландшафтоведения и предложено научно-теоретическое положение о различиях природных систем открытого океана, береговой зоны и суши (континентов и островов) (Шуйский, 2015 а, 2018).

В практике инженерной и экономической деятельности в береговой зоне моря имеют важнейшее значение: а) портовое строительство; б) строительство судоходных каналов; в) берегозащитное строительство; г) промышленная разработка ряда полезных ископаемых прибрежно-морского происхождения (строительные пески

и гравийно-галечные смеси, ракуша и ракушечный детрит, концентраты полезных тяжелых минералов и др.), д) возведение и использование территории населенных пунктов и проч. Имеется и множество других хозяйственных нужд, но перечисленные – это главные, руководящие. Правила их природного обоснования в основном перекрывают правила и других хозяйственных мероприятий в береговой зоне моря.

Какими бы ни были инженерно-практические мероприятия и хозяйственные нужды, с давних веков они требуют как можно более достоверного обоснования информацией о природе береговой зоны. Для этого необходим достоверный, обширный и глубокий материал многолетних исследований береговой зоны, на основании которого построена соответствующая теория. При этом не каждое антропогенное вмешательство и преобразование заставляет учитывать последствия воздействия искусственных факторов и элементов прибрежно-морских систем. Перечисленные правила хозяйственного освоения береговой зоны и побережий в целом проявляются различно в разных физико-географических условиях. Согласно разработкам Г. А. Сафьянова (Сафьянов, 1978, 1996, 2006), в речных дельтах прежде всего учитываются приливные явления, уклон поверхности воды и режим жидкого и твердого стока реки. В условиях сокращения питания рек осадочным материалом вполне вероятен переход от выдвигания (нарастания морского края) дельт к быстрому размыву дельт и отступанию береговой линии. В пределах абразионных берегов наибольшую опасность, по Г. А. Сафьянову, представляет запредельная скорость подъема уровня моря, распространение малопрочных пород в составе клифов и бенчей (III-V классы по степени сопротивляемости абразии), острый дефицит наносов.

В режиме приливных берегов, на участках расположения приливных осушек разместились *буферные зоны*, т.е. песчаные и илистые осушки, а с ними также *марши*. Они являются периодически затапливаемыми приливной соленой волной (при «высокой воде») участками прибрежных низких заиленных поверхностей, которые покрыты солевыносливой растительностью (*Suaeda borysthena*, *Salicornia palustrica*, *Artemisia littoralica*, *Limonium polustris*,

Petrosimonium mariscus и др.). Буферные зоны ослабляют воздействие сильных и крайне сильных штормов. С другой стороны, они являются мощными продуцентами органики и живого вещества.

На Черном и Азовском морях они выражены нечетко (действуют их аналоги в виде «ветровых осушек»), но они широко распространены на берегах Северного, Белого, Охотского, Желтого, Южно-Китайского, Яванского, Аравийского и ряда других морей. Средние скорости осадконакопления на осушках чаще всего достигают 1-3 мм/год. Песчаные и илистые осушки характеризуются высоким биологическим разнообразием, преимущественно бентосными растениями и животными. Это очень хрупкая природная система, которая может быть быстро нарушена. Поэтому площади буферных зон чаще всего не вовлекаются в хозяйственный оборот, а отводятся в состав заповедного фонда.

Уникальностью обладают также и природные комплексы («природные системы») на поверхности аккумулятивных форм береговой зоны (Borowka, 1980; Dune, European Coasts, 1990; Бровко, 1990; Выхованец, 2003). Все они представляют заповедный интерес в разных частях морей и океанов, причем, в наиболее строгом режиме.

Для оценок качества многофакторного освоения природных ресурсов береговой зоны морей важно знать поведение пляжеобразующих наносов, согласно выводам Н. А. Айбулатова (Айбулатов, 2005), Ю. В. Артюхина (Артюхин, 1989), В. П. Зенковича (Зенкович, 1962), А. М. Жданова (Жданов, 1956, 1963), О. К. Леонтьева и др. (Леонтьев и др., 1975), В. М. Пешкова (Пешков, 2005) и других авторов. Они настаивают на разных подходах к данному вопросу, применительно к галечным, с одной стороны, а с другой – к песчаным наносам. Галечные обладают повышенными значениями гидравлической крупности (Буданов, 1964; Шуйский и др., 2015 б), что обусловлено процессами дробления и истирания крупных обломков скальных пород. Свою форму они приобретают под влиянием истирания, которое выражается соответствующим коэффициентом $K_{ист}$, по данным Ю. Д. Шуйского (Шуйский, 1986, 2000 б).

Эксперименты по определению $K_{ист}$ в природных условиях были начаты еще в конце 20-х годов XX столетия П. К. Божичем и

П. Н. Маршаллом, в 30-х годах были продолжены А. Сальминеном (A. Salminen), а в 50-х годах – Г. И. Аксентьевым, А. М. Ждановым и Ф. Х. Кьюненом (Ph. H. Kuenen). В течение второго десятилетия XXI века ряд результатов был получен М. Н. Рыжим, Д. Л. Инмэном (D. L. Inman), Зб. Прушаком (Zb. Pruszak), Д. Д. Каргером (D. D. Carter), М. Д. Бреем (M. D. Brey).

В 70-80-х годах минувшего века Ю. Д. Шуйским (Шуйский, 1986, 1987 б) было выполнено несколько натуральных опытов в зоне действия прибоя с галькой и щебнем различных горных пород (известняк-ракушечник, песчаник, сланец, гнейс, гранит) по методике Г. Н. Аксентьева (Аксентьев, 1960). Данные этих работ и обобщение работ других авторов позволили получить средние удельные годовые значения $K_{ист.}$. Оказалось, что на берегах океанов и морей потери массы щебневых обломков прочных горных пород под влиянием дробления и истирания составляют: для гранитов 6,8% (крайние значения 2,9-13,8%), для кварцитов 5,5% (3,4-13,3%), для грано-диоритов 7,4% (1,4-9,8%), для песчаников 10,3% (7,4-17,4%), для ракушечных известняков 7,9% (3,3-20,1%), для гнейсов 7,2% (3,3-10,8%), для метаморфизованных сланцев 6,3% (4,9-8,3%). Можно утверждать, что защитные галечные пляжи свободные неогражденные и огражденные траверсами, бунами, волноломами, могут ежегодно терять показанное количество своей массы. Эти потери весьма чувствительные, поскольку требуют искусственных подсыпок, а это недешево (Артюхин, 1989; Dean and oth., 1997; Aminti, 2003; Furmanczyk, 2003; Айбулатов, 2005) – в пределах \$ 7-18 за 1 тонну гальки в разных районах береговой зоны.

Среди других, важной особенностью для береговой зоны моря является распределение наносов в интегральных волновых потоках как продольных, так и поперечных, во время проектирования и природного обоснования различных практических мероприятий. Эти процессы действуют как литодинамические, имеют важное практическое значение (см. §§ 6-10). При этом важно различать три главные группы процессов: а) вдольбереговые подвижки наносов; б) вдольбереговые потоки наносов; в) поперечные миграции наносов.

Группа (*a*) – *вдольбереговые подвижки наносов*, формируются под влиянием отдельных волнений, особенно штормовых, когда развиваются наиболее крупные волны со значительной наносодвижущей способностью (Шишов, 1966; Долотов, 1989; Айбулатов, 1990, 2005; Леонтьев, 2001; Pruczak, 2003). Подвижка является «ситуационным», явлением синоптического уровня развития, в настоящее время её численное значение определяется расчетными методами, моделируется в «глубоких» лабораторных бассейнах и гидравлических лотках (Рис. 23). Подвижки действуют вдоль берега, в двух направлениях – влево и вправо от перпендикуляра, восставленного из точки на берегу в сторону открытого моря (Кнапс, 1985; Шуйский, Выхованец, 1989; Zaramckis, Gulbinskas, 2018).

Если количество наносов с одной стороны относительно перпендикуляра больше, чем с противоположенной, то это направление принимается *основным*. Противоположное направление принимается *второстепенным*. Как и вдольбереговой поток, подвижка наносов измеряется *мощностью (M)*, *емкостью (E)* и *дефицитом нагрузки D (E – M)*, но в виде определенных *единичных* показателей по одному шторму. Дефицит *D* обозначает, что после волнения пляж и подводный склон перед ним уменьшаются в размерах и не достигают доштормового состояния.

На отсутствие дефицита указывает послештормовая ситуация: во время заключительной фазы шторма приведенные в движение наносы под влиянием активизации прямых волновых скоростей наращивают береговую линию, как это показано на Рис. 41. В то же время, например, на Черном море, на участках с дефицитом наносов послештормовой пляжевый вал практически не образуется, а пляж остается небольшим и не может нарастать (Рис. 35, 42).

Группа (*b*) – *вдольбереговые потоки наносов*, в отличие от подвижек, представляют собой длительное, многолетнее явление под воздействием волнового режима, вдольбереговых потоков волновой энергии. Он складывается из множества волнений разной силы, с разными размерами волн (высота, длина, период, скорость распространения) и с разной продолжительностью. Оно определяется

алгебраической суммой значимых разнонаправленных подвижек наносов за элементарную природную единицу времени, т. е. – за год, по В. П. Зенковичу (Зенкович, 1962) и Ю. Д. Шуйскому (Шуйский, 2018). Алгебраическая сумма подвижек наносов в течение среднего года в разрезе многолетнего периода, при которых преобладают послештормовые нарастания берега (Рис. 41), указывает на постоянное пополнение наносами береговой зоны из разных источников питания.



Рис. 41. В условиях насыщения штормовой подвижки наносами при отсутствии дефицита наносов, по окончании шторма произошло нарастание песчаного пляжа. Наросший и причлененный волновой вал отличается более темным цветом песка (фото Ю. Д. Шуйского).

Как и подвижка, поток является расчетной величиной, согласно методам ветро-волновым и волновым (Лонгинов, 1963, 1966). Если же вдольбереговой поток имеет несущественную мощность, то пляжи не нарастают и всегда остаются крайне небольшими (Рис. 35, 42).

Для вдольбереговых потоков важно выделение районов зарождения, транзита и разгрузки потоков наносов, – промежуточных

и конечных, а также границ районов и потоков в целом. Для этого применяется ряд методов исследования: гидрометеорологические, геоморфологические, литологические, естественных и искусственных препятствий и др. (Буданов, 1964; Морская геоморфология, 1980; Шуйский и др., 2015 б).



Рис. 42. В условиях дефицита наносов в штормовой подвижке, по окончании шторма не происходит природного нарастания песчаного пляжа во время фазы затухания волнения. Даже искусственное накопление с помощью буны не может создать защитное количество наносов (фото А. Б. Муркалова).

Обычно применяются разные подходы исследования к вдольбереговым потокам различного состава (илистые, песчаные, гравийные, галечные, валунные и смешанные в разных сочетаниях). Они характеризуются разными величинами: M , E и D , а также разными уклонами. В процессе природного обоснования и организации

природопользования на морских побережьях следует учитывать названные особенности. Нужно обратить особое внимание представителей негеографических специальностей, что вдольбереговые потоки волновой энергии и наносов *принципиально отличаются от флювиальных потоков на суше, ветровых и дрейфовых течений* на просторах океана. Любые попытки их отождествить заведомо обречены на грубейшие ошибки и значительный вред в течение природопользования в береговой зоне моря.

Группа (в) – режим поперечных миграций наносов выделен еще в 30-е годы XX столетия в работах П. К. Божича, М. М. Ермолаева, Д. Г. Панова и окончательно сформулирован В. П. Зенковичем (Зенкович, 1946, 1962). Это явление развивается в условиях экспозиции результирующего вектора энергии волн по нормали к касательной в точке измерения на береговой линии, четко выраженного доминирующего поступления наносов с подводного склона под влиянием прямых волновых импульсов (скоростей) и при второстепенном значении вдольберегового переноса наносов.

По ряду признаков, приведенных П. А. Каплиным, И. Ф. Шадриним, З. Прушаком, К. Кинг, Ф. Шепардом, режим поперечных миграций наносов господствует на океанических берегах, где активно действуют волны зыби. По выводам Л. Г. Никифорова в книге (Каплин и др., 1991), вдоль берегов Мирового океана, открытых к обширным просторам, где доминируют крупные океанические волны (средняя высота штормовой волны 6 м), основным процессом является формирование береговых баров, т.е. господствующим является режим поперечных миграций наносов, а не вдольбереговых потоков наносов. Данный процесс активизируется на всех морях во время перехода от вынужденных ветровых волн к волнам зыби – «двухмерным» остаточным волнам. Именно они чаще всего образуют *бары* – в отличие от кос, аккумулятивных форм преобладающего вдольберегового питания, в том числе и двустороннего.

Обращаем внимание на важную связь между режимом поперечных миграций песчаных наносов и формированием береговых дюн на примерах исследований на берегах Черного, Балтийского, Северного морей, Бискайского залива. Эта связь обусловлена доминирующим действием

сильных ветров со стороны моря, и приводит к экспозиции результирующего вектора энергии E по нормали к общему простиранию берега.

Нами был выполнен натурный эксперимент вдоль дуги берега Гданьского залива (Балтийское море) во время действия ветра со средней скоростью 26 м/сек (Шуйский и др., 2006). В итоге в волновую переработку было вовлечено необычно большое количество песчаных наносов, поскольку в сфере влияния прибойного потока средняя концентрация водной взвеси могла достигать 3-4 г/л. Естественно, что в фазу завершения шторма по всей длине песчаного берега Гданьского залива образовался пляжевый вал, подобно изображенному на Рис. 41. Но фронтальная часть авандюны была размыта, и абразионный её склон отступил на 17 м. Через 4 месяца склон стал менее крутым, а перед ним на пляже восстановились травянистые растения, возник первичный эоловый вал, прообраз формирования доштормового состояния профиля авандюны (Рис. 40). Это обычное морфодинамическое явление, которое типично на песчаных берегах всех морей, где расположены береговые дюны (Выхованец, 2003).

В вопросах инженерной и природоохранной практики, при организации береговых территорий, важно учитывать генетические особенности подвижек наносов, вдольбереговых потоков наносов и режима поперечных миграций наносов. Каждый преподаватель, читающий береговедение, обязан на это обращать пристальное внимание студентов. Важно информировать учащихся, что в погоне за созданием дополнительных береговых территорий и за защитой клифов от абразии из естественного оборота выводятся абразионные источники пляжеобразующих наносов. На берегах Черного моря, в частности, вдоль подножья клифов создаются некондиционные навалы бетона, кирпича, каменных блоков, металлических конструкций, которые приводят к размыву пляжей, замусориванию и опасным условиям для морских купаний. А в Одесском заливе весь его восточный фланг застроили искусственной широкой грунтово-каменной террасой, которая вывела из оборота абразионный источник питания пляжей в заливе (Рис. 43). В результате удельный объем песчаного пляжа на пересыпях Куяльницкого и Хаджибейского лиманов уменьшилась почти в 2 раза. И таких примеров немало.



Рис. 43. Создание искусственной террасы в Одесском заливе Черного моря лишило основной части питания наносами пляжей на пересыпках Куяльницкого и Хаджибейского лиманов. Необоснованный расчет на естественное заполнение наносами вогнутостей на фронтальной кромке террасы не оправдался.

Согласно нашему докладу на 2-й Всесоюзной Конференции по проблемам изучения и освоения шельфов (Ленинград, СССР) в 1974 г. было убедительно доказано, что интенсивность изменения природы береговой зоны моря под влиянием антропогенного фактора определяется плотностью населения, уровнем технического и физико-географического прогресса, продолжительностью хозяйственной (бесхозяйственной) деятельности, практической необходимостью антропогенной деятельности.

Было предложено различать три главнейших уровня освоения:

- 1) временное освоение береговой зоны;
- 2) длительное и постоянное освоение береговой зоны;
- 3) коренное преобразование природы в береговой зоне;

Три названных уровня хозяйственного освоения береговой зоны выражены различно. В условиях начала взаимодействия, в начальной стадии шадящего антропогенного вторжения в природную прибрежно-

морскую систему, система не в состоянии перестроиться, а потому природа сама справляется с погашением антропогенного импульса под влиянием ненарушенного системного окружения в составе комплекса, и природное высокое качество полезных ресурсов не исчезает (уровень 1).

В условиях длительного, но не разрушительного, дозированного влияния антропогенного фактора аквашафтная система не перестраивается, а потому в условиях необычайно высокой концентрации механической энергии способна самовосстанавливаться и не терять полезных свойств природных ресурсов (уровень 2). Но на это уходит длительное время, порядка десятков и сотен лет, а потому нередко выполняются мелиоративные мероприятия, бывает – аварийного типа, с соответствующими большими затратами.

Наиболее нежелательным является коренное преобразование структуры и функционирования береговой зоны моря (уровень 3). В этом случае меняется сложившийся веками режим эволюции береговой зоны, который обычно не соответствует влиянию окружающих элементов и компонентов (входит с ними в антагонистическое противоречие), а обеспечивается производственной деятельностью всего общества. Он наносит быстрый и негармоничный «удар», который внезапно входит в экологический конфликт с окружающими природными условиями. Чем сильнее такой антропогенный «стресс», тем больше времени он требует для последующей гармонизации прибрежно-морской аквашафтной системы, тем больше площади или объема он затрагивает, тем больше средств (материальных, финансовых, трудовых и др.) он требует для поддержания полезных свойств природных ресурсов. Это весьма затратный вариант (но не рациональный) на все оставшееся время, особенно, если речь идет о строительстве объекта первого класса эксплуатации.

Согласно нашему опыту, самое сильное влияние такой антропогенный импульс имеет в начале влияния, но со временем он постепенно ослабевает.

Получается, что процесс развивается по экспоненциальной закономерности. Данную особенность следует учитывать в течение природного обоснования любого проекта, организации любой территории, любого вида природопользования.

§ 6. ПОРТОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО НА МОРСКИХ ПОБЕРЕЖЬЯХ

Для успешного проектирования и эксплуатации морских портов береговедение рекомендует прежде всего поиски и обнаружение закрытых бухт и заливов (Божич, Джунковский, 1949; Зенкович, 1962; Лымарев, 2004). Они обеспечивают укрытие от волн, заносимости, обмеления акватории, могут гарантировать безаварийную стоянку судов (Рис. 2). Одновременно должна быть получена информация о глубинах, составе донных осадков и горных пород, кратковременных изменениях глубин и уровня моря, характере волнового влияния, поступления наносов и многое другое. До XVIII века подобная информация собиралась по каждому порту, особенно тщательно – на приливных берегах и в устьях рек.

В зависимости от природных характеристик, каждый порт должен был иметь определенные глубины, на морском дне залежали наносы разного состава, в различной степени должен быть защищен от штормовых волн и опасных течений, и др. Следовательно, каждый порт характеризуется своими конкретными особенностями, конкретным набором природных компонентов, направления и силы их взаимодействия. История портостроения и береговедения показывает, что со временем расширялись представления о природе и конструкциях различных портов (Шаповалов, 1962; Джунковский и др., 1967; Яковенко, 1985; Фашук, 2002). Поэтому сложившееся разнообразие было упорядочено классификацией портов по признакам природных условий. В подавляющем большинстве случаев именно портовое строительство и создание портовой инфраструктуры коренным образом преобразует природную систему береговой зоны, меняет ее рельеф, контуры береговой линии, формирование прибрежно-морских наносов, глубины над подводным склоном и проч. Поэтому содержание портовых комплексов всегда характеризуется высочайшими затратами и постоянными заботами, необходимостью навигационные глубины поддерживать непрерывно, как и производить обновление гидротехнических сооружений, и многое другое.

В качестве примера можно привести укрытые морские порты в лиманах и бухтах Черного моря, в частности – порт Ильичевск (Рис. 44). Он устроен на акватории небольшого Сухого лимана, дно которого было углублено с 2-3 м до 12-16 м. Пересыпь лимана была прорыта надвое, и сквозь нее прошел подходной судоходный канал. Для защиты от заносимости и негативного влияния штормовых ветровых волн канал был огражден парными молами. Для увеличения портовой площади была создана искусственная грунтовая терраса. Внутри акватории лимана вдоль его берега были построены причалы, а лиманные склоны были выположены и террасированы. Все это привнесло мощный антропогенный стресс в природную систему данных берегов. Опасность представляет заносимость канала наносами, сооружения порта выстроены на участке зарождения вдольберегового потока наносов, но быстрому уменьшению глубин на канале мешает промывающий эффект сгонно-нагонных течений и небольшая мощность потока (Шуйский, Выхованец, 1989).

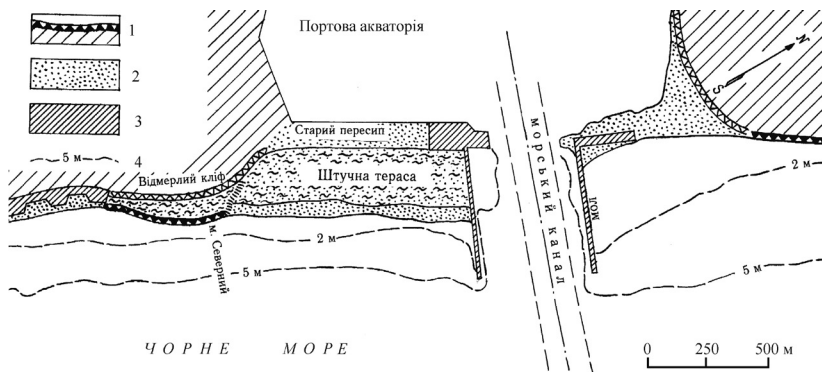


Рис. 44. Результаты создания сложных портовых искусственных форм прибрежно-морского рельефа в устьевой части Сухого лимана под влиянием строительства крупного морского порта Ильичевск на побережье Черного моря. Обозначения: 1 – абразионная форма; 2 – песчаные пляжи; 3 – бетонные и железобетонные гидротехнические сооружения; 4 – изобаты.

Г. А. Сафьянов (Сафьянов, 1978, 1987) утверждает, что первостепенное значение для порта имеет его защищенность естественными формами рельефа. С таким утверждением соглашается большинство исследователей береговой зоны моря. По этому признаку выделяются порты: 1 – на открытом морском берегу, но огражденные защитными гидротехническими сооружениями (Вентспилс, Лиепая, Сочи, Констанца, Самсун, др.), яркими примерами являются порты Черного (Рис. 4), Балтийского (Рис. 45) и Средиземного (Рис. 46) морей; 2 – в полузащищенных бухтах и заливах (Одесса, Бердянск, Новороссийск, Алжир, Коломбо) (Рис. 47); 3 – во вполне защищенных бухтах, почти недоступных для волн открытого моря (Керчь, Стамбул, Хельсинки, Ливерпуль, Сан-Франциско); 4 – морские порты в устьях рек (Санкт-Петербург, Измаил, Херсон, Николаев, Роттердам, Буэнос-Айрес).

Если учесть, что в береговой зоне контуры берега различной сложности (изрезанности) влияют на характеристики гидрометеорологического и литодинамического режима, то становится понятной необходимость первоочередного учета названной классификации.

Для портов 1-го типа наиболее опасными бывают явления перестройки волн и сгонно-нагонные, нередко – тягун. Часто беспокоит заносимость входа в порт, особенно – при наличии подходного канала или в устьевых областях крупных рек. На участках распространения вдольбереговых потоков наносов, при том, что мористые оголовки портовых молов выходят за пределы линии забурунивания штормовых волн, наветренный входящий угол является средой образования аккумулятивной формы – террасы. Одновременно с подветренной стороны, в волновой тени, формируется недостаток наносов, уменьшаются размеры защитного пляжа, а потому развивается абразия, возникает потеря территории морского берега. Примерами являются порты Сочи, Южный, Вентспилс, Владиславово (Рис. 45), Порт-Саид (Рис. 46). В подобных портах каналы являются «подходными», расположены вкрест простираения береговой зоны, ее пересекают и нарушают природное развитие вдольбереговых потоков наносов. Поэтому при их проектировании обязательно учитываются мощности потоков, их режим, возможные

изменения состояние наветренного берега и подветренного берега. Бывают порты, огражденные от основной водной акватории, но с системой искусственных разнонаправленных каналов, в отличие от Ильичевска (Рис. 44).

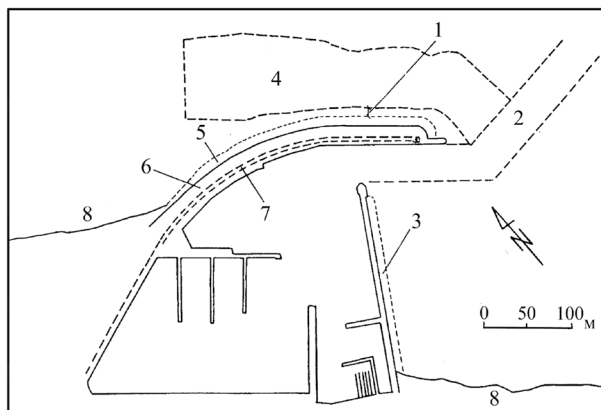


Рис. 45. Акватория и сооружения порта Владиславово на побережье Балтийского моря (схема выполнена З. Прушаком). Условные обозначения: 1 – минимальное расстояние от ловушки песка до волнолома; 2 – подходной судоходный канал; 3 – наброска тетраподов; 4 – ловушка песчаных наносов; 5 – мол, защищающий порт от волн и наносов; 6 – новый волнолом; 7 – старый волнолом; 8 – береговая линия моря.

Наиболее свободны от заносимости порты на мелко изрезанных скальных берегах, где в области уреза практически нет движения наносов «волнового поля». В устьях рек (порты 4-го типа), хоть не действует негативное влияние морских волн и волновых течений, но наибольшую опасность представляет заносимость речными наносами. Примерами могут служить Новый Орлеан, Буэнос-Айрес, Шанхай, Калькутта. Для портов с подходными каналами (например, Ильичевск, Южный, Керчь, Ейск, Колобжег, Клайпеда) важное значение имеет расчет баланса наносов с целью определить степень насыщения береговой зоны наносами (Шуйский, Выхованец, 1989). Если эта степень допускает заносимость подходного канала до 100-500 тыс. $m^3/год$ наносов, то нет особой опасности для эксплуатации порта и канала. Если

такое явление бывает на открытом выровненном берегу, то вычерпанные наносы целесообразно сбросить на подветренный берег относительно порта по схеме бай-пассинга (Хомицкий, 1983; Яковенко, 1985).

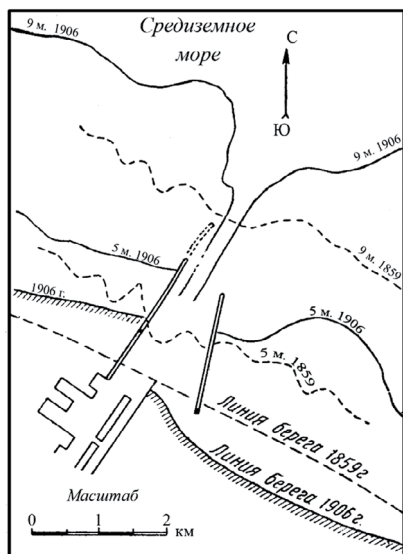


Рис. 46. Динамика подводного склона в юго-восточной части Средиземного моря на подходе к Порт-Саиду и Суэцкому каналу.

Аккумуляция наносов под влиянием выступа внешних портовых сооружений, которые перекрыли трассу движения наносов во вдольбереговом потоке, $T_{рез}$ направлена $W \Rightarrow E$ (Wortman, 1910).

Однако, встречаются портовые каналы с заносимостью в несколько млн $t/год$. К таким относится, в частности, канал аванпорта Сулина в дельте Дуная (побережье Черного моря) (Рис. 47).

В 70-80-х годах XIX столетия выход из Сулинского гирла Дуная был огражден парными молами длиной до 1 км. После этого стали расти террасы во «входящих углах» молов, а береговая линия – стремительно выдвигаться в сторону моря, поближе к каналу между молами. Заиление канала стало стремительно нарастать. Поэтому прилегающее дно стало очень быстро мелеть, оно попало в сферу действия волнового прибоя и интенсивного перемещения наносов. Повторная активизация сильнейшей заносимости Сулинского подходного канала заставила сделать молы более длинными, чтобы еще раз вывести вход в канал из-под влияния вдольберегового потока наносов (Шуйский, 2003; Михайлов, Морозов, 2004; Шуйский, Жмуд, 2015 б). Повторное искусственное удлинение молов производилось позже многократно, в связи с непрерывным выдвиганием смежных

береговых линий и обмеления прилегающего подводного склона. Это уникальное гидротехническое сооружение, которое встречается очень редко. Оно практически полностью перекрыло движение на юг основного количества пляжеформирующих наносов волнового поля. Оно активно повлияло на развитие Килийской части дельты Дуная, что заставляет выполнять прогнозы особенно тщательно (Шуйский, Жмуд, 2015 б; Шуйский и др., 2020). Похоже, что сегодня уже море одержало свою победу, поскольку не видно конца-края длине парных молов. Длина гидротехнического сооружения составляет уже более 14 км (Рис. 47) и выходит на глубины 11-13 м. Это значит, искусственное русловое удлинение Сулинского рукава достигло таких значений, которые активизируют замедление скоростей руслового течения в реке (точнее – в основном судоходном рукаве Румынии, Сулинском), вызывают сильное снижение в ней наносодвижущей способности речного течения, а потому обеспечивают стабильное закупоривание наносами этого рукава и выведение его из состава судоходных в ближайшие годы.

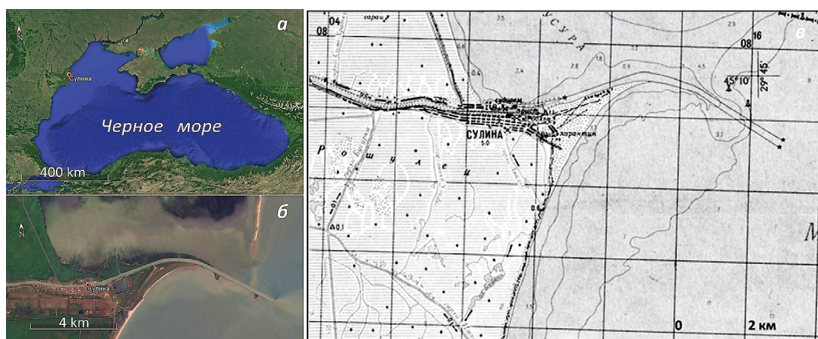


Рис. 47. Аванпорт Сулина в устьевой области реки Дунай: *а* – расположение аванпорта Сулина в регионе Черного моря; *б* – общий вид аванпорта Сулина; *в* – оградительные молы аванпорта Сулина и условия прилегающего участка подводного склона.

В связи с игнорированием физико-географических закономерностей развития дельтовых берегов, пока еще неясно, какое решение примет экологи или строители в данном вопросе.

До сих пор актуален вопрос о сохранении судоходных глубин в Сулинском канале Дуная. Это заставило спрямить и расчистить рукав Сф. Георгиевский, но значительные помехи обнаружались на его устьевом крае (Shuisky et al., 1994; Шуйский, Жмуд, 2015). Практически, и здесь быстро проявится повышенная величина заиления. По крайней мере, не следует идти по пути обустройства устья Сулинского рукава и бесконечно удлинять оградительные молы на морском крае такой мощной реки, как Дунай.

Ряд портов, расположенных в устьевых областях рек, характеризуются сложной системой подходных судоходных каналов, как например порты Октябрьский и Очаков (Рис. 48). Такую систему заставляют создавать сложившиеся физико-географические условия северного морского побережья Черного моря, прежде всего – значительную отмелость прилегающего дна моря и лимана. Однако, затраты на создание каналов оправдываются экономическими выгодами, поскольку каналы используются не только для работы порта Очаков, но также и крупных портов Николаев, Октябрьский, Херсон, пункты на берегах Березанского и Днепро-Бугского лиманов. Подобная ситуация складывается и на других побережьях различных морей.

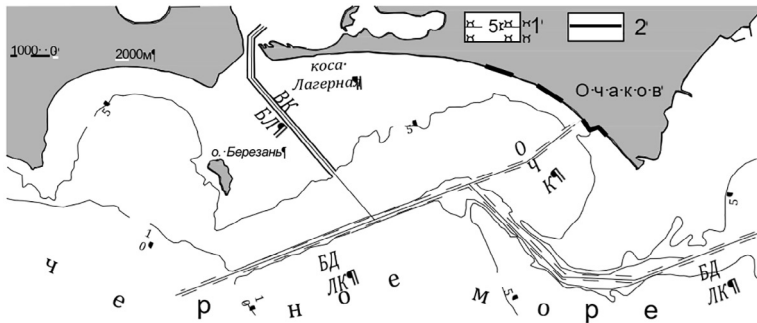


Рис. 48. Работа морского порта Очаков обеспечивается системой судоходных каналов в устьевой области рек Днепр и Южный Буг. Обозначения: 1 – изобаты (в м); 2 – береговые искусственные гидротехнические сооружения; БДЛК – Бугско-Днепровский лиманский канал (транзитный); ВКБЛ – входной канал Березанского лимана; ОЧК – Очаковский судоходный канал.

В качестве одного из удачно вписанных в природную систему береговой зоны можно считать морской торговый порт Сан-Антонио, фактически аванпорт агломерации Сант-Яго де Чили (Рис. 49). Он расположен в полузакрытом от сильных волн небольшом заливе, в защищенном «углу» искусственного ограждения искусственной каменной наброской, наращенной искусственной территорией. Сегодня грузооборот порта превышает 5 млн т/год. Прилегающая акватория Тихого океана подвержена влиянию длинных штормовых волн из Антарктики, в основном волн зыби (Зенкович и др., 1967; Шепард, 1976). С южной стороны в залив поступает незначительное количество песчано-гравийных наносов из горных рек, которые несут аллювий с Анд в океан. Крутые уклоны подводного склона и действие сильных волн приводят к тому, что даже относительно крупные наносы (крупнозенистый песок и гравий) смещаются вниз по склону, также уходя за пределы действия вдольберегового потока наносов и не участвуют в заносимости портовой акватории.



Рис. 49. Внешний мол, глубоководный причал и гавань морского торгового порта Сан-Антонио, Тихоокеанское побережье центрального Чили. Вдали – горная гряда заснеженных хребтов горного массива Анды.

Крупные волны и их прибойный поток способствуют интенсивному окатыванию обломков горных пород различной прочности (Зенкович и др., 1967; Каплин и др., 1991; Encyclopedia of Coasts 1982). Аналогично удачными и продуманными, с этой точки зрения, являются порты Рейкьявик, Дублин, Мурманск, Берген, Хихон, Картахена и ряд других. Морские порты, которые прикрыты бухтовыми выступами (мысами), обычно не подвергаются сильному влиянию ветровых волн из открытого моря (океана). Но в условиях отмелого подводного склона и мелководного прилегающего дна весьма опасными могут быть ветровые нагоны («*storm surges*»). Не меньшую опасность для заходящих судов, особенно крупных, представляют ветровые сгоны, также и величины других синоптических колебаний уровня морской воды ($\pm 1,5$ м и более относительно ординара). Особенно опасны сгоны как фактор изменения глубин, наиболее актуальные в циклонических регионах, с повышенными скоростями береговых ветров. При этом падение уровня определенным образом понижает глубины, что должно быть учтено при заходе судна в бухту. Если бухта с высокими берегами и вытянута в длину, то в ней возможны сильные продольные ветры, которые чаще всего бывают в риасах и во фьордах. Для портов типа Сан-Антонио опасным может быть явление тягуна не только на океанических, но и внутренних морских побережьях.

В связи с проектированием и строительством морских портов разных типов обычно решается 7 основных задач, согласно анализу различных типов береговой зоны морей (Яценко, 1985; Сафьянов, 1987; Шуйский, 2000 б, 2001а):

а) выявление особенностей ветрового и волнового режимов, а также особенностей волновых течений в окрестностях проектируемого порта;

б) выявление особенностей строения рельефа подводного склона моря, а также участков коренных пород и наносов на дне, расчет волнового поля;

в) выделение границ вдольбереговых литодинамических ячеек, расчет в каждой из них баланса наносов и соотношения суммы подвижек береговых наносов в противоположные стороны вдоль берега относительно перпендикуляра в течение длительного периода;

з) определение источников питания, петрографо-минералогического состава, кинематического строения, направления результирующего движения, глубин распространения, мощности слоя волновой переработки;

д) определение разности средних годовых подвижек наносов в пределах вдольбереговой литодинамической ячейки в месте расположения порта и подходного канала до их строительства;

е) разработка сценариев морфологии и динамики рельефа и режима движения наносов вокруг порта и в пределах ячейки после строительства сооружений, в период эксплуатации порта разной интенсивности;

ж) использования «послестроительной» информации о морфологии и динамике береговой зоны для осуществления прохода судов в порт и на подходах к нему. При этом, в первую очередь используется информация об изменениях «волнового поля», запасах наносов и рельефе подводного склона. Важнейшей проблемой, кроме динамики сопредельного берега, является заносимость осадочным материалом портовых акваторий и подходных каналов (Джунковский и др., 1967; Кожухов, 1968; Коробова, 1968; Horikawa, 1978, 1988; Dean et al., 1997; Фащук, 2002).

Поэтому целесообразно выполнить математическое и физическое моделирование проектируемого порта, в дополнение к решению перечисленных задач на материалах изысканий в природных условиях. Конечно же, при этом используется материал предпроектных натурных исследований. В любом случае, на любых участках береговой зоны, при проектировании и природном обосновании любого проекта приоритет должен принадлежать материалам длительных натурных исследований, выполненных, желательно, по единой методике (Шуйский, 2019 б).

Наш многолетний опыт показал, что портовое сооружение является максимально эффективным, длительным, требует относительно небольших ремонтных работ, наносит минимальный («допредельный») ущерб прилегающим участкам береговой зоны тогда, когда проект учитывает стратегические положения гидротехнического или иного вида строительства в береговой зоне морей

(Шуйский, 2001). В последующие десятилетия при строительстве портов, особенно крупных и важных (1-го класса капитальности), необходимо учитывать влияние современных изменений климата и антропогенные стрессы в природе.

Здесь мы обращаем внимание, что именно история зарождения береговедения и её самого раннего развития основывалась преимущественно на обосновании устройства портов и портового строительства (§§ 1 и 2). В основу рациональной застройки был положен принцип вписания того или иного сооружения в природную среду так, чтобы эта среда не отторгала искусственный объект, а этот объект не снижал качество природных ресурсов. Обе стороны данной проблемы должны быть гармонично сопряжены, с учетом закона географической локальности. Данный принцип, помимо исследования глубин, подводного склона, напряженности волнового поля, направлений и мощности вдольберегового потока волновой энергии и проч., требует обязательного расчета баланса наносов в береговой зоне моря и его природных и антропогенных изменений. Для сегодняшнего состояния условий эксплуатации портов необходимо иметь информацию об относительных долговременных колебаниях уровня моря на каждом участке расположения морского или устьевого порта (Андриянова, 2014). Тогда изменение уровня морской воды становится весьма опасным в условиях наложения на слой заносимости портовой акватории осадочным материалом и на величину тектонического повышения морского побережья. В этом случае отложение осадков и тектоническое вздымание побережья ведет к обмелению портовой акватории, а эвстатический фактор понижения уровня обеспечивает опасность для захода судов в порт. Особенно в случаях, когда у судна особенно большая осадка, а в портовой акватории действует сильный ветровой сгон воды.

Считаем, что заслуживают внимания выводы О. Р. Андрияновой (Андриянова, 2014, с. 14), которая рассматривает практическое значение сведений об уровне моря не только в свете безопасности навигации в сравнительно узкой полосе береговой зоны. Если исходить из существа явления изменений уровня моря, то они важны по всей площади Мирового океана. Она выделяет ряд «механизмов»,

индивидуальные региональные и локальные процессы, обратные связи и взаимодействия, которые порождают изменения в природной гидрогенной системе климатического масштаба (Рис. 50). К ним относятся: а) внешние, которые включают в себя естественные процессы и объекты космического, планетарного и палеогеографического происхождения; б) внутренние планетарные физико-географические механизмы в системе «океан—атмосфера—криолитосфера—поверхность планеты»; в) антропогенные факторы, процессы, механизмы взаимодействия и преобразования.



Рис. 50. Возможные внешние механизмы длиннопериодных изменений в географической оболочке, в экзогенной системе взаимодействия «океан – атмосфера – криосфера – поверхность суши» (Андрианова, 2014).

Другими словами, она утверждает наличие ряда природных систем, применительно к морским побережьям, которые создают разнообразие навигационных факторов и условий. В этом разнообразии обозначаются таксоны, которые объединены в соответствующие иерархические ряды.

Поэтому каждый район или область береговой зоны требует отдельного рассмотрения и анализа в предпроектной деятельности, хозяйственной организации прибрежно-морских («аквафатных»)

систем, оставляя в стороне метод аналогий как второстепенный, вспомогательный.

Современный уровень развития береговедения достаточен для обеспечения производственных разработок достоверным и точным материалом и теоретической базой (Айбулатов, 1990, 2005; Леонтьев, 2001; Игнатов, 2004; Шуйский, 2018; Берлинский и др., 2021).

Для каждого участка береговой зоны моря имеют значение различные особенности расположения и конструкции портов, согласно выводам ряда авторов (Хомицкий, 1983; Walker, 1988; Horikawa, 1988; Shuisky, 1992; Яковенко, Омельченко, 1993; Шуйский, 2019 б). Выводы имеют значение для учета в проектировании и эксплуатации местоположения портовых сооружений, длины занимаемого ими берега, насколько сооружения должны выдвигаться в море и на какую глубину, продольными или поперечными они должны быть. Важно знать экспозицию портов по отношению к основным действующим ветрам и волнам того берега, где находится порт и вход в него, имеется ли подходной канал и какой он глубины, возвышенным или пониженным является смежный берег, отмелым или приглубым является подводный склон, каковы контуры изобат, какова продуктивность источников питания наносами и все остальные требования соответствующей методики проектных изысканий и лабораторных исследований (Буданов, 1964; Шуйский и др., 2015 б). Там, где они действуют, важно знать режим вдольберегового потока наносов и поперечных миграций наносов, их состав, к какому району потока приурочен порт и все внешние портовые сооружения (см. § 3). При этом мы руководствовались необходимыми требованиями, принципами и правилами стратегических положений застройки береговой зоны (Шуйский, 2001). Как правило, такие требования предъявляются не только к самим портам непосредственно, но и к обеспечивающим подходным или транзитным судоходным каналам, как например в случае с портом Очаков на Черном море или портом Ейск на Азовском море (Рис. 8, 48).

Практика проектирования и эксплуатации различных портов (Божич, Джунковский, 1949; Башкиров, 1964; Горюнов, Шихиев, 1970; Яковенко, Омельченко, 1993; Шуйский, 2019 б) показала, что

различные практические подходы к соответствующим исследованиям применяются к трем основным группам портов: а) в полузакрытых бухтах, лиманах, риасах на мелководных террасах горных побережий; б) на открытом выровненном берегу с умеренной крутизной подводного склона и острым дефицитом наносов; в) в устьевой области рек, в которых вода с несущественной мутностью; г) возможно устройство искусственных накоплений или отсыпок пляжей в волновой тени внешних портовых молов, при умеренно отмелом подводном склоне (Рис. 51), согласно научному положению о «теневом параметре» В. Ларсона и Х. Хансона (Larson, Hanson, 2003), график Рис. 7.



Рис. 51. Искусственный пляж сохраняется в волновой тени от внешнего южного мола порта Ильичевск и под защитой «искусственного волнолома» (затопленная баржа) в 1990 г. (фото Д. Я. Бергмана).

В каждой группе различаются подгруппы по признакам уклонов подводного склона (Рис. 31), ширины сектора подхода волн к месту расположения порта, запасов наносов, расчетных значений размеров волн, скоростей волновых течений, определения видового состава,

биологической массы, биологической продуктивности, ареала залегания растений и животных в береговой зоне моря. При проектировании, строительстве и эксплуатации портов, как любых других хозяйственных объектов, важно избегать негативных последствий и обеспечивать высокое качество морской воды, источников пресных вод, почвенного покрова, обеспечивать высокое качество воздуха. В каждом отдельном случае рекомендуется исследовать баланс наносов, с определением численных значений источников поступления и разгрузки осадочного материала, чтобы сохранить естественные пляжи, другие аккумулятивные формы прибрежно-морского рельефа, не допускать заносимость акватории порта и нейтрализовать процессы абразии на соседних участках морского берега.

При этом руководствуемся всеми основными положениями береговедения и геоморфологии морских берегов, разработанными методами исследований, применением картографического, сравнительно-географического, аналитического, графического, ретроспективного, других методов, на основе теоретической базы природной географии. Нами анализируются основные параметры и основные свойства каждого участка и района береговой зоны, согласно законам географической локальности, системности и окружающего влияния. Учитываем физико-механические свойства горных пород, в т.ч. как источника осадочного материала, напряженность волнового поля и волновой режим, рельеф прибрежного дна, баланс наносов в границах данной литодинамической ячейки, характеристики вдольберегового потока наносов и его продольную и поперечную структуру. Также учитывались необходимые нормы и правила, регулирующие влияние гидротехнических сооружений, кондиционных и некондиционных, на природу береговой зоны моря и природных компонентов на сооружения.

В настоящее время большинство портовых гидротехнических сооружений не удается в полной мере «вписать» в природную систему морских побережий, а это заставляет использовать огромные средства и усилия для дополнения природы и искусственно создавать более благоприятные условия для дальнейшего функционирования порта. Примером может служить морской торговый порт

Ильичевск, устроенный в естественном Сухом лимане на побережье Черного моря. Порт защищен от штормов и заносимости грунтами, но вместе с тем были огромные материальные, финансовые и трудовые затраты, чтобы углубить акваторию, прорыть естественную пересыпь и обустроить подходной судоходный канал, привести в порядок береговые склоны лимана, по необходимости создать искусственные территории и проч. К тому же, внешние гидротехнические сооружения порта нарушили режим вдольберегового потока наносов, что в таких случаях обычное дело, но при этом появилась необходимость «ниже по трассе» потока укрепить глинистый берег длинным искусственным пляжем и террасировать абразионно-обвальный клиф. Немаловажно, что природа далеко не всегда безобидно воспринимает такую «мелиорацию». Чаще всего она отторгает непрошенных экологов, которые часто не понимают, что творят. Как раз Ильичевский порт в Сухом лимане представляет больше позитивный, чем негативный вариант, в данном случае порт в общем вписался в природу морского побережья. Однако, даже данный положительный опыт показал, что надо быть готовым дорого платить за дальнейшую эксплуатацию всего портового хозяйства. Об этом последствии вынужден напомнить последующим создателям различных технических объектов на морских побережьях.

Материалы, выводы и рекомендации этого параграфа дают возможность наметить, выделить, обосновать и сформулировать главные риски и угрозы различным видам природопользования в береговой зоне морей, а прежде всего – в сфере инженерно-строительной деятельности (Шуйский и др., 2021 а). Для этого нужно дополнительно рассмотреть и проанализировать основные положения и опыт берегозащитной деятельности и использования прибрежно-морских наносов для строительных и других хозяйственных нужд. Этому посвящены следующие два параграфа данной книги.

§ 7. БЕРЕГОЗАЩИТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ

Многолетние исследования берегов Мирового океана привели к интенсивному накоплению натурального фактического материала в течение всего XX столетия, причем, на основе предыдущих пионерных описаний и составлений карт (Зенкович, 1946, 1962). Оказалось, что берега морей и океанов в ряде прибрежно-морских регионов требуют улучшения, приспособления для сохранения полезных свойств и оптимального природопользования (§ 1). Накопленный опыт позволил разработать методику берегозащиты, вначале пассивной, а затем – и активной. Оценки ее эффективности и теоретический анализ показали (Жданов, 1960, 1963; Кнапс, 1960; Сокольников, 1976; Хомицкий, 1983; Шуйский, 2019 б), что для успешной «мелиорации» береговой зоны и ее защиты от волнового разрушения следует учитывать прежде всего динамику прибрежных вод и баланс наносов в береговой зоне морей (Шуйский, 2000, 2018; Леонтьев, 2001; Пешков, 2005).

В процессе попыток составления кадастров береговой зоны ряда морей исследователи заметили, что разрушаются медленнее всего те клифы на коренных берегах, которые блокированы достаточно крупными пляжами. Если же защитные пляжи у подножья береговых обрывов (клифов) невелики или отсутствуют вовсе, то береговые склоны разрушаются быстро и берег отступает интенсивно, с повышенными скоростями. С тех пор в береговедении утвердилось мнение, согласно которому, чем больше волновой энергии использует процесс абразии, тем меньше ее используется для размыва пляжей, и наоборот. Это означает, что береговые пляжи являются лучшей, естественной, универсальной защитой берега от абразии и размыва волнами. Чем более крупными являются такие пляжи, тем надежнее их берегозащитная функция. При этом само собой разумеется, что крупный пляж может поддерживаться природным, естественным влиянием вдольберегового потока (или суммой поперечных миграций) прибрежно-морских наносов.

В 70-е годы XX века названные выводы стали обобщаться береговедами различных научных школ. Они осознали, что природа гидрогенного механического энергетического комплекса такова, что волновая энергия расходуется двойко: а) для переработки пляжевых наносов; б) для абразионного разрушения клифов и бенчей. Причем – одновременно.

Итак, для сохранения естественных и искусственных пляжей различных типов и видов и их берегозащитных свойств (в основном сохранения необходимого количества пляжевых наносов) особенно важным считаем понижение волновой энергетической напряженности. Именно для этого предназначены комбинированные сооружения: пассивные и активные, в комплексе вместе с отсыпками пляжевых наносов на соответствующих участках береговой зоны моря (Шуйский, 2010). Одновременно рекомендуем регулировать состав наносов для той или иной ситуации и режима развития прибрежно-морской системы конкретного уровня организации.

До 50-х годов XX столетия берегозащитная деятельность большинством исследователей расценивалась как главная руководящая в учении о береговой зоне моря (Гамаженко, 1956; Зенкович, 1956, 1962; Леонтьев, 1961; Лонгинов, 1963; Башкиров, 1964; Сокольников, 1976; Хомицкий, 1983; Меладзе, 1993).

В те годы существующие берегозащитные мероприятия окончательно были представлены защитными гидротехническими сооружениями – стенками, откосами, каменными набросками, фигурными бетонными средствами и др. Все они стали называться *пассивными* сооружениями, поскольку свою физическую прочность они противопоставляли силе ударов морских волн. Наряду с ними, все большее применение нашли буны и волноломы, более дорогие при возведении, но с более эффективной защитной способностью. Эти сооружения стали называться *активными*, поскольку они не только гасили волновую энергию, но и могли накапливать пляжевые наносы. Росли размеры пляжей, и это была естественная защита берегов от абразионного разрушения.

Эта закономерность была надежно выявлена еще в середине XIX и в начале XX столетий (Palmer, 1834; Герсеванов, 1862;

Fenneman, 1902; Thompson, 1937). Типичным новейшим примером ее целенаправленного применения путем кондиционного проектирования госпредприятием «Грузморберегозащита» может служить берег Кавказа на Черном море. Там для защиты железной дороги от разрушения были применены буны полного профиля и искусственные отсыпки гальки и гравия (Рис. 52).



Рис. 52. Защита береговой железной дороги пляжеобразующими бетонными бунами (вид на северо-запад) на Кавказском побережье Черного моря. Район в Республике Грузия, недалеко от города Гагры (фото Ю. Д. Шуйского).

Такие методы были тесно связаны с наличием обильных запасов гравийно-галечных наносов на данном побережье. Как можно видеть, образовались устойчивые пляжи, достаточно крупные, чтобы принять на себя удары штормов и обезопасить берег и расположенную на нем железную дорогу. На каждом отдельном участке береговой зоны такое влияние является разным, способным поддерживать размеры пляжа, причем, размеры как линейные, так и объемные. Если замечаем их изменения, то это явный признак изменения всей литодинамической системы, а в первую очередь –

режима вдольберегового потока наносов или суммы поперечных миграций наносов. Такая связь обеспечивается бесспорным взаимовлиянием всех частей береговой зоны, от мельчайших до крупнейших.

Специалисты из предприятия «Грузморберегозащита» опирались на мировой опыт защиты морских берегов от гидрогенного (в основном волнового) разрушения, который сконцентрировался в учении о береговой зоне морей (Гамаженко, 1956; Зенкович, 1962; Жданов, 1963; King, 1972; Koike, 1985; Horikawa, 1978; Меладзе, 1992). Соответственно, появились разные конструкции бун, как например вдоль западного берега Черного моря (Рис. 53). Здесь береговые пляжи питаются в основном из вдольберегового потока, который питается дунайским аллювием, но размер частиц наносов неблагоприятен для данной напряженности волнового поля. Содержание фракций $\leq 0,1 \text{ мм} = \geq 85\%$ обуславливает быстрый размыв естественных пляжей. В этой связи создается система таких бун, которые максимально гасят потоки волновой энергии для усиления наносонакопительной способности бун. Многочисленное использование берегозащитных гидротехнических сооружений разных конструкций обусловило практическую необходимость наблюдать за тем, как реагирует окружающий участок берегов и подводного склона на вторжение такого инородного искусственного тела, каким является сооружение.

Относительное равновесие в прибрежно-морской системе, сложившееся тысячелетиями, на присутствие берегозащиты не рассчитывало и не предусматривало ее. Чаще всего система отторгает искусственное сооружение. Поэтому важно установить инструментальное стационарное наблюдение и за его состоянием, и за состоянием береговой зоны в целом. В этом случае контролируется не только состояние пляжей и соответствующих сооружений, но также состояние всей литодинамической системы на разных этапах ее развития. Ведь может случиться так, что гидротехническое сооружение негативно повлияет на береговую зону, и принесет больше вреда, чем пользы. Поэтому на послестроительный контроль не следует жалеть денежные и другие средства.



Рис. 53. Фигурные берегозащитные «длинные» буны на западном берегу Черного моря, к югу от Констанцы, пляжи Эйфория-Юг, Румыния, надежно защищают берега от гидрогенного разрушения (фото Ю. Д. Шуйского).

Этот контроль может привести к таким последствиям: *а)* в случае неудачи возможно внести коррективы в проект и в конструкцию сооружения; *б)* если вредные последствия окажутся весьма серьезными до такого состояния, что затраты на эксплуатацию превысят затраты на защищаемый объект и будут много больше его стоимости, то от сооружения надо отказаться, а далее целесообразно удержать затраты на берегозащиту с проектировщиков и (или) строителей; *в)* положительные и отрицательные последствия берегозащиты в любом случае должны быть тщательно задокументированы, рассмотрены и проанализированы, поскольку они представляют собой наиболее ценный опыт.

В связи с этими возможными последствиями, для предотвращения неудач важно четко определить цель и задачи берегозащитного сооружения. Они во многом определяются природными факторами, условиями и динамикой береговой зоны. Поэтому основной задачей берегозащитного мероприятия или сооружения определяется его надежность, способность защитить берег от

разрушения, сохранить полезные свойства берега, долговечность сооружения в соответствии с классом его гарантийного периода эксплуатации.



Рис. 54. С 1987 г. искусственная терраса защищает железную дорогу от разрушения на пересыпи Днестровского лимана, северо-западный берег Черного моря (фото Ю. Д. Шуйского).

Показательным примером можно считать искусственную защитную террасу на морском крае песчаной пересыпи Днестровского лимана, где в естественном состоянии горизонтальные колебания береговой линии достигали ± 25 м, а вертикальные до $\pm 1,5$ м у линии берега (Рис. 54). Она была построена в 1987 г. и до настоящего времени достаточно успешно защищает полотно на 56-57 км железной дороги Одесса-Измаил, хотя была рассчитана на гарантийную эксплуатацию в течение 25 лет. Терраса сложена разнородными грунтами, ее основу представляет крупный щебень. Морской край обрамлен щелевым откосом с обратным фильтром. Фланги террасы закреплены прочным цементным покрытием. На смежных участках берега, не охваченных террасой, где полотно дороги проходит ближе 50 м, под поверхностью неконсолидированного песка пересыпи установлен такой же откос.

Это сделано на тот случай, если деформации песчаного пляжа достигнут максимума и штормовые волны войдут в соприкосновение с полотном железной дороги. Однако, здесь они встретят защитный откос, который, по крайней мере временно, до доштормового восстановления пляжа, не даст размываться полотну и сохранит его вместе с рельсами. Вначале эта терраса была обрамлена каменной наброской, обломками до 100 кг. Но такое действие привело к размыву узкого пляжа (ширина до 10 м), захоронению обломков и засорению пляжа, который мог бы использоваться рекреантами. В дальнейшем от него отказались, а сегодня положение морского края пересыпи стабилизировалось.

Нелишним будет подчеркнуть, что в конце XX столетия многие специалисты пришли к выводу о целесообразности применения берегозащитных террас из разнородных грунтов (Бертман, Шуйский, 1983; Shuisky, Schwartz, 1988; Shuisky, 1994; Шуйский, 2019 б), а в «Грузморберегозащите» стали применять террасы, продуцирующие пляжевые наносы (Кикнадзе, 1991; Меладзе и др., 1992). Берегозащитные мероприятия появились тогда, когда процесс расселения людей затронул участки берега, подверженные разрушению, а сами участки были удобны для проживания (защищены от врагов, богаты пищевыми ресурсами, позволяли вести контроль на торговых путях и др.).

В работах В. И. Лымарева (Лымарев, 2002, 2004) и А. А. Стояна (Стоян, 2010) берегозащитное строительство рассматривается как один из типов мелиорации, а, например, в работе Ю. Д. Шуйского и Г. В. Выхованец (Шуйский, Выхованец, 1989) – как фактор возмущения устоявшегося, сбалансированного режима развития береговой зоны моря. Как показала практика работы берегозащитных сооружений в части берегозащитной организации прибрежно-морской природной системы, уже сегодня в основе всех видов и типов защиты морских берегов от разрушения волнами и другими силами Океана, лежит фундаментальное научное положение по теории береговедения и общей теории физической географии. Уже сегодняшний опыт еще раз подтвердил его, поскольку оно отражает перераспределение

потоков энергии и вещества, согласно работам А. А. Григорьева, М. И. Будыко, А. Д. Арманда, И. Т. Исаева, В. С. Лямина, П. В. Попова, В. С. Преображенского и др. Для береговой зоны это философское положение означает, что усиление потоков энергии ведет к вовлечению в движение дополнительных потоков вещества, в данном случае масс осадочного материала. И наоборот, ослабление потоков энергии гидродинамических сил ведет к изъятию пропорционального количества вещества («береговых наносов») из движения в прибрежно-морской природной системе. Также оказалось, что подобные видоизменения лежат в основе стойкого взаимодействия системы с окружающими природными системами, саморегулирования системы, ее сохранения, стойкости и сохранения её структуры и динамики.

Соответственно, для береговой зоны характерно, что в принципе все равно, какое возмущение она испытывает: природное или антропогенное, положительное или отрицательное, деструктивное разрушительное или положительное защитное и созидательное. В данном случае важно, что возмущение стремится вывести природную систему из равновесия. Например, Рис. 52 и 53 показывают существенное накопление наносов в межбунных карманах. Это значит, что антропогенное возмущение обеспечивает накопление наносов на защищенных участках, а поэтому далее по трассе вдольберегового потока одновременно формируется участок с равнозначным по величине дефицитом наносов. На других берегах попытка защитить берег с помощью комбинации бун и подпорной стенки (Рис. 55) привела к размыву пляжа отражательным от стенки потоком прибоя, как произошло также и вдоль стенки на пересыпи лимана Бурнас возле пос. Тузлы и в пункте Томис возле Констанцы.

Природное, и антропогенное нарушение динамического равновесия требует либо выполнения дополнительных защитных мероприятий, что очень дорого, либо ухода от опасного участка на другое место, где безопасно. Это как раз один из довольно часто встречающихся случаев, когда наносов для естественного накопления не хватает, а в условиях избытка наносов берегозащита не нужна.



Рис. 55. Совмещение коротких бун и подпорной стенки привело к размыву пляжей в межбунных карманах и превращение всего комплекса в пассивное сооружение. На этом берегу Балтийского моря на северо-востоке Германии пляжи были в 3 раза шире, чем с берегозащитными сооружениями.

Бывает так, что инженеры-строители или экологи не понимают закономерности развития аккумулятивных форм прибрежно-морского рельефа. Они уверены, что если форма аккумулятивная, то она всегда развивается в процессе нарастания берега, при постоянном увеличении ее размеров, а опасность размыва отсутствует. Поэтому они планируют расположение поселков или рекреационных заведений на барах, косах и узких пересыпях в полной уверенности, что ареалу освоения территории этих форм не угрожает размыв и сокращение площади, уничтожение построек и различных прилегающих угодий, однако выходит наоборот (Рис. 56). Ведь около 80% современных аккумулятивных форм в береговой зоне Мирового океана являются размываемыми, с соответствующими потерями пляжевых наносов, в условиях всеобщего дефицита прибрежно-морских наносов. Так, например, значительные их потери испытала коса Грав на побережье Бискайского залива, косы

Моной и Наусет на Атлантическом побережье Северной Америки, штат Массачусетс, коса Хель на южном берегу Балтийского моря. При попытках прекратить активный размыв аккумулятивных форм требуются надежные данные не только о режиме вдольбереговых потоков наносов, но и об источниках их питания.



Рис. 56. Расположение поселка Аршинцево на берегу Керченского пролива (между Азовским и Черным морями) оказалось неудачным. Волновое штормовое разрушение привело к исчезновению поселка и превращению пляжа в беспорядочное накопление каменных обломков (фото Ю. Д. Шуйского).

На сегодняшний день Мировой океан и его береговая зона вошли в такую стадию развития, во время которой приходные элементы баланса исходного осадочного материала существенно уступают расходным элементам (Айбулатов, 1990; Бёрд, 1990; Шуйский, 1986, 2000). Этому глобальному явлению во многом способствует влияние антропогенного фактора. Под его влиянием в большинстве случаев наносы с пляжей и более крупных форм берегового рельефа бесконтрольно массово используются в строительных целях, в

разных отраслях строительства, начиная от производства вяжущих смесей и до кирпичного производства. Поэтому очень скоро антропогенные объекты подвергаются разрушениям вместе с аккумулятивными формами.

Примерами могут служить пос. Аршинцево на песчаной косе (Рис. 56) или пос. Кировское на западном берегу п-ова Камчатка. После 90-100 лет относительного благополучия их территория подверглась разрушению морскими волнами. Сегодня новые физико-географические условия привели к реальному размыву берега после длительной волновой выработки огромных масс наносов.

Так сложилось в прошлом, когда береговедение только начинало развиваться, еще не были известны закономерности формирования, структуры, морфологии и динамики аккумулятивных форм прибрежно-морского рельефа. По аналогии с ландшафтами суши, у пришедших первых поселенцев и местной администрации бытовало представление, что и эти формы так же стабильны и неизменны («твердь земная»).

Поэтому население осваивало также и динамичный, изменчивый рельеф на побережьях. Но впоследствии оказалось, что это не так. Подобные явления позже вскрылись также и на южном и восточном берегах Балтийского моря, на восточном и южном побережье Северного моря, на о. Нордерней, на пересыпях лагун Атлантического побережья США и др. (Каплин и др., 1991; Шуйский, 2000; Bird, 1985; Horikawa, 1978; Sheppard, Wanless, 1972). В этих случаях нерационально бороться с процессами размыва берега, дешевле и полезнее для природы морского берега перенести поселения подальше от моря.

Стремление защитить подобные территории поселков оказались не только затратными и бесполезными, но и вредными (Артюхин, 1989; Айбулатов, Артюхин, 1993; Сафьянов, 1996). Нагромождение бетонных и железобетонных обломков надолго вывело из строя песчаный пляж, место отдыха и восстановления здоровья, важный бальнеологический объект. Но с упорством, достойным лучшего применения, аналогичным образом экологи «защитили» берег Косы Тузла в начале XXI века там же, в Керченском

проливе (Рис. 57). Эта безграмотная затея нанесла значительный вред, а окончилась тем, что очередной шторм выбросил бетонные плиты подальше от моря. Поэтому, пока они еще не разломались на куски, их можно было собрать и использовать по назначению. Но и этот шанс не был использован, что привело к усилению вредных последствий названной «берегозащиты».



Рис. 57. Попытка накрыть песчаный берег бетонными плитами и тем самым защитить косу Тузла (Керченский пролив) от размыва была некачественной, а потому вредной, затратной (фото Ю. Д. Шуйского).

Подобные экологические решения встречаются часто, и не только на аккумулятивных берегах. Мало того, имеются страны где недвижимость на таких берегах (Рис. 55, 56) подлежит страхованию на случаи развития оползней, согласно экологическому законодательству. Особенно дорогостоящими как в строительстве, так и в эксплуатации, являются защитные сооружения высоких абразионно-оползневых клифов, на которых развиваются глубокие оползни с валом выпирания на подводном склоне. Если создавать здесь буны, то они быстро разрушаются на подвижных

«языках оползня» и на валах выпирания. В этих условиях бесполезны какие-то искусственные «свободные» неогражденные пляжи. При оползневых подвижках действуют сильные разрушения, и при этом наносится огромный ущерб (Рис. 58, 59).



Рис. 58. Экологи рекомендовали «безопасный» участок абразионно-оползневого берега Черного моря для постройки рыбацко-дачного поселка. Через 9 лет поселок оказался разрушенным (фото А. Б. Муркалова).

В таких случаях наиболее эффективным и действенным является применение комплекса противооползневых и берегозащитных методов, который включает в себя: а) обезвоживание осадочных пород в клифе (строительство дренажных скважин, штолен, создание надежной сети водопотребления в береговых населенных пунктах и др.); б) пригрузка языка оползня и обеспечение малого уклона оползневого склона; в) недопущение абразии берегового склона. Такие шаги необходимы, поскольку оползни прямо охватывают сам береговой склон, прилегающее плато, прибрежное дно, часто синхронно все вместе взятое, как например восточнее Одесского залива, на берегу Черного моря (Рис. 59).



Рис. 59. Последствия крупного оползня выпирания на северном берегу Черного моря, востоку от Одесского залива, в июле 2018 г. (высота абразионно-оползневого клифа 43 м): а – оползневой блок и стенка отрыва; б – вал выпирания (фото А. А. Стояна).

Примечательно, что никакие сваи, бетонные плиты или стены при этом не могут задержать и остановить оползень, сохранить берег и все, что на нем построено. А противооползневые и

противоабразионные рекомендации экологов никак не приемлемы, это не их объект исследования. Даже их забота о растениях и животных, о природной чистоте почвы, воды и воздуха должна учитывать, что береговая зона вначале создает рельеф, с определенной морфологией, геологическим строением, а уж затем на этом природном комплексе живые организмы находят нишу для своего проживания. На побережье Черного моря нередко рекреационные заведения возводятся на очевидно разрушаемых берегах, где скорости абразии превышают $1,5 \text{ м/год}$. Но это застройщиков не останавливает, как например на глинисто-известняковом берегу в районе гор. Южный (Рис. 60), как и на Бурнасском абразионном участке.



Рис. 60. Неудачный выбор расположения летней базы отдыха на абразионном берегу в районе гор. Южный. Многолетняя растительность на оползневых блоках горной породы (оползневых террасах) уходит в море, хотя предназначалась для «защиты» от абразии. В естественном состоянии скорость абразии клифа составляла $1,7 \text{ м/год}$ (фото Ю. Д. Шуйского).

Именно на таких участках не помогают никакие стенки, сваи, массивы, каменные наброски для того, чтобы остановить разрушение берега и сохранить постройки. Тем не менее, сегодня государственные администрации охотно согласовывают подобные застройки. Тем самым они берут на себя ответственность, гарантируют сохранность рекреационных объектов и соответствующей инфраструктуры. В этой связи государственное природоохранное законодательство требует серьезной корректировки.

Перечисленные мероприятия требуют постоянной поддержки в виде ремонтов в процессе эксплуатации, например, восстановления искусственных пляжей, целостности бун, траверсов, волноломов, подпорных стенок и проч. На Рис. 59 а видно: береговое плато, на котором расположено поле и обычно выращивается пшеница, в течение считанных часов потеряло полосу до 35-40 м. Возле берега, на морском дне на языке оползня были выдавлены три вала, а это указывает на разрушение тех построек, которые находились бы на прибрежном дне, например, отсыпки пляжа, стенки, буны и проч. В этих физико-географических условиях проблематичной является и методика создания искусственных пляжей, примененная предприятием «Грузморберегозащита». Это еще раз подтверждает острую необходимость учета конкретных условий на каждом участке.

Даже береговые оползни, расположенные рядом, существенно различаются (Рис. 59). Один тип отражает блоковое строение абразионно-оползневого клифа, на котором четко отражаются отдельные террасы, синхронное оползание блоков по вертикали, относительно небольшая степень перемятости породы, небольшая длина оползневой подвижки вдоль берега, замедленные скорости абразии в течение длительного промежутка времени (Рис. 59 а). На подводном склоне редко встречаются сравнительно небольшие валы выпирания. Другой, соседний, тип имеет другие свойства из числа перечисленных. Не вызывает сомнения то, что борьба с последствиями второго типа оползней (Рис. 59 б) ведется несколько иначе, соответственно механизму их проявления и развития, места расположения вдоль трассы потока наносов, высоты склона.

Казалось бы, оба примера включают абразионно-оползневой берег. Но опыт исследований показывает, что успешными не могут быть одинаковые методы защиты берегов от влияния абразионно-оползневых и абразионно-обвальных процессов, негативных процессов на аккумулятивных формах, на термоабразионных и абразионно-денудационных берегах (Сафьянов, 1987; Каплин и др., 1991; Игнатов, 2004).

Эти процессы различны, причем не только вообще, но и в пределах каждого берегового района и участка. Во время проектирования защитного комплекса вдоль 12,5 км длины Одесского берега Черного моря на отдельных 15 участках абразионно-оползневого берега, отдельно на каждом, учитывались уклоны подводного склона, экспозиция вектора E по отношению к береговой линии, удельные величины волновой энергии на поперечном профиле, количество песчаных наносов в составе искусственных пляжей и др. (Шуйский и др., 1973; Шуйский, 2010). Примененные научные подходы и принципы соответствуют закону географической локальности (Шуйский, 2019 а).

Немаловажно, что литодинамическая значимость второго типа оползневого клифа выше (Рис. 59 б). Это чаще всего связано с повышенной степенью дробления породы и обводненности склона, что позволяет морским волнам быстрее перерабатывать оползневой грунтовый шлейф. Нижние оползневые террасы в сфере влияния морских волн всегда разрушаются быстрее, чем клифы в целом. Поэтому в береговую зону поступает повышенное количество наносов, которые в значительной мере отлагаются на прислоненных пляжах. Получается, что оползневой процесс «пытается» защитить клиф от дальнейшего сильного разрушения. Конечно, есть смысл использовать ход этого процесса как часть общей берегозащиты. В связи с изложенным выше представляется очевидным различный подход, принципы проектирования, местоположения берегозащиты и прочее на основании закона географической локальности (Бертман, Шуйский, 1983; Shuisky, 1994; Шуйский, 2000а). Он как раз и рекомендует выявлять морфологию и динамику береговой зоны точно на месте возведения того или иного сооружения

или создания того или иного сельскохозяйственного угодья (сада, виноградника, технических культур и др.).

Подобные оползни разного типа (Рис. 58, 59, 61) наносят огромный вред и безвозвратно отнимают значительные площади ценных приморских земель, вместе со всем, что на них построено. Это потери невозвратимы (*not back way*). Для предотвращения таких явлений экологи рекомендуют покрыть берег и прилегающее плато травянистой и древесной растительностью, как это произошло в районе города Южный (Рис. 60).

Приведенные примеры неудачной защиты морского берега от разрушения должны быть включены в арсенал профессионального опыта береговедов с тем, чтобы не повторять вредные последствия берегозащиты. В арсенал профессионального опыта с положительным результатом следует отнести результаты длительной эксплуатации Одесского берегозащитного комплекса, который уже с 1959 г. защищает берег Черного моря, длиной 12 км (Шуйский, 2010). Этот комплекс проектировался с гарантийным сроком 25 лет, но с относительно небольшим ремонтом, защищает берег уже около 60 лет. Больше 50 лет надежно защищают западный берег Черного моря сооружения в районе Эйфория-Юг, Румыния (Рис. 54). Длительное время берегозащитные сооружения работают в Израиле возле Ашдода, в Египте около Александрии, у морского берега Венеции, вдоль берега о. Узедом на юге Балтийского моря, на берегу Японского моря в районе Ниигата, на берегу Восточного моря на п-ове Дошон, Вьетнам, и др.

В арсенал продуманного, положительного и эффективного опыта следует внести работы научно-производственного предприятия «Грузморберегозащита» (Сафьянов, 1978, 1987; Кикнадзе, 1991; Меладзе и др., 1992). В этой организации специалисты использовали механизмы дифференциации исходного осадочного материала и превращения их в наносы береговой зоны Черного моря. Это позволило использовать громадное количество бросовых грунтовых масс и превратить их в защитные пляжи. На участках четко выраженных вдольбереговых потоков наносов важно равномерное распределение пляжевого материала вдоль морского берега (Рис. 62).

Для этого искусственные препятствия должны не тормозить или полностью задерживать, а беспрепятственно пропускать этот материал абсолютно свободно на последующие участки по трассе вдольберегового потока наносов. В этом случае использование пляжеобразующих наносов считаем оптимальным. Как видим на среднем плане приведенной иллюстрации (Рис. 62), «глухое» препятствие в виде длинной бетонной буны незыблемо стало на пути вдольберегового движения наносов.

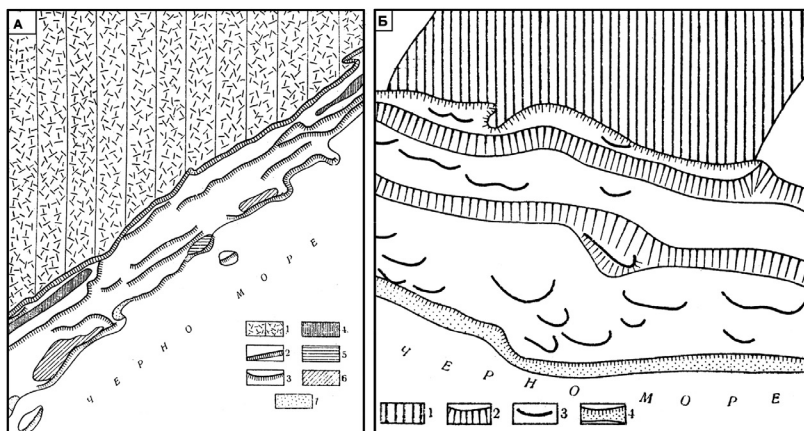


Рис. 61. Схема планового расположения участков абразионно-оползневых клифов на западном берегу Черного моря (Попов, Мишев, 1974). А – с раздробленными рыхлыми оползневыми массами: 1 – приморское плато; 2 – отвесные участки на склоне; 3 – старые и свежие клифы; 4 – тыльный склон на запрокинутых блоках; 5 – высокая терраса; 6 – низкая терраса; 7 – прислоненный пляж. Б – с линейно-блоковыми оползневыми террасами: 1 – древнее береговое плато; 2 – фронтальный склон оползневой террасы; 3 – малые формы смещения; 4 – современный клиф на нижней террасе и пляжевая полоса.

Поэтому с наветренной стороны буны началось заполнение «входящего угла», где пляж оказался очень широким, до 60 м (в среднем $160 \text{ м}^3/\text{м}$). Он надежно защитил коренной берег и населенный пункт от волнового размыва. Но с подветренной

стороны буны, в зоне «низового размыва», если бы не грунтовая масса, из которой волнами сепарируются пляжевые наносы, то исходная береговая территория несла бы большие потери. Эта грунтовая масса продолжает пополнять трассу вдоль берегового потока, далее наносы проходят относительно свободно сквозь сваи причала, что дает положительный эффект. А затем далее по трассе потока наносы равномерно пополняют пляжи, и их берегозащитная ширина вполне удовлетворительна, как можно видеть (Рис. 62).



Рис. 62. Распределение отсепарированных пляжевых наносов во вдольбереговом потоке наносов в условиях влияния «глухого» искусственного препятствия и сквозного свайного пирса; район города Гагры, побережье Кавказа (фото В. М. Пешкова).

Как правило, берегозащитный тип инженерно-практической деятельности требует больших затрат – трудовых, материальных, финансовых. Морские гидротехнические сооружения не только весьма трудоемкие, дорогие по сметной стоимости. Они к тому же требуют весьма больших затрат во время эксплуатации, когда

подвергаются непрерывным ремонтам (Сафьянов, 1987; Артюхин, 1989; Кикнадзе, 1991; Шуйский, 2010). На эксплуатацию требуются затраты, на порядок-два более высокие, чем во время строительства, в течение гарантийного срока. На протяжении описаний всей истории берегозащитного строительства нами были найдены единичные примеры, когда берегозащитные сооружения достаточно длительное время надежно защитили берег от разрушения, и даже без существенных расходов на их ремонтное поддержание. Примерами могут служить защитные комплексы на о. Нордерни (Северное море), вдоль о. Узедом (Балтийское море), искусственная терраса возле Мал. Аджалыкского лимана и защита бунами около пос. Железный Порт (Черное море) и др. Думается, что именно этим должна была бы вызываться эффективная стратегия берегозащитных работ и отношение к ним.

В некоторых (немногочисленных) странах морские берега стали защищать уже в XVI веке. Однако, профессиональная берегозащита появилась вместе с формированием теории учения о береговой зоне моря и соответствующих инженерных разработок еще в XIX веке (Жданов, 1960; Залогин, 1983; Яценко, 1985; Кикнадзе, 1991). Широкое распространение берегозащитное строительство получило после 1-й Мировой войны в Германии, Дании, Франции, Италии, Японии. Первые теоретические итоги эффективности сооружений стали подводиться в 30-40-х годах XX столетия. Они привели к выводу (Жданов, 1952, 1963; Гамаженко, 1956), что в береговедении различается два типа сооружений, которые предназначены для защиты от абразии: *пассивные* и *активные*. В их разработке для защиты берегов морей и водохранилищ важную роль сыграли представители украинской природно-гидротехнической школы (Сокольников, 1976; Хомицкий, 1983). Одним из ярких представителей этой школы является ведущий научный сотрудник Хомицкий В. В. (Рис. 63). Его проекты были вполне удачными при разработке берегозащитных сооружений на Азовском и Черном морях, на озере Байкал, на Днепровских водохранилищах, при создании портовых сооружений в Одессе, Ильичевске, Керчи, Белгород-Днестровском, Потти.



Рис. 63. Доцент Хомицкий Виталий Владимирович, канд. технич. наук, гидролог, гидравлик, береговик.

В основу своих разработок этот ученый взял природоохранный принцип береговой гидротехники, абсолютный учет природы и закономерностей развития береговой зоны моря. В.В. Хомицкий часто прибегал к использованию берегозащитных сооружений-аналогов, разработанных на базе метода инженерной морфодинамики в Институте гидродинамики НАН Украины. Активно использовал опыт исследований эффективности созданных им сооружений, как положительный, так и отрицательный.

Практически во всех странах в практике берегозащиты вначале доминирующее применение заняли пассивные сооружения. Они представляют собой чаще всего глухие стенки и откосы разной формы и уклонов. Но их большинство быстро разрушается и не выполняет своего защитного назначения. «Защищенный» берег продолжает разрушаться, теряет определенную площадь, вместе с хозяйственным объектом, если таковой присутствует (Рис. 56). При этом остатки сооружений засоряют пляжи обломками породы, строительных конструкций, арматурой и проч., что создает опасность травмирования тех отдыхающих, которые находятся на морском берегу (Рис. 64). В этой связи в настоящее время стенки и откосы рекомендуются на скальных берегах, с прочными

склонами, с целью благоустройства или как составная часть других сооружений. Крайне нежелательно каменные, бетонные, металлические или кирпичные стенки и откосы устанавливать в верхней части пляжа, пусть даже небольшого. Это всегда приводит к полному разрушению пляжа и к невозможности восстановления в дальнейшем (Рис. 36, 37, 56).



Рис. 64. Неквалифицированная защита морского берега, которая не учитывает необходимые свойства береговой зоны, быстро разрушилась и вывела из пользования комфортный песчаный пляж (фото А. В. Давыдова).

В Украине широкую известность приобрела «одесская школа» морских гидротехников-практиков, начало которой заложили О. Г. Нудельман, Е. Е. Китран, Г. М. Зуб, А. М. Дранников, П. И. Яковлев и др. Это были специалисты высочайшей квалификации, в той или иной области, и одесским инженерам и ученым можно было заказать проекты любой сложности. Они работали

на берегах всех 14 морей, омывающих территорию СССР, а также в других странах. По одесским проектам были построены и эксплуатировались морские порты (например, Ходейда в Йемене), судоходные каналы (например, Ла-Плата в Аргентине), берегозащитные сооружения (волноломы, буны, траверсы, искусственные пляжи и проч.). Трудно было найти морских специалистов-гидротехников более высокого уровня, чем выпускники одесских высших учебных заведений. Под влиянием идей И. Д. Андросова, Г. Н. Аксентьева, И. А. Лызлова, Е. К. Гречищева, А. А. Чужмира, П. И. Яковлева, М. Б. Пойзнера и других, гидротехники начали активно работать с природоведами, а потому проектные решения берегозащиты, в отличие от большинства морских гидротехников разных центров и стран, стали опираться на наиболее достоверный материал изысканий – на натурные результаты. В основу применения этого материала легли теоретические разработки В. П. Зенковича и представителей его научной школы (Horikawa, 1978; Кикнадзе, 1991; Ma Venjin, 1992; Dean et al., 1998; Pruszkak, 2003; Шуйский, 2010).

Важно подчеркнуть, что развитие теории и методики береговедения повлекло за собой усовершенствование берегозащитных сооружений. Когда стало ясно, что волноотбойные стенки чаще всего не выполняют защитного назначения, а лучшим средством защиты коренного берега является прислоненный пляж, ученые и инженеры стали искать такую берегозащиту, которая накапливала бы пляж. Прежде всего было решено, что такой защитой являются буны (Vollbrecht, 1957; Кнапс, 1960; Horikawa, 1978).

В большинстве случаев буны не защищали берег, а даже провоцировали активизацию размыва. Эти негативы заставляли совершенствовать применение бун. Появились многочисленные их модификации (I – образные, Y – образные, Г – образные и др.). Буны стали комбинироваться со стенками и волноломами. На галечных берегах в условиях сильного штормового заплеска наносы «перепрыгивали» бережное основание бун и уходили на сопредельные участки берега, что приводило к существенному уменьшению размеров межбунных пляжей. Чтобы сохранить

наносы на таких пляжах, были предложены т.н. «бунны полного профиля», с высокими бережными частями бун, что значительно удорожало берегозащитное строительство (Гамаженко, 1956; Жданов, 1956, 1963) (Рис. 64). Но зато размеры пляжей и их берегозащитная способность сохранялись довольно долго и так же долго использовались рекреантами. При этом потери вызывались в основном процессами истирания, что заставило обратить внимание на физико-механические свойства пород, из которых состоят наносы.

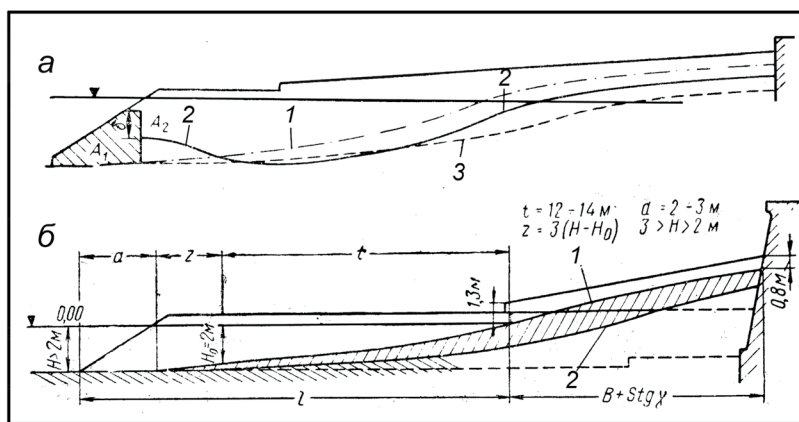


Рис. 65. Морские бунны, которые соответствуют принципу полного профиля и перекрывают профиль равновесия пляжа заданной ширины и объемных размеров (по материалам А. М. Жданова, Р. Я. Кнапса, И. А. Лызлова, В. П. Кузнецова): а – пространство между 1 и 3 – галечный пляжевый слой волновой переработки; 2 – средняя поверхность размыва, с учетом шлейфа у основания волнолома (A_2 – высота шлейфа), A_1 – подводный волнолом; б: штриховка между кривыми 1 и 2 – песчаный пляжевый слой волновой переработки; H – глубина у оголовка бунны; a – откос на мористой части бунны; l – длина подводной части бунны.

Достижения гидродинамики и литодинамики береговой зоны заставили более глубоко изучить возможности бун. Стали предлагаться различные расстояния между соседними буннами, различные

длины бун, различные экспозиции бун по отношению к результирующему вектору потока волновой энергии, различные соотношения между всеми названными характеристиками. Однако, учет их далеко не всегда давал эффективные полезные результаты. Поэтому стали различать буны для песчаных и буны для галечных наносов, буны с искусственной подсыпкой наносов и без нее, буны короткие и буны длинные, учитывать истирание гальки в межбунных карманах и многие другие модификации (Кнапс, 1960). В связи с режимом вдольберегового потока наносов этот автор рекомендовал брать во внимание количество бун, буны разной длины и разных контуров, буны в совокупности со стенками и откосами на защищаемом участке. Однако, как можно видеть из особенностей природы береговой зоны и из структуры береговедения, естественное разнообразие береговой зоны на контакте между Сушей и Океаном настолько велико, что повсеместно обеспечить успех с помощью бун, да еще такой же конструкции, в принципе невозможно. Да и с помощью других методов, включая естественные аналоги, также невозможно.

Наш опыт показал, что по предназначению наиболее эффективным является деление бун на два основных типа: *a* – для песчаных наносов, с подводным волноломом; *b* – для гравийно-галечных наносов, полнопрофильных, но без подводного волнолома (Рис. 65). При этом надо заметить, что их применение также должно быть приурочено к соответствующим локальным условиям: прежде всего к достаточно обильным запасам наносов на размываемом берегу, их пополнению из источников, к соотношениям *E* и *l* (Рис. 66).

Ни одна из модификаций бун до начала XXI столетия не обладала универсальностью и не была пригодна к повсеместному использованию. Не дали существенного эффекта волноломы (притопленные, распластанные, прерывистые, кулисные, «надувные», временные и прочие), а также волноломы в комбинации со стенками, бунами, набросками, сквозными конструкциями и др. Все они базировались на применении бун, которые и сегодня считаются достаточно эффективным средством сохранения естественных и создания искусственных пляжей, как например на Рис. 6, 11, 52.

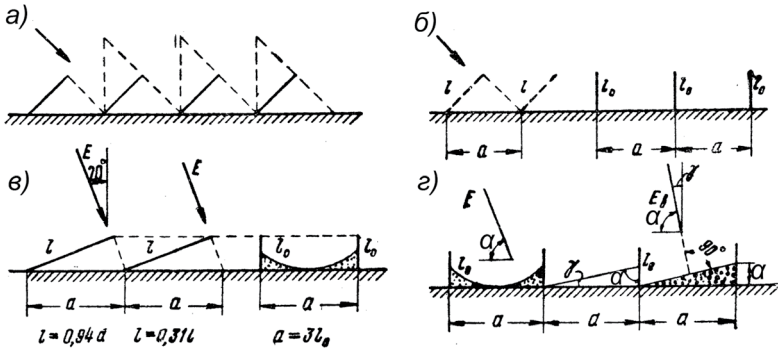


Рис. 66. Варианты соотношений между направлением равнодействующего вектора энергии волнения (E) и экспозицией бун на песчаных берегах (Кнапс, 1960): а) косо-перпендикулярное расположение бун по отношению к берегу; б) косые (l) и прямые (l_0) короткие буны (a); в) продольно-уступчатая экспозиция бун, с длинным «затенением», при условии, что экспозиция $E = 20^\circ$ и расстояние между бунами a повышено; г) буны прямые на отмеле берегу (первый межбунный карман с экспозицией $E = \alpha$) и на приглубом берегу (γ – нормаль к E).

Правда, инженеры и ученые «Грузморберегозащиты» пользовались другой практикой (Кикнадзе, 1991). Они использовали грунтовый материал от экскавации склонов, создания выемок и использования некоторой небольшой части готового аллювия горных рек. Однако, не везде природой созданы такие благоприятные условия. В этой связи видятся три основных подхода к разработке эффективной берегозащиты с помощью бун:

A – организация заблаговременных («упреждающих») наблюдений за морфологией, динамикой и гидрометеорологией береговой зоны, что дало бы необходимые материалы о природе береговой зоны, по крайней мере тех участков, которые планируются к первоочередной застройке. В этом случае универсальным может стать организация Береговой службы страны, если речь идет об Украине, как это имеет место в США, Нидерландах, Польше, Японии и др. Как показал опыт исследования истории береговедения, основным подходом при этом должен быть учет закона «географической

локальности», требующего выполнения необходимых изысканий в каждой части литодинамической системы и подсистемы. Причем, рассматривать нужно не столько конкретное место, сколько всю литодинамическую систему, в состав которой входит данный участок береговой зоны (Shuisky, Schwartz, 1988; Shuisky, 1994, 2003; Шуйский, 2018). Этот подход максимально обеспечивает получение всей необходимой информации для обоснования эффективной и длительной эксплуатации защитных гидротехнических сооружений.

Б – использование прямых намывов искусственных пляжей является дополнительным неприродным источником наносов, который нарушает природное равновесие и создает антропогенное возмущение литодинамической ячейки (Шуйский, 1996, 2010). Для естественной вдольбереговой ячейки искусственный пляж является инородным телом, от которого она избавляется путем размыва. Часто скорости развития размыва весьма велики: в зависимости от массы отсыпанных наносов и величины волноэнергетического потенциала пляж может быть полностью размытым в течение от 0,5 до 3,5 лет, даже если отсыпка произведена в межбунные карманы. Поэтому в данном случае требуется информация о природе береговой зоны, причем, не только на «локальном» участке, а в целом в границах литодинамической ячейки. Главное место должны занять литодинамические связи, их механизмы и последствия в ячейке. Такой подход требует обязательного численного решения задачи о балансе прибрежно-морских наносов в пределах литодинамической ячейки, на фоне окружающих физико-географических условий.

В – при подготовке защиты морского берега от волнового разрушения часто планируются буны, как активные пляженакопительные сооружения (Рис. 6, 11, 66). Если при этом не учитывать баланс наносов в береговой зоне моря, как например на Рис. 11, то имеющиеся наносы быстро иссякают. Буны не выполняют своей активной литодинамической функции. На песчаных берегах непривливых морей встречаем также участки с короткими бунами, которые мористыми оголовками выходят на глубины до 1,5 м, в то время, как основная трасса движения наносов приходится на глубины 1,5-5,0 м. В этом случае буны «повисают» вне источника пополнения наносами

и практически не заполняются песчаными наносами. Мало того, пляжи в межбунных «карманах» перерабатываются с повышенной интенсивностью во время ветровых нагонов и усиления донных противотечений, которые захватывают пляжевые наносы и выносят их за пределы «карманов», даже, если буны являются каменно-набросными. Такое явление возможно и в условиях высокой насыщенности вдольберегового потока наносов (Рис. 67), но наносов существенно менее крупных, чем формируется прибойным потоком на естественных пляжах.



Рис. 67. Редкие буны не могут удержать песчано-алевритовый пляж, сложенный фракцией 0,05-0,25 мм, на западном берегу Черного моря в районе севернее Мангалии, Румыния (фото Ю. Д. Шуйского).

Напомним: пополнение береговой зоны наносами путем создания искусственных пляжей и устройства форм наносообразующих смесей было применено специалистами НПО «Грузморберегозащита» в 70-90-х годах XX столетия на основе детальной информации о природе береговой зоны. Так поступать позволяли локальные условия грузинского берега Черного моря, но далеко

не везде можно было поступать так же. Были разработаны технологии пополнения наносами пляжей, а потому часто не было особых экономических потерь. Утилизация естественной грунтовой массы на морском берегу сохраняла природную структуру многих наземных ландшафтов. Создание искусственных пляжей увеличивало их рекреационную емкость, что привлекало немало рекреантов, со всеми оздоровительными, экономическими и социальными последствиями (Рис. 53, 62). Но и примененные методы в «Грузморберегозащите» не были безупречными, хотя они и учитывали природу береговой зоны по максимальной возможности. Методика работ и их эффективность уникальны, а потому требуют разносторонних оценок.

Широкое распространение получила «борьба» с волновой абразией посредством выполаживания абразионного берегового склона («*cliff*»). Например, на берегах Черного и Азовского морей этот метод экологи считают чуть ли единственным самым дешевым и эффективным. На самом деле более пологий береговой склон ведет к потерям значительно бóльшей площади ценной территории, поскольку после выполаживания прежняя волновая энергия способна продвинуть клиф на большее расстояние, и клиф отступает быстрее. Бывает, что вместе с какими-то постройками, если таковые имеются на берегу. Если волновой режим останется тем же, что и до выполаживания клифа, то под волновое влияние попадает берег значительно меньшей высоты. Это значит, что единица волновой энергии тратится на переработку такой единицы массы обломочного материала, которая в несколько раз меньше, чем у высокого и не срезанного клифа до момента его выполаживания. Поэтому скорости абразии и отступления клифа также увеличиваются в несколько раз. Вот почему выполаживание береговых склонов чаще усиливает абразию, чем защищает от нее.

Сегодня стало ясно, что метод выполаживания или террасирования целесообразнее всего применять на абразионно-оползневых береговых склонах разной высоты, в совокупности с системой водопонижающих скважин (лучше – внутрисклоновых водовыводящих штолен), активного берегозащитного строительства, с применением

искусственных огражденных пляжей с регулярной подпиткой наносами оптимального состава. В противном случае одно только выполаживание поперечного профиля нужного эффекта не дает, а является весьма кратковременной мерой, причем – вредной. При всем при том, что берегозащитная деятельность до сих пор остается основной с применением гидротехнических сооружений пассивного и активного типа, наиболее эффективным оказывается определение тех участков на морском берегу, которые не являются абразионно-опасными. Именно на таких участках абразия или размыв берега не проявляются, а берег многими десятками лет не разрушается. Именно на таких участках и надо планировать и осуществлять строительство в первую очередь капитальных сооружений, если в том имеется необходимость.

Примером может служить возведение крупной радиолокационной станции, с маяком, станцией слежения за спутниками и проч. на небольшом островке Татуш возле м. Флаттери, штат Вашингтон (США), побережье Тихого океана. Здесь расположены высокие клифы абразионно-денудационного типа, скорости абразии в пределах $\leq 1-3$ см/год. Эти важные объекты успешно работают и не требуют того, чтобы здешние берега были бы укреплены какими-нибудь гидротехническими сооружениями. Или, скажем, маяки на шхерах северного берега Финского залива, на шхерах Шетландских и Оркнейских островов, на мысах между фьордами Северной Скандинавии.

В то же время крайне неудобными для использования прочных гидротехнических сооружений являются термоабразионные и термоденудационные берега, например, на берегах моря Лаптевых (Рис. 68). Ведь их быстрое отступление связано в первую очередь с термическими процессами в условиях исключительно отлогого подводного склона моря, а также с синоптическими колебаниями уровня моря. Прежде всего морской берег, в т.ч. и активный клиф термоабразионного типа, отступает независимо от того, есть или отсутствует берегозащитное сооружение (Зенкович и др., 1967; Арэ, 1980; Горюнов, Шихиев, 1983). К тому же в береговой зоне полярных и ряда приполярных морей в береговой

зоне обычно бывают мощные (включая паковые) льды, которые без труда могут разрушить самое прочное сооружение. Да и защита берегов организована так, что гидротехнические сооружения необязательны.



Рис. 68. Типичная морфология низкого термоабразионного берега моря Лаптевых, сопредельные с тундрой (слева). В разрезе клифа – «каменные кольца» в толще вечной мерзлоты (фото М. Н. Григорьева).

Береговая зона с подобными клифами и очень отмелым подводным склоном (уклон $i_{10} = 0,0002-0,0004$) характеризуется высокими скоростями абразии, в среднем $5-10 \text{ м/год}$ на разных участках (Арз, 1980; Каплин и др., 1991). Усиление отступления клифа часто вызывается сильными нагонами в безледный период, когда температура морской воды является положительной и близка к повышенным значениям. Рост уровня воды вводит в соприкосновение морскую воду с клифом даже при наличии бун, свай или подводных волноломов. Поскольку вечная мерзлота на побережье содержит в себе от 10% до 70% тонкого осадочного материала ($\leq 0,1 \text{ мм}$), то высокая интенсивность термоабразии и термоденудации обычно приводит к сильному насыщению взвесью

прибрежного слоя воды. Такая ситуация может вызвать развитие илистых вдольбереговых потоков наносов, весьма неблагоприятна для кислородного баланса воды и негативно отражается на первичной продукции и остальной дальнейшей пищевой цепи морского мелководья.

На берегах Черного и Азовского морей, значительная часть которых отличается высокими скоростями абразионного отступления, естественного и антропогенного разрушения значительной территории (Артюхин, 1989; Шуйский, 1974, 1986, 2018), многочисленными являются водосбросы отработанных вод, например, в районах Самсуна, Констанцы, Варны, Одессы, Бердянска, Ейска. Соответствующие трубопроводы пересекают динамичный берег на крайне неблагоприятных участках. Поэтому в очаге выхода в море требуется прочное берегозащитное сооружение, типа предложенного в книге (Шуйский, Выхованец, 1989, с.191).

Это относительно небольшое сооружение, устойчивое по отношению к волновому разрушению и обеспечивающее сохранение водовыпуска (Рис. 69). Как показал опыт инструментальных наблюдений, основная опасность сохранности сооружения исходила от абразивного влияния движущихся наносов во время волнений. Вместе с тем, подобные сооружения показали себя весьма успешно в районе Самсуна, Ильичевска, Очакова, Скадовска.

Ряд стран с очень небольшой площадью территории и большим населением (Сингапур, Бангладеш, Кувейт, Бахрейн, Израиль, Дания и другие) могут быть заинтересованы в создании прибрежных искусственных островов или укреплении уже существующих островов как своей дополнительной территории. В этом отношении чрезвычайно полезным является опыт Сингапура, ученые которого уже давно работают над этой проблемой (Encyclopedia, 1982; Wong, 1985). Такие работы позволяют существенно увеличить площадь территории и обустроить населенные пункты, инфраструктуру, коммуникации, рекреационные объекты (Рис. 21).

Этому вопросу был специально посвящен Международный Конгресс «Морские города '95» в Монако, Франция, председателем

оргкомитета был проф. Р. Дешамп, причем, участники данного форума особое внимание уделили берегозащитным мероприятиям и созданию искусственных грунтовых террас.

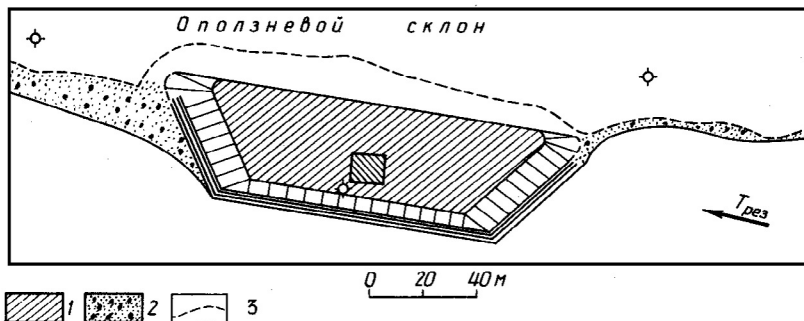


Рис. 69 Сооружение для защиты трубопровода-водовыпуска от волнового разрушения на глинистом абразионном берегу Черного моря: 1 – берегозащитное сооружение; 2 – щебнево-песчаный пляж; 3 – линия подножья оползневой склона. Показаны точки геодезической привязки.

Выбранный остров, в том числе может быть также и коралловый, ограждается каменными или бетонными массивами, фигурными или щелевыми откосами для защиты от волнений. Огражденное мелководье заполняется грунтовой массой, желательнее – скальными обломками, жерстью, щебнем, нередко – искусственным материалом с высокими санитарно-геохимическими свойствами (бутовый камень, речная галька и гравий, продукты экскавации и проч.). Иногда подбирается такой состав скального грунта в составе террасы, на морском обрамлении которой волновая переработка горной породы производит дополнительное количество пляжеобразующих наносов (Бертман, Шуйский, 1983; Шуйский, 1990, 1996, 2019 б). В частности, соответствующий натурный эксперимент был выполнен в районе порта Южный на Черном море. Он показал эффективность такого метода берегозащиты, что было одобрено на специальной конференции «Природные основы берегозащиты» в Ялте, в 1987 г.

Важным способом защиты морских берегов от волнового разрушения считаем сохранение естественных механизмов, которые регулируют естественное состояние берегов, особенно – песчаных. Это важный аспект берегозащиты по причине, что более 55 % длины берегов Мирового океана являются песчаными и которые в общем плотнее всего освоены, согласно (Каплин и др., 1991; Шуйский, 1986, 2000, 2018; Bird, 1985; Horikawa, 1988; Walker, 1988). В отличие от многих других специалистов по вопросам берегозащиты, обратимся пока что к песчаным берегам, подверженным активному влиянию эолового морфолитогенеза (Выхованец, 2003; Dune, European Coasts, 1990; Ehlers, 1988; Pruszek, 2003).

В большинстве приморских стран, где находятся песчаные берега (например, Литва, Польша, Дания, Франция, США и др.) устойчивость пляжей и дюнных форм поддерживается искусственным наносонакоплением. На пляжах, обычно в верхней их части, устанавливается «песчаная защита» («*sand fences*»), как правило – в условиях дефицита наносов. Этим устанавливается искусственное восстановление размывающихся береговых дюн, хотя в условиях насыщенности наносами в береговой зоне после штормов может быть естественное восстановление как пляжей, так и береговых дюн (Рис. 40, 41). На побережьях Черного, Азовского морей, Балтийского, Северного морей, где не применяется «песчаная защита» с помощью пескоулавливающих барьеров и происходит уничтожение защитной гряды невысокой авандюны, особенно в условиях дефицита наносов, во время сильных штормов морские воды прорываются на поверхность аккумулятивных форм. При этом затопляется значительная часть поверхности (Рис. 70). В итоге гибнет растительность, животные организмы (черви, моллюски, членистоногие и др.), происходит засоление почв, гибнут сады, огороды, виноградники. Формируется значительный ущерб, как прямой, так и косвенный. В пределах Украины это типичное явление. В данном случае действуют три основные причины: а) стремление использовать высококачественный эоловый песок для строительных нужд; б) непонимание представителями региональной экологической службы закономерностей развития

оловых и волновых рельефообразующих процессов на морских побережьях; в) отсутствие соответствующих законов в национальном законодательстве Украины. Конечно, при этом на перспективу закладывается значительный ущерб природе на морских побережьях.



Рис. 70. Затопленная штормовым морем поверхность аккумулятивной формы рельефа после антропогенного уничтожения двух гряд крупных береговых дюн (высота до 4-6 м) на северо-западном побережье Черного моря, песчаная пересыпь Днестровского лимана, пос. Затока (фото Ю. Д. Шуйского).

В связи с изложенным выше и личным опытом автора, напрашивается для изложения здесь еще один аспект. Дело в том, что на побережье Черного и Азовского морей, также некоторых других, встречаются попытки безграмотного берегоукрепления некондиционными средствами, по наитию и самонадеянности исполнителей такой защиты абразионных берегов. Данные мероприятия многочисленны, разнообразны, с применением отходов строительного производства, каменной наброски, бетонных обломков и массивов, заборов, автомобильных шин, некондиционных металлических свай и прочего. Такие мероприятия практически всегда

приводят к одному и тому же результату, поскольку приводят к ущербу для природных ресурсов (Рис. 71). Как можно видеть, уничтожен пляж, берег непригоден для отдыха, обломки могут причинить травмы, угрожают здоровью рекреантов.



Рис. 71. Результат того, как неграмотные работы по берегозащите производятся без учета профессиональных рекомендаций. В такой ситуации не только «выброшены в море» материальные ценности, но пользоваться таким берегом просто опасно для здоровья (курортный поселок Люстдорф, Одесса) (фото Ю. Д. Шуйского).

На сегодняшний день подобная берегозащита требует специального обследования. Такие случаи должны быть задокументированы, описаны, проанализированы, должны быть выявлены причины таких действий и их последствий. Полученная специалистами-береговедами информация должна быть обобщена, и на этом основании следует разработать: а) соответствующие теоретические положения; б) дополнения и поправки в природоохранную и природопользовательскую законодательную базу, чтобы никогда не было

бы слышно о борьбе с оползнями на прибрежно-морских песчаных аккумулятивных формах. И конечно, результаты названных исследований должны стать частью теории и практики береговедения и географии в целом.

Еще одно из направлений берегозащиты обращает на себя особое внимание. Его можно отнести к региональным, как например на абразионных берегах Черного и Азовского морей в районах Одессы, Очакова, Мариуполя, Таманского п-ова (Зелинский и др., 1993; Шуйский, 2007). В этих районах сформировались классические прибрежно-морские оползни, с клифами абразионно-оползневого типа, по динамической классификации (Рис. 16, 17). Такие клифы обычно коренным образом искусственно полностью преобразуются, из естественных природных систем превращаются в искусственные. В естественном состоянии (Рис. 35, 42, 59) на них формируется особый рельеф (с характерными оползневыми террасами), на котором нарушается режим подземных вод, развивается неповторимый микроклимат, с соответствующими температурами и увлажнением, создается особое строение почвенного покрова. В этой связи образовались уникальные ассоциации растений и животных, которые больше нигде не встречаются, а потому требуют к себе пристального внимания и строгой охраны, что подчеркивали еще в первой половине XX века И. И. Пузанов, Л. В. Климентов, С. Т. Белозоров и др. Такие ассоциации подлежат тщательному сохранению как важный элемент биологического разнообразия и находятся под охраной Рамсарской конвенции, что было комплексно обосновано уже в текущем столетии (Шуйский, 2007). Однако, эта особенность никак не учитывалась в берегозащитном строительстве, ряд авторов о ней даже не упоминают (Антюхов, 1982; Зелинский и др., 1993). Конечно, хотя бы в минимальной степени, но она даже не учитывалась при проектировании, строительстве, эксплуатации берегозащитных сооружений (Рис. 18, 19, 43). Понятно, если речь идет об оползневых берегах там, где находятся крупные населенные пункты, памятники природы и архитектуры, особо ценные объекты мирового значения. Но весьма трудно

понять полное уничтожение классических приморских оползневых природных систем на северных побережьях Черного и Азовского морей.

Исходя из истории берегозащиты (Сокольников, 1976; Horikawa, 1978; Walker, 1988; Кикнадзе 1991; Меладзе и др., 1992; Ma Wen-jin, 1992; Шуйский, 2000, 2018, 2019 б) и опыта советских, грузинских, немецких, румынских, французских, украинских исследователей, материалов и их анализа в данном параграфе, можно сделать такие выводы:

➤ Чтобы снизить затраты на берегозащиту и минимизировать ущерб природе береговой зоны моря, хозяйственное освоение берега и создание зданий, сооружений, коммуникаций следует производить на динамически стабильных участках, там, где берег заметно меняется в течение столетий и тысячелетий. Там, где береговая зона является абразионно-опасной и оползнево-опасной, осваивать ее для хозяйственных целей нецелесообразно и практически опасно;

➤ Следует обязательно организовывать регулярные инструментальные наблюдения за морфологией и динамикой береговой зоны для упреждающего получения достоверных данных о их режиме и изменениях. Актуальным остается вопрос о создании национальной Береговой службы и сплошной наблюдательной сети на берегах Украины как морской державы.

➤ Создание наиболее серьезной и длительной оптимальной берегозащиты рекомендуется в трех основных случаях, когда: а) необходимые эффективные берегозащитные мероприятия по затратам являются несущественными; б) материальная и финансовая стоимость защищаемого объекта на берегу в разы больше стоимости строительства и эксплуатации берегозащитных сооружений; в) материальная, культурная, природная ценность берега или объектов на нем исключительно велика и речь о затратах не идет;

➤ Методика восстановления пляжей и насыщения наносами береговой зоны, разработанная в «Грузморберегозащите», применима лишь на низменных обвальных и размываемых приглубых галечных берегах Грузии, поскольку в иных физико-географических условиях она требует существенной корректировки (согласно

закону географической локальности). В условиях горного побережья Грузии имеются обильные запасы грунтовой массы для волновой переработки в пляжевые наносы, чего нет во многих других береговых регионах. Возможно применение размываемых бун и террас на абразионных берегах с маломощными оползнями, где отсутствуют валы и террасы выпирания, а противодеструктивные мероприятия приводят к пригрузке «языка оползня».

➤ Для успешного осуществления берегозащитных мероприятий и сохранности гидротехнических сооружений в течение гарантийного срока эксплуатации следует учитывать соответствующие угрозы и риски, как естественные, так и искусственные. Для этого их нужно разработать и представить для практического использования, предусмотреть для разработки дальнейшего прогноза состояния природных ресурсов на побережье страны.

➤ Автором впервые предложено понятие «некондиционная берегозащита». Этим термином определяются любительские непрофессиональные приспособления и сооружения, которые выполняются местным населением с одобрения местных властей. Они не соответствуют государственным нормам и правилам (ГосСНИПам), не учитывают режим развития береговой зоны, теорию береговедения, но могут на какое-то короткое время замедлять абразионный процесс и снижать скорости абразии (размыва) берега, хотя, как правило, грубо нарушают морфологическую структуру береговой зоны. Часто превращают берег в свалку некондиционного строительного мусора, что в конечном итоге активизирует абразию, а бывает, что выводят из строя рекреационное использование морского берега.

§ 8. СУДОХОДНЫЕ КАНАЛЫ НА МОРСКИХ ПОБЕРЕЖЬЯХ

В данном параграфе автор исходит из значительного принципиального разнообразия природных факторов, процессов, механизмов эволюции, структурных черт, разных естественных уровней организации природных систем береговой зоны Мирового океана, на контакте между Сушей и Океаном. Береговая зона как естественно контактная обладает всем набором черт, свойств и особенностей своего генезиса, которые несет Суша, с одной стороны, с другой – несет Океан, но, вместе с тем – эволюционно выработала в себе свои собственные генетические черты, свойства и особенности. Они отсутствуют в системах Суши и Океана, но присущи только береговой зоне моря (Johnson, 1919; Зенкович, 1962; King, 1972; Norikawa, 1978, 1988; Сафьянов, 1978, 1987; Шуйский, 1986, 2015 в, 2018, 2019 б). Природные особенности наложили свой отпечаток на местоположение, строение, размеры и эксплуатацию судоходных каналов в разных странах, на разных широтах, на побережьях разных морей и океанов. Чаще всего заносимость каналов и деформации прорезей связаны с поперечной структурой вдольбереговых потоков наносов на открытых выровненных берегах. Вместе с тем каналы пересекают различные формы рельефа в пределах эстуариев, лагун, лиманов, рiasов и береговых равнин.

При строительстве и обустройстве судоходных каналов разных типов применяются три основных вида работ, связанных с окружающими физико-географическими условиями на морских побережьях. Первым шагом всегда является *определение трассы прорези канала*, значений глубин в начале и на оконечности канала. Затем производится *дноуглубление*, как начальный вид работ. Он заключается в экскавации прорези канала и удаление вынудой грунтовой массы в места складирования. По мере дальнейшей эксплуатации канала и производственной необходимости увеличения размеров, в пределах данного канала производится дночерпание с помощью ковшовых или всасывающих грунт земснарядов, также грейферов (Горюнов, Шихиев, 1970; Яковенко 1985).

Третий вид работ – это *обустройство канала* навигационными средствами для безопасного прохода судна в порт. Такие работы типичны для тех морских побережий, где подводный склон является умеренно приглубым и умеренно отмелым (Рис. 31), где активно воздействуют вдольбереговые потоки наносов разного состава и разной мощности. В этом случае они пересекают трассу канала под разными углами, в зависимости от конкретных окружающих условий в каждом конкретном случае (Логачев, 1966). Важно знать, что вдольбереговой поток относительно свободно пересекает оградительные сооружения, если они не выходят за пределы линии штормового забурунивания ветровых волн (например, у портов Леба, Павилоста, Роя, Мерсраге на Балтийском море). Если же сооружения выходят далее в море и глубже расположения линии штормового забурунивания волн, то, как правило, с наветренной стороны ограждения заполняется наносами входящий угол, а с подветренной стороны образуется зона размыва (Кнапс, 1960, 1985).

Ряд морских навигационных руководств и пособий (Шубаков и др., 2003) считают, что обустройство и эксплуатация судоходных каналов определяются в основном картографическими, океанографическими и прибрежно-морскими условиями. Вначале составляются различные морские карты (навигационные, вспомогательные, справочные, тематические и др.). Описания каналов включаются в «Известия мореплавателям», в Лоции и дополнения к ним, в гидрометеорологические и астрономические пособия и очерки, в Атласы океанов и другие документы. Немаловажное значение придается описаниям нестандартных ситуаций в портах и на каналах. Все они учитывают физико-географические условия морских побережий.

Среди всех типов данных сооружений наибольшее влияние на природу береговой зоны моря оказывают *подходные судоходные каналы*, которые позволяют судам *подходить* к отдельным причалам, портам и якорным стоянкам. Остальные типы каналов при эксплуатации задают не столь трудные задачи. Они более стойкие, предсказуемые в эксплуатации, характеризуются относительно небольшой заносимостью, поскольку чаще всего не сталкиваются с волновым и литодинамическим полем береговой зоны. Во время их

исследований для решения разных задач производится проверка размеров канала (ширина, глубина, форма и крутизна откосов), наличие или отсутствие смежной свалки грунта, ее влияние на прорезь канала, воздействие волн и течений, определение количества и свойств наносов в прорези канала, оценка загрязнения наносов. Особое значение имеет наличие ограждающих шпор, которые представляют собой элемент сильного антропогенного возмущения в природной среде (Рис. 8, 44, 46, 48). Эти иллюстрации дают представление о портовых конструкциях и их возможном влиянии на окружающие побережья.

Широко известны подходные каналы к портам Черного, Азовского, Балтийского, Северного, Японского и других морей. Примерами могут служить подобные порты: Южный, Ильичевск, Скадовск, Усть-Дунайск, Констанца на Черном море, Бердянск, Мариуполь, Ейск на Азовском море, Гданьск, Клайпеда, Лиепая, Вентспилс на Балтийском море, Зебрюгге, Остенде, Хелдер, Скаген на Северном море. Упомянутые примеры еще раз подтверждают, что портовые акватории, ограждающие сооружения и прилегающий подводный склон в береговедении обычно рассматриваются совместно с судходными каналами, так сложилось исторически.

Согласно опыту эксплуатации судходных каналов, подходных, устьевых и транзитных (Шаповалов, 1962; Логачев, 1966; Горюнов, Шихиев, 1970) важнейшими характеристиками являются: а) средний годовой объем черпания (*тыс. м³*); б) средний по каналу годовой слой наносов обеспеченностью 50%; в) средний коэффициент заносимости по прибрежному, мористому участкам канала и в сумме; г) время, в течение которого обработаны и использованы сведения о заносимости (*годы*); д) ситуационный и многолетний режим волн и течений; е) колебания уровня моря, в том числе – приливные (направления, скорости, повторяемость и др.); ж) размеры канала и их изменения. Как можно видеть, все перечисленные характеристики тесно связаны с природой береговой зоны и побережья в целом, с теоретическими основами береговедения. Поэтому без комплексных физико-географических знаний и высокой квалификации успешные строительство и эксплуатация каналов разных типов

нереальна (Яковенко, 1985; Яковенко, Омельченко, 1993). Большая часть авторов, навигаторов, гидротехников, эксплуатационников утверждают, что в настоящее время, как и ранее, нет достаточно надежного способа определения величины заносимости прибрежно-морских судоходных каналов, кроме прямого, непосредственно измерения в натуральных условиях или на специально сооруженных прорезях в натуре и в экспериментальных лабораториях (Назаретский, 1964, 1966; Шишов, 1964; Shuisky et al., 1994; Shuisky, 1997). Поэтому столь важны длинные ряды прямых наблюдений за заносимостью каналов, например, подходного канала к порту Вентспилс на Балтийском море в течение более 60 лет (Шишов, 1964; Кожухов, 1968). При этом следует заметить, что методически нельзя отождествлять объем заносимости канала с объемом вынутого из канала разнородного грунта, т.е. с объемом, определенным из сравнения промеров, выполненных перед черпанием и после него. Такое отождествление возможно лишь в редких случаях, как и в отношении объемов в наветренном углу молов, с одной стороны, а с другой – величины мощности вдольберегового потока наносов, который действует на порт и канал.

Многие судоходные каналы и портовые акватории связаны с речными устьями, как например Хайфон во Вьетнаме, Калькутта в Индии, Вентспилс в Латвии, Клайпеда в Литве, Леба в Польше и др. Еще в 1960 г. В.Г. Мирошниченко предложил метод предупреждения заносимости песком и илом таких каналов, который основывался на значительном возрастании донных течений в устьях тех рек, у которых располагаются порты и каналы. Струенаправляющие сооружения вымывали накопившиеся в канале наносы и углубляли его до необходимых глубин, благоприятных для судоходства. Позже Б. А. Шуляком был предложен несколько иной метод, по которому в прорези канала помещались «донные периодические искусственные гряды». Они сокращали площадь «живого сечения» водного потока в канале, превращали дно из подвижно-ребристого в жесткое гладкое, что приводило к выносу «излишнего» грунта вовремя между штормами или между отдельными паводками реки, который накапливался в межштормовые или межпаводковые периоды.

Значительное влияние речные течения оказывают на важный для многих европейских стран Сулинский канал в дельте Дуная. Этот канал изначально был выбран как основной судоходный в дельте Дуная с 1856 г. (Михайлов, Морозов, 2004). Долгие годы велась жаркая борьба за его существование, считаем, что в будущем затраты на его поддержание будут возрастать, как и относительно других подобных каналов, например, в дельте реки Миссисипи.

Порт Сулина работает под влиянием исключительно сильной («лавиной», по А. П. Лисицыну) седиментации, постоянного обмеления подводного склона и заносимости Сулинского подходного канала. Порт подвергался и подвергается в настоящее время сильной заносимости под влиянием дунайского аллювия. Для сравнения скажем, что такой же проблеме подвержены и другие порты в разных странах: Новый Орлеан в устье р. Миссисипи (США), Барранкилья в устье р. Магдалены (Колумбия), Сьюдад-Гуаяна в устье р. Ориноко (Венесула), Калькутта в устье рек Ганга / Брахмапутры (Индия) и другие. По аналогии с Порт-Саидом, Колобжегом, Свинемюнде, Остенде, канал (глубина до 11-12 м) был ограничен парными молами. Но уменьшение глубин подводного склона на выходе из молов постоянно препятствовало выходу судов из Дуная в море, а речные наносы во вдольбереговом потоке постоянно уходили на юг из рукавов Килийской дельты Дуная и при этом непрерывно заносили водный путь (Михайлов, Морозов, 2004; Шуйский, Жмуд, 2015). Одновременно искусственно создавалось сверхскоростное русловое удлинение, в виде парных оградительных молов, которое вело к сильному падению скоростей воды. Заносимость дунайским аллювием была и остается обильной и непрерывной, что заставляло столь же непрерывно удлинять молы далее в море и до текущего времени, до глубин 10-12 м. Остановить этот процесс нельзя, нельзя заставить Дунай прекратить сток наносов, нельзя заставить ветры дуть в северном направлении как доминирующем, нельзя переориентировать волновые потоки и потоки течений. Поэтому давно уже надо было признать, что порт Сулина и основной водный путь в придунайские страны работает в крайне неудачном месте, с природной точки зрения. Поэтому, исходя из теоретических положений

береговедения, можно предложить следующие реальные меры: а) сделать более коротким русловое удлинение у Сулинского рукава; б) обустроить резервный Георгиевский рукав; в) пускать больше воды по Сулинскому рукаву; г) перенести водный путь на другой, более успешный рукав дельты Дуная; д) воспользоваться уже готовым перспективным водным путем на русле Быстром на территории Украины.

В 60-х годах XX столетия возникла необходимость в проектировании и строительстве нового аванпорта в пределах Килийской части дельты Дуная для перевалки морских контейнеров с моря в Дунай и в обратном направлении. Поскольку естественные глубины вдоль морского края украинской части дельты составляли до 1-3 м, а большие контейнеровозы имеют осадку до 10-11 м, то для портовых операций был сделан портовый ковш, с глубинами до 15 м. Этот ковш был соединен с открытым морем подходным судоходным каналом, с глубинами на нем до 12-13 м, длиной до 12 км (Рис. 72). Все эти искусственные отрицательные формы расположились вдоль юго-восточного берега Жебриянской бухты, части устьевой области Дуная. Здесь действует мощный перенос дунайского аллювия в сторону вершины бухты, где морское дно катастрофически мелеет и «на глазах» появляются и развиваются первичные формы дельтового рельефа (Шуйский и др., 2021 б). Получается, что портовый ковш и канал заранее были подставлены в неблагоприятные условия и были обречены на быстрый выход из строя действующих.

В 1985 г. максимальная заносимость была отмечена в самом начале канала у нулевого километра и до длины 1300 м, где отлагался слой в среднем 1,23 м/год по всей указанной длине. В интервале длины канала 1300-3000 м в среднем отлагалось 0,25-0,30 м/год, а в интервале длины 3000-8000 м – от 0,11 до 0,20 м/год. Далее в сторону моря данный подходной канал перехватывал слой наносов, толщиной не более 0,1 м. На начальном отрезке канала забровочные глубины составляют до 1-5 м при заложении откосов прорези от 1:2 до 1:4 при их высоте от 9 до 12 м. В этих условиях источниками осадочного материала, приходящего в канал, являются не непосредственно дельтовые рукава с потоками аллювия, а отмели на

сопредельных участках устьевго взморья. Именно с этих отмелей волнами и волновыми течениями уже раз отложенный в конусе выноса на взморье дунайский аллювиальный материал сбрасывается в подходной канал.



Рис. 72. Антропогенное преобразование дна Жебриянской бухты путем создания ковша гавани и подходного канала к порту Усть-Дунайск, Черное море. Изобаты – метры (устьевая область Дуная со стороны Жебриянской бухты на стыке дельты и коренного морского берега). Точками обозначены отмели прилегающей части моря.

Сегодня Жебриянская бухта продолжает активно мелеть, уменьшаются глубины, активно растут площади отмелей (Рис. 72). Это приводило уже в 80-х годах XX века к увеличению слоя заносимости подходного к порту канала (Михайлов, Морозов, 2004; Черой, 2009). В 1995 г. его перестали углублять, и заносимость становилась все сильнее, пока уже к 2005 г. подходной канал перестал использоваться. С ковшом порта шло сообщение через технический канал из Очаковского гирла дельты Дуная. В 2012-2014 гг. на месте первой («бережной») половины подходного канала располагалась береговая форма рельефа, окаймляющий бар, который закрепился и сегодня уже не размывается, хотя водная акватория еще имеется и глубины составляют 0,5-1,0 м. Вторая, «мористая» половина канала

еще существовала до 2019 г. в виде вытянутой отрицательной формы прибрежного рельефа у морского края дельты.

Как видим, расположение порта Усть-Дунайск обусловило его быстрое заиливание и нанесение серьезного техногенного ущерба, вплоть до полного упразднения порта по причине невозможности его эксплуатации, с точки зрения автора. Такой вывод был сделан еще в 1972 г., еще до ввода порта в строй. Обоснование этих опасений было сделано сотрудниками кафедры физической географии и природопользования ОГУ имени И. И. Мечникова Ю. Д. Шуйским и Т. П. Федорченко в научном отчете НИР 22-05/72 «Разработка мероприятий по определению рациональных мест временных свалок грунта на советском участке реки Дунай. Геоморфологическое обоснование», Одесса: ОГУ имени И. И. Мечникова, 1972. – 35 с. Прогноз гласил, что относительно спокойным, без особых природных проблем, время существования Усть-Дунайска будет в течение 20-25 лет. А далее будет развиваться настолько сильная заносимость дунайским аллювием, что порт придется закрыть, за что прогнозисты подверглись суровому осуждению со стороны руководства университета и заказчика исследований. Тем не менее, такое обоснование оказалось достоверным, а прогноз – реальным, по причине использования физико-географических закономерностей локального развития дельтового типа берега и береговой зоны в целом, как мы сегодня видим – согласно закону географической локальности.

Совсем в других физико-географических условиях эксплуатации находится подходной канал к порту Бердянск на северном побережье неприливного Азовского моря, в регионе, где распространен вторично расчлененный берег, с косами «азовского типа» (Мамыкина, Хрусталева, 1980; Артюхин, 1989). Канал примыкает к порту, который расположен на коренном глинистом берегу, частично прикрыт с востока Бердянской косой, но с запада открыт волнам с разгоном почти от южного берега моря. Подводный склон характеризуется вогнутой кривой до глубины 3-4 м и постепенным выполаживанием до глубин 8-9 м. Изобата – 5 м находится на расстоянии 5-6 км от берега. В этой связи портовая акватория соединяется с навигационными естественными глубинами 7-8 м судоходным каналом (Рис. 73). Основная

масса наносов движется вначале с востока на запад вдоль абразионного берега Белосарайского залива, а затем от корневой части Бердянской косы к ее дистали вдоль песчано-ракушечного берега (Мамыкина, Хрусталева, 1980; Артюхин, 1989). От господствующих восточных и северо-восточных ветров он прикрыт Бердянской косой и прилегающим материковым берегом. Основной вдольбереговой поток наносов распространяется с востока от Белосарайской косы в юго-западную сторону к дистальной оконечности Бердянской косы. Отсюда часть наносов сбрасывается на глубины 6-7 м, а другая часть вдоль коренного берега рассеивается по подводному склону. Это создает повышенные концентрации взвешенных наносов на глубинах 0-4 м.

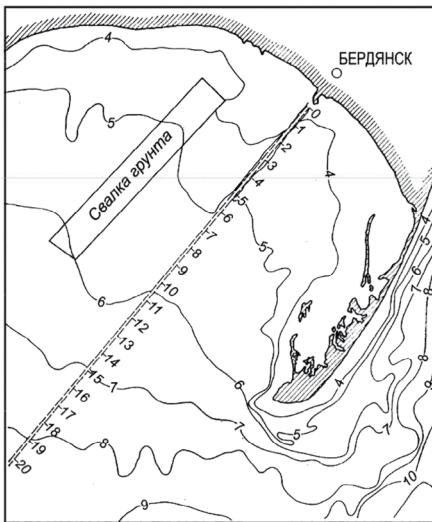


Рис. 73. Батиметрическое строение, контуры береговой линии и экспозиция подходного канала (длина – километры, изобаты – метры) на дне Бердянского залива, Азовское море.

В то же время под прикрытием Бердянской косы формируется второстепенный встречный вдольбереговой поток в восточном направлении, в сторону косы. Он питается временными водотоками, процессами абразии и крупными биогенными частицами. Это позволяет заносить начало канала не только взвесьями, тонкозернистыми наносами, но и влекомыми частицами «волнового поля». Часть наносов испытывает широкое рассеивание в толще воды, охватывая значительную ширину подводного склона, до глубин 7-8 м, что хорошо видно на космических снимках. В работе А. П. Тюрина

с соавторами (Тюрин и др., 1987) замечено: чем чаще производятся ремонтные работы на подходном канале, тем больше его заносимость. Это обычно связано с неудачными расположениями свалок грунтовой массы относительно канала и значительным нарушением целостности верхних бровок канала (Рис. 73). Свалка расположена на пути распространения вдольберегового потока волновой энергии (в восточном направлении), на трассе вторичного вдольберегового потока наносов в «волновой тени» Бердянской косы, согласно исследованиям (Зенкович, 1962; Шуйский, 1986, 2000 б, 2018). Поэтому при сбросе вычерпанного грунта на подводный отвал часть его чаще всего возвращается обратно в канал. В результате заносимость канала увеличивается. Вместе с тем важно, что в Бердянский подходной канал попадают преимущественно илистые наносы, что облегчает их черпание и углубление прорези канала.

В отличие от подходного канала к порту Усть-Дунайск (Рис. 72), заносимость Бердянского канала на мелководном Азовском море меньше на порядок величины, и средний слой заносимости составляет в среднем $0,35 \text{ м/год}$. Другие азовские каналы заносятся сильнее по причине более обильных источников сноса наносов и иной экспозиции каналов по отношению к потокам энергии и наносов. Так, в течение 45 лет средняя заносимость Мариупольского канала составляла до $1,02 \text{ м/год}$, а Таганрогского – примерно до $0,75 \text{ м/год}$. Особенность азовских подходных каналов состоит в том, что заносимости подвергается вся длина судоходных каналов. Как правило, максимальное количество наносов приходит в каналы в крайне прибрежную часть выемки, а по мере удаления канала в открытое море заносимость понижается (Шаповалов, 1960, 1962; Логачев, 1966 а, 1966 б).

В приведенном примере на участке Бердянского канала от 0 до 2-го км средний многолетний слой заносимости составил $0,8 \text{ м}$, на участке от 2-го до 4-го км – уже $0,4 \text{ м}$, почти в 2 раза меньше. В интервале длины канала от 4-го до 10-го км, на его забровочных глубинах средний слой заносимости достиг $0,3 \text{ м}$, на отрезке с 10-го по 12-й км – $0,25 \text{ м}$, с 12-го по 16-й км – $0,05 \text{ м}$. Такие величины заносимости являются существенными и требуют проведения дноуглубительных работ до 4 раз в год. Объем черпания и сброса на грунтовую свалку определяются

штормовой активностью моря, направлением и продолжительностью действия шторма, глубинами его действия, содержанием взвеси в придонном слое воды. Это как раз те природные причины, которые изучаются береговедением и регулируют развитие береговой зоны в целом.

До 1898 г. акватория порта Мариуполь состояла из аванпорта и внутреннего бассейна. В 1899-1901 гг. был прорыт подходный канал к аванпорту, длиной 8,5 км, глубиной 6,4 м, а его заносимость составила до 152 см в начале канала и до 30 см на 9 км длины. До 1909 г., согласно П.Б. Шаповалову (Шаповалов, 1962), канал был углублен до 7,3 м, длина стала 12,8 км, при этом заносимость возросла с 500 тыс. м³/год до 1450 тыс. м³/год. Эта тенденция продолжалась и в последующие годы, согласно производственной необходимости, пока через 2-3 десятилетия ситуация не стабилизировалась и канал пришел в состояние динамического равновесия. Заносимость понижалась, но в будущем длина, ширина и глубина обоих каналов росли, а потому их заносимость соответственно также росла. В последующие годы до конца XX столетия и позже глубины канала к порту Азовсталь возросла в среднем по трассе прорези до 8,5 м, а длина – до 14 км (Рис. 74).

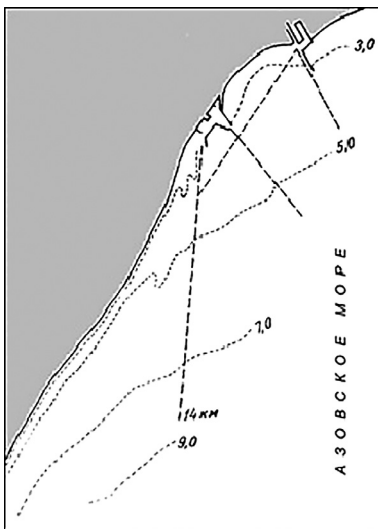


Рис. 74. Схематический план расположения трасс сети подходных судоходных каналов к Мариупольскому порту и к порту Азовстали на северном побережье Азовского моря.

Ремонтные дноуглубительные работы выполнялись многочерпаковыми земснарядами. Важно подчеркнуть, что это ускорило вывоз

грунтовой массы на свалки, которые располагались вдоль самого канала как Мариупольского, так и к порту Азовсталь. Усиление заносимости породило важную проблему – т.н. «вторичную заносимость», как и на других каналах. С какой стороны устраивать вспомогательные прорези-уловители для перехвата наносов? Поэтому возник вопрос о направлении вдольберегового потока наносов, какой состав наносов и где их источник. На этот вопрос обоснованно ответил известный исследователь-береговед А.А. Аксенов (Аксенов, 1955), который установил генеральное движение наносов в волновом потоке от устья Дона, в общем в западном направлении. Кроме аллювиального илесто-алевритового материала, этот поток активно питался мелкоземом абразионного происхождения. Поэтому Северо-Азовский поток считается «илистым», что и сегодня учитывается при эксплуатации судоходных каналов Таганрогского, Мариупольского, Бердянского, Генического портов. Эти выводы были подтверждены более новыми исследованиями, которые выполнялись В. А. Мамыкиной, Ю. П. Хрустальевым, А. А. Антюховым, А. В. Давыдовым, Ю. В. Артюхиным и др.

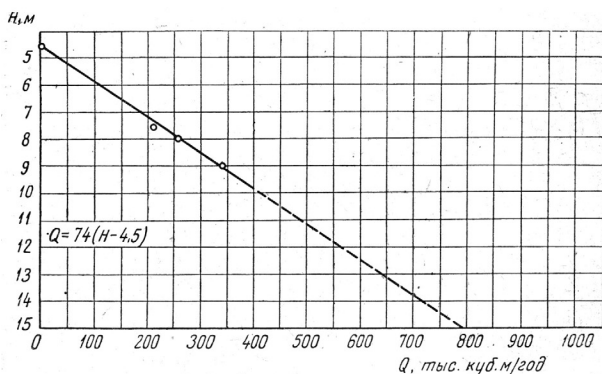


Рис. 75. График связи глубины H (м) на морском канале с объемом ремонтного черпания (Q , тыс. м³/год), (Шишов, 1964, 1966).

На основании многолетних исследований были составлены графики зависимости заносимости азовских каналов от глубин их прорезей (Рис. 75). Они показали: на каналах к портам Азовского

моря в общем случае увеличение глубины прорези (по причине роста тоннажа судов) ведет к росту заносимости. Аналогичная закономерность была позже графически подтверждена более тщательными измерениями, которые увеличили точность измерения, дали более точное значение толщины слоя наносов в азовских каналах. Они показали, что глубина прорези ведет к изменениям толщины слоя наносов в ней (Рис. 76).

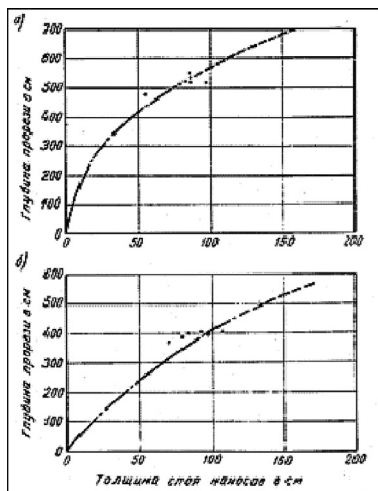


Рис. 76. Графики влияния глубин (метры) в прорезях подходных судоходных каналов на толщину слоя их заносимости (см), на примере каналов к портам Азовского моря (Шаповалов, 1962).

Эти графики являются своеобразным обобщением, натурной моделью для оценки мощности слоя наносов, попадающих в прорезь. Это позволяет рассчитывать затраты техники, горючего, времени для обеспечения необходимых глубин, общее состояние природы побережья. Многие подходные каналы, например, на Балтийском, Черном и Азовском морях, расположены на открытых или частично защищенных от штормового влияния морских волн разных типов. К ним относятся, в частности, Туапсе, Бердянск, Ейск, Владиславо-во, Балтийск, Вентспилс и др.

В береговой зоне Мирового океана нередко встречаются порты с относительно закрытой акваторией, которая располагается в лиманах (Рис. 44 и 48), лагунах (Рис. 5), фьордах или риасах. Например, на Черном море к таким портам относятся Скадовск, Черноморское, Казачья Бухта, Балаклава, Варна.

Типичные подходные каналы находятся в сфере активного влияния морских волн и вдольбереговых потоков наносов на побережье Черного моря для портов Южный, Ильичевск, Белгород-Днестровский. К портам Южный и ТИС в Малом Аджалыкском лимане ведет судоходный канал, длиной около 3 км, шириной примерно 180 м, который выходит на естественную глубину 18 м (Рис. 77). Канал и портовая акватория позволяет проходить и становится у причалов судам с осадкой до 15-16 м.

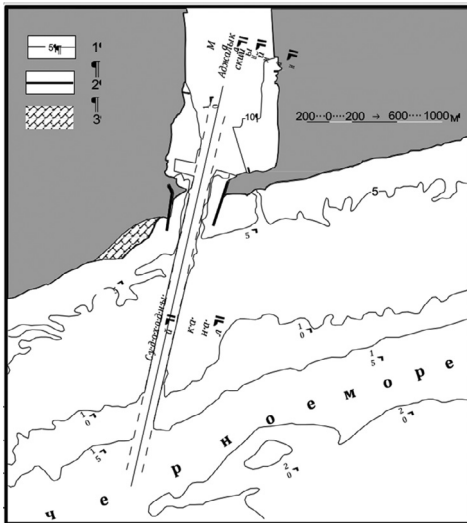


Рис. 77. Картограмма расположения основных искусственных форм рельефа в районе порта Южный/ТИС в северной части Черного моря. Обозначения: 1 – изобаты (в м); 2 – искусственные сооружения; 3 – искусственная грунтовая берегозащитная терраса для защиты подветренного абразионного берега от молов и канала.

Судоходный канал к портам Южный и ТИС (Южный/ТИС) находится в условиях действия штормов из открытого моря, особенно на протяжении осенне-зимнего сезона, что характерно для области действия циклонической циркуляции атмосферы (Михайлов, Морозов, 2004; Ильин и др., 2012; Берлинский и др., 2021). Однако, волнения чувствительно гасятся крупной подводной банкой, реликтом дневней террасы Днепра. Глубины над банкой составляют 5-7 м. Подходной канал находится под влиянием стокового течения из Днепро-Бугского лимана. Однако, мелкоземный аллювий Южного Буга и Днепра сказывается несущественно, поскольку лишь 5% речного стока наносов приходит в море через Кинбурнский пролив. Поэтому важнейшее значение имеет действие маломощного Аджияского вдольберегового потока

песчаных наносов, который приводил к заносимости канала (глубина до 10 м), вначале равного около 30 тыс. м/год (Шуйский, Выхованец, 1989). Перехват наносов внешними гидротехническими сооружениями порта Южный поначалу активизировал процессы абразии, а мощность потока возросла почти на 25%. В первые годы XXI столетия на сопредельных абразионных берегах развилась активная «некондиционная» примитивная берегозащита. Это привело к тому, что сегодня, при глубине 17-18 м, заносимость снизилась (Рис. 77). Причина в том, что почти все абразионные источники наносов блокированы, и дефицит наносов существенно обострился, хотя размеры канала увеличились. Такая ситуация возможна и у других подходов и транзитных каналах, в отличие от закономерностей, показанных на графиках Рис. 74 и 75.

В 1990 г. в Китае на о. Хайнань состоялся Международный симпозиум по проекту SCIEL-21192109 «Exploitation and Management Island Coast and Embayment Resources». В программу этого форума вошла тематика о морских портах, гаванях и подходах каналах (Shuisky, 1992). Типичным оказался небольшой морской порт Санья на о. Хайнань внутри риаса, продолжения долины р. Санья (Рис. 78).

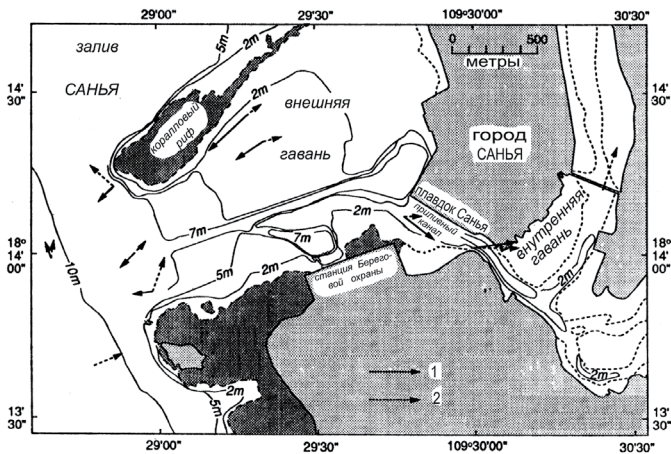


Рис. 78. Расположение порта Санья на приливном побережье Южно-Китайского моря, о. Хайнань, Китайская Народная Республика. Приливные течения: 1 – поверхностные; 2 – придонные; 7 – глубины, в метрах (по данным Ч. Шафера и Ю Кунь-яна).

Конечно, в риасах расположено немало портов, но в данном случае риас является разветвленным, блокированным барьерным коралловым рифом, а в Санья располагается диспетчерский центр Китайских портов в бассейне Южно-Китайского моря. Со стороны моря, с запада, расположена крупная реликтовая щебнево-песчаная коса, на которой находится основная часть города. Акватория порта хорошо защищена от ветров и волн, особенно – от тайфунов. Физико-географические условия береговой зоны позволяют эксплуатировать порт, где глубины во внутренней гавани позволяют по каналу заходить судам водоизмещением от 1000 до 6000 *тонн*. Здесь внешняя гавань позволяет по каналу принимать суда водоизмещением от 10 до 50 *тыс. тонн*. В окрестностях на водомерном посту Лухутуо приливный уровень высокой воды составил 2,75 *м* выше ординара. Средняя высота ветровой волны равна 0,5 *м* (повторяемость 69%, период 4 *сек*), повторяемость высоты волны 1 *м* равна 12,4%. Максимальная высота ветровой волны может превышать 3 *м* во время летнего тайфуна. Во время прилива средняя скорость поверхностного течения (стрелки на Рис. 77) равна 0,57 *м/сек*, а придонного около 0,11 *м/сек*. Во время отлива понижение уровня воды сопровождается средней скоростью течения в поверхностном горизонте, равной около 0,95 *м/сек*, а в придонном до 0,25 *м/сек*. Течения данных скоростей могут не только сдвигать с места, но и переносить песчаные и гравийные частицы. Такие ситуации обеспечивают естественное гидрологическое промывание от наносов судоходных каналов и гаваней на многих участках приливных берегов.

В Санья днище речной долины, береговые и донные отложения представлены голоценовыми (возраст 6-9 *тыс. лет*) песками, алевритами, илами, их смесями с включениями ракушки, а также обломков кораллов и скальных пород. Они облегчают дноуглубление на канале, но в то же время способствуют формированию высоких концентраций взвесей в водной толще. Чистки глубин на канале Санья производятся с 1967 г., и это составляет серьезную проблему, по сообщению портовых властей.

Как и на любом эстуарии (Сафьянов, 1987 а; Михайлов, 1998), в который впадает одна или две реки, под влиянием ветровых, анемобарических и приливных волн и течений создаются высокие концентрации

наносов в водной толще береговой зоны моря. В этом отношении опыт работ на канале Санья весьма показателен. Там натурные инструментальные измерения потока приливного течения с 1985 г. показали, что значение содержания частиц осадка в толще воды составляет в среднем $0,99 \text{ г/л}$. Причем, в отличие от неприливых участков, данная величина может меняться в зависимости от фаз развития прилива и на разных участках гавани, канала и риаса в целом. В общем, в течение дня вынос в море составляет 8328 тонн осадочного материала, а годовые значения год от года меняются от $6,33 \text{ млн тонн}$ до $20,11 \text{ млн тонн}$, т.е. примерно столько же, что и у Днестра, далеко не маленькой реки, которая впадает в Черное море. Основная масса выносимых наносов концентрируется на дне внешней гавани, на большой площади. Как результат, прослежена тенденция роста скоростей седиментации от морского края риаса ($0,16-0,18 \text{ мм/год}$) и средней части (около 2 мм/год) до внутренней гавани ($2,6-12,4 \text{ мм/год}$), по трассе всего канала Санья. Причем, обнаружен постепенный рост концентраций взвеси в воде и седиментации наносов в гавани под влиянием антропогенного фактора и современных изменений климата.

Каналы могут также активно влиять на сопредельные берега. Это касается тех каналов, которые чаще всего выходят за пределы полосы забурунивания штормовых ветровых волн над подводным склоном, полосы широкой на песчаных отмелях берегах и полосы сравнительно узкой на гравийных и галечных берегах, при соответствующей относительной высоте волны. Примерами могут служить подходные каналы к портам Лагос (в Нигерии), Таранто (в Италии), Остенде (в Бельгии), Вентспилс (в Латвии). Стандартное ограждение порта и канала построено в Дурбане (Рис. 79), в виде двух парных молов (мористые оголовки до глубины $5,5 \text{ м}$), как в Ильичевске, Южном/ТИС, Скадовске. У них ограждающие молы полностью или частично блокируют вдольбереговые потоки наносов. В Дурбане океанические волны из Антарктики приводят к образованию крайне небольшого заполнения входящего угла и сносу большей части материала в канал. Если здесь не применяется «*bypassing*», то в результате черпания обостряется общий дефицит наносов в береговой зоне, как это происходит на канале порта Южный/ТИС.



Рис. 79. Порт Дурбан, Южная Африка, побережье Индийского океана. Сквозь косу прорыт судоходный канал (глубина около 9 м, огражден молами), по которому крупное грузовое судно заходит в порт.

Также распространены и транзитные каналы, например, Керченский и Днепровско-Бугский на Черном море (Рис. 48). Можем видеть, что Днепровско-Бугский канал проходит по всей длине дна лимана, от дельты Днепра до Кинбурнского пролива. Важно, что его глубина доступна для судов с осадкой 8 м, а потому надо ожидать сильную заносимость под влиянием речных наносов. Однако, мелкоземный аллювий Южного Буга и Днепра, в основном пелитовых фракций, сказывается несущественно, хотя почти все исследователи указывают: почти 95% этого материала накапливается в лимане, крупнейшем на побережье Черного моря, по данным М. Н. Костяницына и В. Г. Симова.

Вода этих двух рек являлась и раньше природно осветленной (в среднем $14 \text{ г/м}^3 \cdot \text{год}$ твердых наносов). А после строительства Каховской ГЭС он понизился до $8 \text{ г/м}^3 \cdot \text{год}$ в среднем за последние 70 лет, т.е. стал на 57% меньше. Это значит, что сток наносов сократился на 57% и составил 450 тыс. т/год, вместо 800 тыс. т/год до капитального зарегулирования, из них только 5% достигает моря через Кинбурнский пролив. Причем, практически все влекаемые

наносы и часть взвешенных отлагаются в дельте Днепра, площадью $\approx 370 \text{ км}^2$. Получается, что на дне лимана скорость аккумуляции наносов из Днепра составляет $0,022 \text{ мм/год}$ на 1 м^2 . Поэтому данная скорость компенсируется тектоническим погружением дна лимана и дельты Днепра и процессом уплотнения дельтовых и лиманных донных осадков. Хотя переуглубление прорези канала относительно окружающего дна лимана может составлять 4-5 м, но в условиях интенсивной динамичности лиманной воды под влиянием сгонно-нагонных процессов возможны повышенные скорости заполнения данного судоходного канала, в том числе и поступления дополнительного количества грунта с соседних свалок. В этой связи можно утверждать, что количество ремонтного черпания грунта в пределах канала относительно невелико, хотя в лиман впадают две достаточно крупные равнинные реки. По данным С. С. Хромова (ЧерноморНИИпроект, Одесса) и В. В. Бездольного (ГП «Дельта-лоцман»), количество черпаемого грунта здесь составляет порядка 1150 тыс. т в год в среднем в течение 10 лет в начале столетия.

Среди подходных каналов почти все оказывают воздействие на сопредельные морские берега. Например, на Черном море это канал порта Южный, который первые 20-25 лет перехватывал до 35% мощности вдольберегового потока наносов, заметно активизировал абразионное поступление наносов к востоку, до м. Сев. Одесский. Морфометрические и объемные размеры прислоненных пляжей вначале увеличились, возросла мощность Аджиясского вдольберегового потока наносов. Но в дальнейшем несколько сократились скорости абразии клифов. Дополнительное количество наносов добавила искусственная терраса со специальным фронтальным обрамлением, которая защитила подветренный берег от абразии, и была рассчитана на волновую переработку и насыщение вдольберегового потока наносов (Бертман, Шуйский, 1983; Шуйский, Выхованец, 1989; Shuisky, 1994). Со временем, с первых лет XXI столетия, процесс влияния внешних портовых сооружений Южного на сопредельные берега пришел в динамическое равновесие. Заметно ослабло влияние абразионного источника наносов также в связи с сильным влиянием «некондиционной» берегозащиты.

В конечном итоге все это привело к снижению мощности потока наносов и к размывам на участке его окончательной разгрузки в Одесском заливе.

В береговой литературе (Шишов, 1964; Кожухов, 1968; Кнапс, 1985; Пясецкий, 1979) широко известно аналогичное влияние каналов и длинных оградительных молов на подветренный песчаный берег моря. Например, в статье П.Я. Пясецкого обоснованно анализируются причины и механизмы подветренного размыва берега севернее порта Лиепая на протяжении более 30 км. Физико-географические процессы подобны тем, которые под влиянием внешних сооружений действуют в районах портов Южный/ТИС, Констанца, Ейск, Порт-Саид и ряда других.

Большое значение имеет судоходство в эстуарных физико-географических системах морского побережья (Сафьянов, 1987 б; Walker, 1988; Михайлов, 1998). Примерами могут служить эстуарные каналы и порты в Гамбурге, Лондоне, Мезени, Охотске, Калькутте, Читтагонге, Буэнос-Айресе и др. С природной точки зрения – это сложный комплекс, где активно действуют разнообразные физико-географические процессы, а с другой стороны районы расположения эстуариев могут быть местом добычи нефти и газа, минеральных ресурсов, развития рыбного промысла, марикультуры, животноводства, лесного хозяйства, туризма и проч. Все это рекомендуется учитывать при строительстве и эксплуатации не только судоходных каналов, но также морских и речных портов. Например, по каналам северного побережья Мексиканского залива в США (штаты Алабама, Луизиана, Техас) в порты транспортируется добываемая нефть, газ, строительные пески из морских карьеров, а также другие грузы. До настоящего времени большинство исследователей путаются в определении эстуария. Так, на побережье Черного и Азовского морей ряд авторов к эстуариям отнесли устья Днепра, Днестра, Дуная, Ешиль-Ирмака, Дона, Кубани. Хотя уже давно, еще в своей монографии И.В. Самойлов (Самойлов, 1952) обращал особое внимание на то, что эстуарий присущ побережьям приливных морей, со всеми природными особенностями. Этот обоснованный вывод убедительно подтвердил Г. А. Сафьянов (Сафьянов, 1987 б),

а в статье (Шуйский, 2017 б) была показана несостоятельность современных «новаций» по данному вопросу. Поэтому перечисленные устья рек на побережье неприливых морей не могут быть эстуариями по определениям представленных в различных словарях, в том числе и в энциклопедическом (Щукин, 1980).

В данном подразделе приведены характерные примеры применения теоретических и прикладных положений современного береговедения для планирования и эксплуатации судоходных каналов в береговой зоне Мирового океана: а) в условиях влияния крупной реки; б) в условиях мелководного неприливого моря и вторичного расчленения берега; в) в условиях приливно-мелководного моря и глубоко вдающегося в сушу залива, при сильном денудационном сносе осадочного материала с суши в море. Все эти условия (а-в) требуют обязательного расчета баланса наносов в береговой зоне, согласно специальным разработкам для Черного и Азовского морей (Шуйский, 1979) еще около 50 лет назад.

Можно встретить и другие варианты мест расположения портовых акваторий и судоходных каналов, но приведенные здесь примеры достаточно полно охватывают варианты применимости теоретических и прикладных положений современного береговедения (Горюнов, Шихиев, 1970; Яковенко, Омельченко, 1993; Шуйский, 2000, 2018). Задействуются все научно-теоретические основы, направления и положения береговедения, начиная от палеогеографической эволюции и геологического строения, до качества морской воды и состояния различных живых организмов. Любой морской порт и судоходный канал, если его местоположение уже выбрано и обосновано, в дальнейшей эксплуатации не должен подвергаться существенному негативному влиянию со стороны окружающих физико-географических условий, факторов и процессов. В противном случае его обоснование является непрофессиональным и невалифицированным, наносящим урон природным ресурсам.

§ 9. ОРГАНИЗАЦИЯ ДОБЫЧИ НАНОСОВ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ

Изъятие наносов из береговой зоны связано с промышленной разработкой строительных песков, очагов концентрации тяжелых рудных минералов («прибрежно-морских россыпей»), очагов накопления ракуши и ракушечного детрита, с заносимостью подводных каналов и карьеров и др. В общем, это явление заключается в естественном или искусственном уменьшении количества наносов на том или ином участке береговой зоны, при сохранении волноэнергетического потенциала в прежней напряженности. При этом, следует оценить степень влияния искусственных изъятий на состояние всей литодинамической системы («ячейки») для сохранения оптимального динамического равновесия береговой зоны, чтобы в дальнейшем добыча наносов как природного ресурса не приводила бы к вредным последствиям. Естественное изъятие выражается в активности и степени влияния тех природных процессов, которые описываются отрицательными элементами баланса наносов в береговой зоне моря. Оно локализуется в определенных районах береговой зоны, наблюдается на участках конечной и промежуточной разгрузки вдольбереговых и поперечных потоков прибрежно-морских наносов, при штормовой переброске наносов через береговые барьеры (бары, пересыпи, перемычки), при формировании эолового рельефа и переносе пляжевых наносов в удалении от моря, путем выноса наносов в составе морского и материкового льда, в течение периода естественного понижения энергетического потенциала волнового поля и проч. Также важно учитывать процессы канализации наносов из береговой зоны в глубоководные области морского дна по трассам подводных каньонов, что характерно для горных побережий, по мнению (Кикнадзе, 1991; Сафьянов, 1996; Пешков, 2005).

Во всех этих случаях природные литодинамические системы лишаются части пляжеобразующих наносов, которые выходят из сферы влияния вдольбереговых потоков или поперечных миграций наносов. Обостряется дефицит прибрежно-морских наносов, а потому часть волновой энергии, нередко – основная, с переработки

наносов на пляжах перебрасывается на усиление абразионного процесса (см. § 3). Происходит усиление скоростей абразии и размывов, оно вовлекает в береговую зону дополнительное количество наносов, как механизм саморегулирования баланса наносов в условиях последующего сохранения окружающего природного комплекса, согласно «закону окружающего влияния» (Шуйский, 2018, с. 308). Поэтому происходит постепенное сокращение дефицита наносов, который со временем погашается, прекращается, формируется прежняя мощность потоков и миграций наносов за счет непрерывного пополнения материалом из различных источников (из рек, из клифов, с бенчей, путем эоловых и вулканогенных пополнений и др.).

В какой-то мере текущие изменения температуры приземного слоя атмосферы снижают литодинамическое влияние морского льда. Затем, как правило, восстанавливается прежняя ситуация с относительным динамическим равновесием природной литодинамической системы, с соответствующим природным трендом общей эволюции природы на очередном временном «витке» (Шуйский, 1986, 1996, 2018). Другими словами, естественное изъятие наносов из береговой зоны является обычным, режимным, присущим береговой зоне, создающим *допредельный* дефицит наносов.

Следует указать на то, что с такими потерями напрямую связано действие морских волн и волновых течений. Среагировав на уменьшение запасов наносов, например, через уменьшение размеров пляжей, – волновой фактор мгновенно включает адекватный размыв подножья клифов (Рис. 42, 60), либо потенциальных запасов из эоловых форм рельефа (Рис. 40). Этим компенсируется влияние обострения наносо-дефицита и происходит его сокращение, возвращение в исходное гармоничное состояние. Вот почему одним из базовых правил хозяйственной организации прибрежно-морских систем является обязательное выявление соотношений между потерями прибрежно-морских наносов и их поступлением в береговую зону (Шуйский и др., 1982, 1987; Шуйский, 1986). Численно они должны быть примерно равными. Безвозвратное поначалу использование (изъятие) определенной массы наносов требует, чтобы

это использование (изъятие) не превышало количество дальнейшей новой массы прихода как реакция на компенсацию изъятий *в пределах данной литодинамической ячейки*. При этом ведущее правило состоит в сохранении исторически сложившегося длительного и гармоничного процесса формирования позитивных и негативных элементов баланса наносов в береговой зоне моря. Все это позволяет надежно спланировать промышленную добычу наносов в береговой зоне моря без нанесения ущерба структуре, составу и количеству продуктивных толщ наносов в береговой зоне моря, в т.ч. и на подводном склоне (Шуйский и др., 1982, 1987; Шуйский, Стоян, 2014).

Искусственное, антропогенное изъятие может быть: а) при ремонтном черпании на подходящих судоходных каналах в сфере влияния вдольберегового потока наносов, особенно – если при этом не применяется «*bypassing*»; б) при добыче рудного сырья в россыпных очагах на берегу и подводном склоне моря; в) при различного рода использовании пляжевых наносов для строительных целей; г) при негативном изменении среды обитания наносообразующих живых организмов, которые образуют биогенный детрит. Конечно же, во время проектных проработок эти аспекты нельзя игнорировать.

К тому же искусственное изъятие наносов из береговой зоны может быть косвенным и прямым (Артюхин, 1989; Шуйский и др., 1987; Айбулатов, 2005). Косвенное определяется замедлением стока наносов в реках, например, в результате строительства плотины или крупного водозабора. Поэтому в море выносятся меньше наносов, формируется их дефицит в береговой зоне.

Другой пример: очаг эоловых наносов на морском берегу питает наносами значительный участок при его штормовом размыве. Но затем на этот очаг высаживается древесная растительность для закрепления песков, и снос наносов в море может прекратиться. В этой связи послештормовое пополнение данного участка выключается из оборота, а потому усиливается размыв берега и уничтожаются в среде толщи наносов мелкие растения и животные, часто – уникальные по экологическим признакам.

Сегодня нередко искусственно закрепляются активные клифы либо у их подножья, либо по всей ширине склона т. н. методами

«некондиционной защиты, но одновременно они сокращают количество наносов в береговой зоне, т.е. обостряют дефицит наносов. Причем, часто на участке от закрепленного клифа до участка разгрузки вдольберегового потока в пределах литодинамической ячейки. Бывают и другие аспекты, например, при трендовом движении наносов вдоль берега в сторону резкого значительного увеличения глубины, например, у выступающего в море скального мыса (*«promontary»*); при вторжении в береговую зону моря вершин латеральных подводных каньонов на малые глубины. Все чаще применяются меры увеличения площади берега за счет создания искусственных грунтовых террас, что затрудняет добычу береговых наносов и сокращает площадь пляжей (Шуйский, 1990; Shuisky, 1992, 1994), как например в Одесском заливе (Рис. 43). Эти аспекты планирования тех или иных сооружений в береговой зоне исследуются в обязательном порядке. Они имеют особенно важное значение при планировании фигурных берм (Рис. 18), прерывистых защитных сооружений (Рис. 22), прямых и скошенных бун (Рис. 45) и прочих, рассчитанных на изъятие наносов из естественного оборота.

Конечно, все они рассчитаны на накопление наносов на участке сооружений, но одновременно они вызывают, как правило, формирование дефицита наносов в окрестностях сооружения или с его подветренной стороны по ходу вдольберегового потока наносов. Аналогом бун могут служить парные молы морских портов, как например, Клайпеды и Лиепай на Балтийском море, Зебрюгге и Остенде на Северном море, Ильичевск и Южный на Черном море. Но в данном случае цель состоит не в накоплении наносов, а в предотвращении таких накоплений и защите подходных судоходных каналов от заносимости береговыми наносами. При этом схема циркуляции морской воды в очаге расположения оградительных сооружений отличается от циркуляции вокруг бун и волноломов (Кнапс, 1960; Шишов, 1962, 1968; Кожухов, 1968).

В случаях, когда искусственное изъятие («целенаправленная добыча») является прямым, промежуточные звенья влияния отсутствуют. При этом наносы вывозятся напрямую с пляжей и береговых террас, из подводных и наземных карьеров, из пределов

подводных реликтовых аккумулятивных форм, например, на Терновской террасе и соседней пересыпи Днестровского лимана (Выхованец, 1987; Shuisky, Vykhovanetz, 2017). Вместо организации байпасинга, наносы прямо из судоходных каналов вывозятся и используются в строительстве, как например, из Цареградского канала в северо-западной части Черного моря или канала Мародеро на Мексиканском побережье. Это составляет прямые и безусловные потери для береговой зоны моря. При этом, в отличие от косвенного изъятия, наносится многоступенчатый ущерб природной прибрежно-морской системе в виде нарушения линейных и объемных размеров форм рельефа, прямого физического уничтожения растений и животных, физических нарушений толщи наносов, режима подземных вод и токов растворов в толще наносов, рост частоты штормового переплескивания морской воды, частоты вертикальных и горизонтальных деформаций уязвимого рельефа и прочее. Конечно же, в подобных прибрежно-морских условиях нельзя планировать добычу наносов в береговой зоне моря.

Учитывая доминирование общего дефицита наносов в береговой зоне Мирового океана, сложившегося эволюционно, исторически, десятки тысяч лет назад в том числе и на Черном море (Шуйский, 1979; Шуйский и др., 1987), все указанные прямые и косвенные изъятия обостряют и без того сильный дефицит и усиливают процессы волновой абразии и размывов (§ 3 и 5).

Но береговая зона весьма притягательна для изъятия наносов, поскольку: а) береговые наносы чисты от примесей, хорошо отсортированы и по размерам идеальны для строительных смесей; б) скопления тяжелых минералов представлены такими химическими соединениями, которые весьма просты для промышленной переработки, не требуют сложных технологий и не дают значительных вредных отходов; в) скопления биогенных наносов не содержат вредных примесей, удобны для промышленной переработки и в себе содержат чистый CaCO_3 ; г) поступая естественным образом в каналы и карьеры, наносы уже не возвращаются во вдольбереговые потоки и поперечные миграции наносов; д) на акваториях, подверженных стойкому возникновению ледового припая, вмерзая в лед, наносы практически не возвращаются в береговую зону.

В этой связи в береговой зоне морей, в т. ч. Белого, Охотского, Чукотского, Бофорта, Черного, Азовского, Восточно-Сибирского и других, изъятие наносов происходит повсеместно, непрерывно и в громадном количестве (Артамонов, Лопатников, 1982; Мамыкина и др., 1982).

В районах вторжения в береговую зону вершин ряда подводных каньонов наносы уходят безвозвратно к подножью континентального склона на большие глубины. При этом на берегах застройка ведется сплошной непрерывной полосой вдоль берега, без меры используются пляжевые наносы для строительства без учета разработанных стратегических требований застройки в литодинамических ячейках (Кикнадзе и др., 1989; Сафьянов, 1978, 1987 а; Шепард, 1976).

Многолетний опыт исследования искусственных изъятий прибрежно-морских наносов из береговой зоны морей показал, что на практике сложилось три основных направления добычи наносов: а) на морском берегу выше среднего уровня моря на участках распространения современных песчаных и гравийно-галечных аккумулятивных форм различного происхождения (прибрежно-морского, аллювиального, дельтового и др.); б) на подводном склоне в пределах действия волновых прямых и обратных импульсов в процессе диссипации волновой энергии; в) в верхней части шельфа, на глубинах более 25-30 м, вне пределов береговой зоны и влияния активного действия ветровых волн мелководья (в определении П. Брууна) на реликтовых накоплениях наносов. Наибольшее внимание нами было уделено направлениям (а) и (б). При этом нами использовались участки промышленной разработки наносов береговой зоны преимущественно на мелководьях Черного и Азовского морей, которые исследуются десятилетиями и отнесены к опытным, экспериментальным полигонам (Шуйский и др., 1982, 1987; Шуйский, 2018).

Как известно (Мамыкина, Хрусталева, 1980; Зелинский и др., 1993; Берлинский и др., 2021), южная часть Причерноморской и Приазовской низменностей на протяжении неогена и антропогена была областью сноса осадочного материала с Украинского щита, Подольской возвышенности, Донецкого кряжа и прилегающих структур. Значительную роль сыграл аллювиальный снос осадочного материала.

Это привело к тому, что морские побережья оказались сложенными малопрочными, слабо сцементированными отложениями, в основном V-IV классов по степени сопротивляемости абразии. В итоге даже мощные толщи «песчаных» форм рельефа, типа подводной Одесской банки, образованы более мелкими фракциями, чем типичные наносы волнового поля в равнинной береговой зоне Черного и Азовского морей. Пылеватыми оказались речные наносы Дона, Днепра, Дуная, более малых рек на морском крае низменностей. В определенной степени древние реликтовые террасы Днестра дают достаточно крупнозернистые фракции песка и гравийников, но очаг их локализации сильно ограничен и не может обеспечивать оптимальными размерами наносов весь морской берег, что было уже давно установлено и позже не претерпело возражений (Шуйский, Выхованец, 1989).

Все это имеет ряд последствий. Во-первых, современные аккумулятивные формы созданы длительной волновой переработкой древних аллювильно-делювиальных толщ, но к сегодняшнему дню они выработаны и не могут быть надежным источником прибрежно-морских наносов.

Во-вторых, на суше вблизи морского берега, где береговые участки требуют защиты от действия абразии, нет близко расположенных источников наносов для искусственного создания защитных пляжей и постоянной их поддержки, хотя бы в течение времени действия IV класса капитальности берегоукрепительного сооружения.

В-третьих, источники наносов для строительства и создания искусственных пляжей имеются, но они залегают в небольшом количестве на подводном склоне моря в пределах береговой зоны, а основное количество этих реликтовых толщ находится за пределами береговой зоны, в верхней части типичного шельфа на исследованном побережье. Это глубины более 20-25 м, а для изъятия наносов оттуда требуется дорогостоящая техника, которую государство не хочет производить и покупать. В этой связи взоры заинтересованных лиц обращаются на подводный склон моря в интервале глубин 0-10 м и на морской берег с середины XX столетия.

В течение последних 25-30 лет на северных берегах Черного и Азовского морей вспыхнул мощный интерес к приморским территориям.

Началась сплошная застройка берегов, но далеко не всегда учитывающая интересы природных прибрежно-морских систем по нескольким причинам (см. § 3, 6, 7).

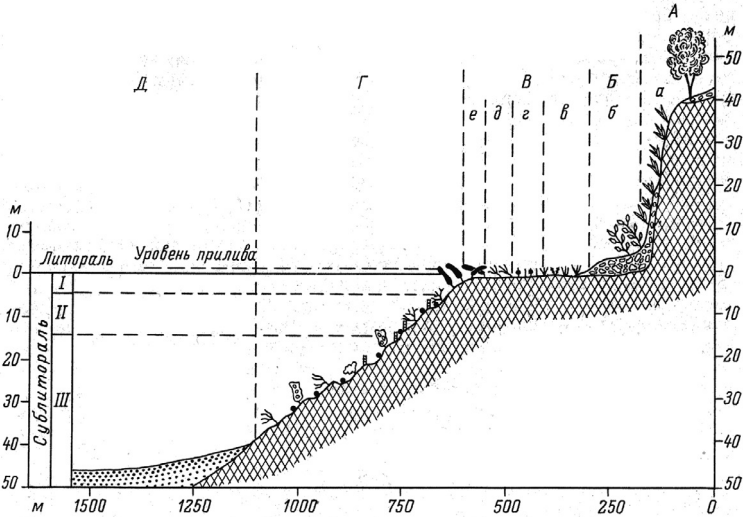


Рис. 80. Вертикальная аквашафтная дифференциация в береговой зоне моря (на берегу и на подводном склоне). Условные обозначения: *A* – абразионный берег с отмершим клифом, *a* – коренная высокая древнечетвертичная терраса; *B* – осадочный делювиальный шлейф, *б* – отмершее подножье клифа; *B* – скульптурная абразионная терраса, периодически заливаемая водой в литоральной зоне (осушка); *в* – заросли морской травы (зостеры), *г* – разреженный покров водорослей на выровненной поверхности бенча, со слое щебня и глыб, *д* – заросли морской травы (филлоспадикса), *е* – заросли ламинарии на грядах, окаймляющих мелководную абразионную террасу; *Г* – абразионный скульптурно-грядовый подводный склон; *Д* – песчаная или илесто-алевритовая отсыпь. Сублиторальная зона: I – верхний этаж; II – средний этаж; III – нижний этаж (Петров, 1989).

К сожалению, частные застройщики и местные власти стали широко использовать высококачественные наносы на подводном склоне морей, но при этом игнорировали природные особенности

прибрежного дна. Хотя исследования, например, К. М. Петрова (Петров, 1989) и Ю. П. Зайцева (Зайцев, 1998) не способствовали этому, поскольку по данным их исследований на подводном склоне сложилась уникальная экологическая система (Рис. 80 и 81). На всех её глубинах и на всех этажах распространены растения и животные, которые выдерживают механическое влияние сильных штормов и служат показателем биологического разнообразия, в том числе и на поверхности песков, которые черпались для строительства. Эта поверхность прибрежного дна является особенно продуктивной для промысловых организмов (Залогин, 1983; Соломина, 1983).

В северной части Черного и Азовского морей на мелководьях подводного склона моря (Рис. 26) с пригодными для добычи толщами были установлены участки небольшой площади, а добыча велась поочередно, от первого до последнего. Основные участки были приурочены к мелководным банкам: Одесской, Терновской, Сергеевской, Тендровской, Долгой и др. Вначале добыча велась на одном участке, затем на другом, третьем и т. д. В связи с очень небольшими запасами, они быстро выработались, их качество стало хуже за счет заиленности и больших примесей ракуши. Одновременно выяснилось: лишение подводного склона наносов нарушило наносообмен между берегом и подводным склоном.

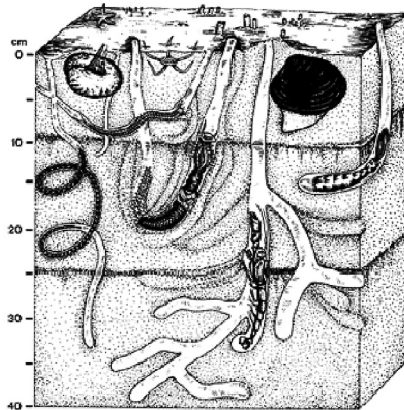


Рис. 81. Распределение бентосных организмов в толще песчаных отложений, на приливной осушке, побережье Северного моря (по М. Лёффлеру).

На абразионных участках уменьшились линейные и объемные размеры прислоненных пляжей. Поэтому увеличились скорости абразии и разрушение ценных приморских земель, причем – безвозвратно. На аккумулятивных участках с берега стали стягиваться наносы на подводный склон. За счет этого начал обостряться дефицит наносов, начали заметно уменьшаться размеры аккумулятивных форм (пляжей, кос, баров, пересыпей и др.), нарушился природный наносообмен, что подорвало устойчивость дальнейшего развития этих форм, особенно – пересыпей лиманов и азовских кос. Если после окончания добычи на той или иной подводной банке подводные растения и животные за год-другой восстанавливались, как например, в Тендровском и Джарылгачском заливах (Шуйский и др., 1985, 1987 а), то многоступенчатое образование наносов волнового поля занимает многие десятки – сотни лет.

Анализ влияния подводных карьеров на побережьях Черного и Азовского морей представлен в работах (Шуйский и др., 1980, 1982, 1985, 1987; Мамыкина и др., 1982; Артюхин, 1989) и других. Авторы отмечают начало стационарных наблюдений за морфологией и динамикой береговой зоны одновременно на берегу и на подводном склоне по специальной методике (Буданов, 1964; Леонтьев и др., 1975). Они показали, что углубление подводных карьеров по добыче песка в пределах действия вдольберегового потока наносов, вследствие нарушения естественного профиля, начинает стягивать с берега часть наносов, стремясь восстановить искусственное нарушение сложившегося динамического равновесия. Чем более крутым является уклон подводного склона в ряду профилей на Рис. 31, тем интенсивнее протекает этот процесс.

Ярким примером оказался подводный карьер по добыче песка для строительства порта Ильичевск, в районе Сухого лимана на Черном море (Рис. 44). На расстоянии около 1 км к северо-востоку от входа в порт на глубинах 4-9 м, в пределах береговой зоны и рассеяния энергии волн мелководья, с поверхности подводной реликтовой аккумулятивной формы древней пересыпи лимана стали добывать песок. Добыча велась из ошибочного расчета, что эта часть береговой зоны является районом разгрузки мощного вдольберегового потока наносов от района м. Бурнас (Зенкович, 1956, 1960).

Всего было добыто 13 млн т наносов, или в среднем примерно 1,3 млн т/год, в действительности почти 200-кратное превышение годовой нормы поступления осадочного материала из разных источников. Дальнейшие исследования показали еще в 1968 г. (Шуйский, Выхованец, 1989): стремясь уравновесить мощное запредельное нарушение исторически сложившегося механизма развития береговой зоны, донный осадочный материал стал интенсивно стягиваться в выемку карьера. По этой причине площадь покрова наносов на прибрежном дне сократилась в 8 раз. Объемные размеры прислоненных пляжей уменьшилась в 3 раза, а самые малые пляжи исчезли вовсе.

Практически одновременно усилилось абразионное разрушение соседнего клифа и подводного склона (Рис. 82). Скорости абразии возросли с 0,6 м/год до 2,3 м/год (Шуйский и др., 1980, 1987). Сразу начались оползневые подвижки, возникла угроза береговым постройкам, а компенсационные второстепенные подвижки наносов с юга были блокированы каналом и оградительными молами (Рис. 44).



Рис. 82. Интенсивная волновая абразия привела к быстрому отступанию нижней оползневой террасы между Люстдорфской балкой и Сухим лиманом напротив песчаного карьера на дне моря (фото Ю. Д. Шуйского).

Глубина карьера составила 3 м, что привело к повышению уклона профиля с 0,011 до 0,016 – т.е. на $\approx 31\%$. Это существенная негативная прибавка, изначально вызванная неверными представлениями о вдольбереговом потоке наносов. После 10 лет эксплуатации карьер был закрыт.

Аналогичные последствия складывались также и на Сергеевском подводном карьере, напротив пересыпи Будакского лимана в районе пгт. Сергеевка. Добывался материал с реликтовой голоценовой террасы Днестра, где $Md = 0,2-0,4$ мм, $So = 2,5-3,0$; содержание раковинного детрита составляло 5-10%. Там выемка карьера составила до 3,5 м ниже окружающего дна на глубинах 6-10 м. Инструментальные исследования пересыпи и соседнего дна на подводном склоне в течение 26 лет показали, что здесь уклоны поперечного профиля возросли с 0,0084 до 0,0113 в интервале глубин 0-10 м, т.е. на 26%. В то же время на более крутом отрезке поперечного профиля в интервале глубин 0-6 м средний уклон составил 0,0171 и после углубления карьера он был равен 0,0229 (т.е. на 25% больше) на этом же Сергеевском участке. Как и в районе Сухого лимана, карьер оказался в сфере влияния вдольберегового потока наносов. Рост уклонов подводного склона усилил волновое влияние. При обострении дефицита наносов активизировался рост волновой переработки пересыпи лимана и привел к отступанию береговой линии со средней скоростью 2,2 м/год.

До добычи песка считалось, что средняя скорость отступания составляет около 1,0 м/год. В результате ряд построек рыбопромыслового пункта «Сергеевка» были разрушены, а затем пункт был упразднен. На некоторых отрезках ширина песчаной пересыпи сократилась и достигла всего 45 м, т.е. уменьшилась более, чем в 2 раза (Шуйский и др., 1985; Шуйский, Выхованец, 1989). Лишь после прекращения добычи донных песков ширина пересыпи начала восстанавливаться, но восстановилась частично, преимущественно за счет уменьшения высоты с 2,8 м до 1,5 м.

Многолетние исследования были выполнены на дне Тендровского залива на глубинах 4-6 м, в условиях действия Тендровского вдольберегового потока песчаных наносов. Место добычи песчано-ракушечной

смеси находилось у дистальной западной оконечности Тендровской косы, где из потока окончательно разгружается до $150 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$ наносов. Изъятие материала с дна происходило с 1970 г. до 1981 г., при средних значениях порядка $120 \text{ тыс. т}/\text{год}$. До добычи участок берега косы напротив карьера находился в состоянии динамического равновесия. Хотя величина добычи не превысила окончательной мощности вдольберегового потока. По всей видимости негативную роль сыграло усиление волнового влияния за счет общего увеличения уклонов подводного склона. Уже в 1977 г. обнаружилось отступление береговой линии с восточной стороны, на выходе из залива. По данным мензульной съемки в 1978-1982 гг. здесь берег отступал со скоростью $2,5 \text{ м}/\text{год}$, поскольку заполнение вьемки карьера было весьма интенсивным. Это обеспокоило дирекцию Черноморского Биосферного заповедника, и был наложен запрет на добычу наносов.

Примерно так же складывалась ситуация на горном побережье в Ялтинской бухте Черного моря. Там на глубинах 6-13 м располагалась структурная терраса, на поверхности которой залегал слой гравийно-галечных наносов с примесью песка, этот материал аллювиального и делювиального происхождения. На глубинах 6-8 м была организована добыча без четкой локализации карьера, просто по площади на поверхности подводной террасы. На ней в 1960-1978 гг. было добыто более 10 млн т наносов, т.е. в среднем порядка $0,6 \text{ млн т}/\text{год}$ в физико-географических условиях активной волновой деятельности, крутого подводного склона ($i_s \approx 0,035$), общего дефицита наносов и неясно выраженного вдольберегового потока наносов. Очень быстро обнаружили признаки усиления деструктивных явлений на берегах залива, а прежде всего – на пляжах. Так, на Желтышевских пляжах ширина составила в среднем $18,7 \text{ м}$ в 1960 г., $16,2 \text{ м}$ в 1968 г., $9,4 \text{ м}$ в 1972 г., $8,8 \text{ м}$ в 1975 г., т.е. в 2,1 раза меньше с приращением $-0,65 \text{ м}/\text{год}$ (Шуйский и др., 1987). Понятно, что около 5% этого значения может приходиться на истираемость (по данным И.Б. Корженевского), но основная часть связана с влиянием недостатка наносов. При этом объемные величины пляжевой призмы устойчиво сокращались и составили 55-60% от исходной, несмотря на искусственные подпитки, как ни странно – с того же

подводного склона на поверхности террасы. Получился некий парадокс, хотя и он не единственный в своем роде, поскольку он известен у Атлантических берегов США и берегов Нидерландов, о чем позже.

Вдоль берегов Ялтинского залива в интервале глубин 6-11 м к концу 1968 г. глубины увеличились в нескольких точках на 1,5-2,0 м, а к 1978 г. – на 3,0-3,5 м. При этом местами на дне были обнаружены «ямы», глубиной до 5 м относительно сопредельного дна. В итоге, произошло общее увеличение глубины, почти в 2 раза, а потому возросли уклоны на поперечном профиле, усилилось волновое влияние, активизировалось смещение пляжевых наносов вниз по более крутому подводному склону моря. По данным М. Н. Рыжего, подводные водолазные работы показали, что материал с пляжа перемещался в сторону «ям» на террасе и стремился заполнить их, выровнять поверхность дна.

Отсюда наносы искусственно перемещаются с пляжей в местах их размыва, в процессе добычи на карьере. А последующими штормами наносы снова (возможно, уже другие) оказываются на пляжах. Такой искусственный литодинамический оборот «дно–пляж» заслуживает внимания, особенно на участках с острым дефицитом наносов, но как быть с их большой потребностью в строительстве? К тому же в подавляющем большинстве своем подводные карьеры нарушают гидробиологическую составляющую природных систем в береговой зоне, а потому наносят определенный вред. В этой связи является необходимым проводить соответствующие исследования в каждом отдельном случае, несмотря на решительное давление со стороны добывающих предприятий и их ставленников от инженерно-научного корпуса.

Также обращаем внимание на то, что чаще всего не учитываются параметры и структура слоя волновой переработки в береговой зоне во время эксплуатации подводных песчаных карьеров. Слой волновой переработки является третьим измерением вдольбереговых потоков и поперечных миграций наносов (Рис. 28-30). Этот подвижный донный слой приводит к естественной нейтрализации вредного влияния на выемке карьера и гасит негативное воздействие на соседний берег, его пляжи и аккумулятивные террасы. Поэтому глубина карьера не должна превышать мощность слоя волновой

переработки. Если карьер находится на участке аккумуляции наносов, где подводный склон нарастает и дно мелеет, то к мощности слоя следует добавлять величину нарастания при определении глубины карьера. К тому же на практике, нередко добычу наносов на дне производят по очереди на продуктивном участке: вначале на одном, другом, третьем и т.д. по трассе вдольберегового потока. Пока на последующих участках ведется добыча, первый участок восстанавливается и обогащается наносами.

С аналогичными вопросами встречаются также пользователи подводных залежей строительных песков, гравия, гальки или ракушечно-песчаных смесей на Азовском море (Мамыкина и др., 1982; Шуйский и др., 1987; Артюхин, 1989), на берегах Северного и Балтийского морей, вдоль берегов США, озера Эри в Канаде и др. К сожалению, уже в течение почти 40 лет на Украине подобные исследования специально не финансируются, а соответствующие публикации отсутствуют. Однако, приобретенный до 90-х годов XX столетия опыт натурных работ имеет высокую ценность в нашей стране, особенно выявленные закономерности реакции прибрежно-морских систем (комплексов) на антропогенные нарушения.

Острый недостаток строительных песков и гравийно-галечных смесей обусловил развитие порочной практики добычи на аккумулятивных формах в надводном состоянии, при том, что лавинно активизировалась застройка (особенно – дачно-рекреационная) при резком росте населения на морских побережьях. На этом фоне чаще всего застройка происходит без учета закономерностей развития береговой зоны Черного и Азовского морей, без исследований баланса наносов и подводного склона по специальной методике (Сафьянов, 1987 а; Соломина, 1987; Артюхин, 1989; Каплин и др., 1991; Айбулатов, Артюхин, 1993). Такая практика продолжается и в минувшие 2-3 десятилетия.

В качестве классического примера приведем использование гравийно-галечных пляжевых наносов на Кавказском берегу Черного моря для строительства железной дороги Туапсе – Адлер, в количестве до 50 млн т за 40 лет. Такое количество на порядок величины

превышает суммарное питание пляжей в этом районе за единицу времени – т.е. год (Кикнадзе, 1991; Меладзе и др., 1992; Айбулатов, 2005), а морской берег претерпел сильное абразионное разрушение. Поэтому была разработана специальная, оригинальная научно-производственная программа по кардинальной защите берегов Грузии на основании теории береговедения. В результате были восстановлены защитные пляжи более, чем на половине абразионных берегов Грузии на Черном море (Рис. 52, 62). Все работы соответствовали природным особенностям и закономерностям развития грузинского побережья.

Что касается песчаных берегов в северной половине Черного и Азовского морей, то здесь распространилось сплошное изъятие песка с кос, пересыпей, баров, береговых террас. Характерным является участок в северо-восточной утолщенной части пересыпи Днестровского лимана, где береговые дюны имели максимальную абсолютную высоту до +4,6 м и располагались тремя параллельными грядами вдоль морского берега (Рис. 83).



Рис. 83. Высокая эоловая гряда (абс. выс. +4,6 м) защищает поверхность пересыпи Днестровского лимана от вторжения сильных штормовых волн и является резервом для послештормового пополнения пляжа наносами (фото Ю. Д. Шуйского).

Хищническое уничтожение этой уникальной природной системы сопровождалось удалением всех гряд, вывозом песка в неизвестном направлении, искусственным понижением песчаной поверхности до отметок +0,2-0,4 м по всей её ширине (Shuisky, Vykhovanetz, 2017), как можно видеть (Рис. 84). Песок для стройки здесь получили с государственным разрешением, а вот во время очередного сильного шторма, в отсутствие защитных дюнных гряд, произошло сплошное затопление водой поверхности данного берега (Рис. 69). Вторжение морской соленой воды привело к засолению береговой территории, вместе с площадями расположения огородов, садов, виноградников и проч., с соответствующим долговременным ущербом и весьма существенными затратами. К тому же, этот антропогенный стресс заметно задел уникальную растительность и животных в песчаном слое в тесной их эволюционной ассоциации, сложившейся веками.



Рис. 84. Уничтожение береговых дюнных гряд превратило песчаный пляж в низкую плоскую поверхность (абс. выс. +0,2-0,4 м), которая свободно доступна размывающему действию штормовых волн на песчаной Терновской террасе, *NW* побережье Черного моря.

Данный пример считаем типичным пренебрежением природоохранным законодательством, как национальным, так и международным.

Но этот пример далеко не единичный. Не менее ярким является пример уничтожения крупнейшей на побережье Украины береговой дюнной системы на песчаной аккумулятивной Терновской террасе между лиманами Грибовским и Днестровским в северо-западной части Черного моря, где на соседнем подводном склоне расположен обильный источник наносов. Процессы активной аккумуляции привели к приращению её морского края со средними скоростями от 1,2 до 6,5 м/год за период 1972-2004 гг. Одновременно наибольшая ширина террасы превысила 400 м.

До 2000 г. здесь возникали и самые крупные береговые песчаные дюны на побережье Украины, как например на профиле Рис. 85. Их максимальная высота достигала 2,7-5,1 м. Ширина одной дюнной гряды могла быть от 40 до 95 м, а уже сложившееся дюнное поле могло включать в себя до трех-четырёх мощных гряд, параллельных одна другой. Измеренное количество эоловых наносов здесь составляет от 40 до 170 м³/м. Этого количества вполне достаточно, чтобы покрыть штормовые потери песчаных пляжей (см. § 3), поскольку при данном ветро-волновом режиме и широких пляжах компенсационные размывы могут достигать от 6-7 м³/м до 12-14 м³/м из массы эоловых форм (Выхованец, 2001, 2003). На стадии затухания шторма, в условиях абсолютного доминирования прямых волновых скоростей, наносной материал возвращается на пляжи с подводного склона. Его количество равно размыву на пляжах плюс размыву на дюнах, Дюнный резерв, который содержится в составе береговых дюн, вполне достаточно для восстановления пляжей на фронтальном окаймлении Терновской террасы. Вот почему так опасно уничтожение береговых дюн на песчаных берегах: оно приводит к размыву всей террасы.

Ярким примером может быть один из стационарных участков в средней части Терновской террасы (Рис. 85) по данным инструментальных наблюдений в течение 36 лет. И на данной террасе, вместе толщей песка, были физически уничтожены обитающие там растения и животные, ассоциации которых до сих пор не восстановились, поскольку: а) очищенная от дюн поверхность стала затопливаться соленой водой; б) поменялся режим подземных вод; в) значительно изменился щелочной показатель, он стал неблагоприятным;

2) изменился состав наносов, он стал более грубым, по Г.В. Выхованец (Выхованец, 1999). В условиях искусственно сложившегося обострения дефицита наносов развивается отступление береговой линии террасы. Как видим, и на этом примере местные власти поменяли прибыль от песка на комплексный ущерб для природы морского берега.

В 90-х годах XX столетия нами был организован натурный эксперимент по созданию «защитного ландшафта» с помощью наращивания донного барьера в верхней части песчаного пляжа, с применением наносонакопительных «sand fences» (Шуйский, Выхованец, 1997; Выхованец, 2003). Такая берегозащита широко распространена в различных странах и является весьма эффективной. В течение почти 2-х лет образовалась дюнная гряда (фракции 0,15-0,5 мм), с относительной высотой около 3-х метров, объемом до $110 \text{ м}^3/\text{м}$, которая защитила территорию спортивно-оздоровительного заведения «Буревестник» в пгт. Лазурное Херсонской области. Эта гряда успешно прошла испытание штормами 1996-1997 гг. Однако, несмотря на отчаянное сопротивление исследователей, экспериментальная дюнная гряда была уничтожена, а песок высокого качества был вывезен и продан частным застройщикам.

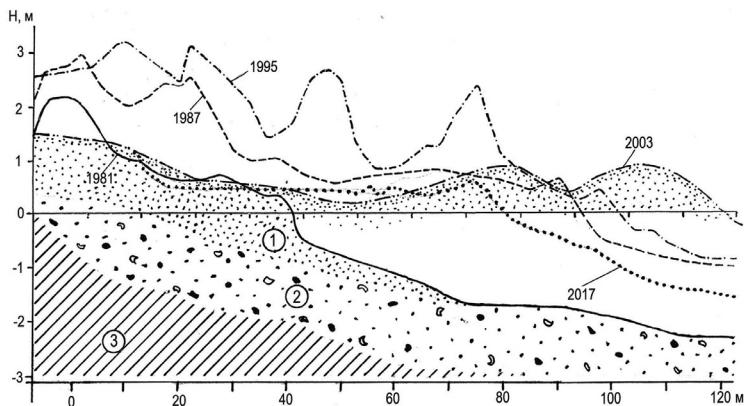


Рис. 85. Пример многолетнего изменения поперечного профиля на Терновском участке за период с 1981 г. по 2017 г.: 1 – толщина пляжевых песков; 2 – более древние отложения под действием прибойного потока; 3 – подстилающие раннеплейстоценовые глины; незакрашены эоловые наносы береговых дюн (по данным Г. В. Выхованец).

В ряде участков, на песчаных берегах в северной части Черного и Азовского морей применяются уловки, которые позволяют застройщикам активно уничтожать аккумулятивные формы рельефа прибрежно-морского происхождения. В частности, законодательство позволяет использовать морские берега в рекреационных целях, для отдыха, туризма, рыбалки и т.п. Пользуясь этим, местные власти дают разрешение на возведение капитальных сооружений – баз отдыха, гостиниц, мотелей на очень хрупких и неустойчивых пересыпях лиманов, косах, барах, террасах, как например на пересыпях лиманов Бурнас и Тилигул, на Бакальской и Лагерной косах, на Терновской террасе и проч. При этом застройка идет с использование берегового песка. А на пересыпи лимана Сасык в Придунавье запланировано создание сотен коттеджей по программе «Дунайя», что равнозначно полному уничтожению неповторимого берегового «ландшафта». Этому активно способствует планируемая организация регулярных гонок на квадрациклах по береговым дюнам как услуга для отдыхающих. Получается, что закон позволяет, но это противоречит природным механизмам развития и устойчивости уникальной береговой системы. Такая особенность является типичной на Украине: закон говорит одно, а природа требует другого. Но это не волнует тех, кто набросился на дармовые природные ресурсы с радостью, что им не придется вкладывать огромные деньги в поддержание своего «детища» и отчисления на сохранение многострадальных песчаных форм прибрежно-морского рельефа.

Автор воздерживается от правовой оценки подобных событий. Имея в распоряжении исследовательские данные о песчаных берегах других стран, можем указать ряд уловок, позволяющих соблюдать природоохранные законы, но при этом наносить вред окружающей природе морского побережья. Так, на побережье Южной Англии (берег пролива Ла-Манш) запрещена добыча *«песчаных, гравийных, галечных наносов»* любыми техническими средствами. Но законодателям удалось протащить разрешение на добычу *«агрегатов»*, т.е. смесей этих трех фракций наносов. Получается, что нельзя изымать отдельно песок, гравий и гальку, а вот в смеси их – можно. Казуистика, и только. В любом случае, какие бы законы ни

принимались, но в итоге серьезно страдают бентосные растения и животные и их неповторимые ассоциации.

В других странах принят закон о том, что можно изымать с подводного склона наносы волнового поля, но только для улучшения состояния смежного морского пляжа и на ограниченной площади, где рельеф и состав наносов обладают высокой динамичностью. Особенно там, где на береговой аккумулятивной форме находятся многочисленные рекреационные заведения или плотная селитебная застройка. Один из таких районов расположен в курортном центре Оушен-Сити, штат Мэриленд, США (Рис. 86).



Рис. 86. Пример многократного запредельного воздействия многоэтажной застройки на природно-антропогенную систему берегового песчаного бара на восточном берегу штата Флорида (США). Освоение берега исключительно дорогостоящее, наносящее очень сильный ущерб (фото Ю. Д. Шуйского).

Почти столетие тому назад данный песчаный бар был динамически стабильным, согласно С. П. Литерману (S. P. Leatherman). В середине XX столетия бар стал интенсивно застраиваться рекреационными строениями и инфраструктурой (гостиницы, мотели,

рестораны, дороги, средства связи и др.). Однако, оказалось, что быстрое освоение берега активизировало размыв берега. Выяснилось, что продукты размыва пляжей уходят на смежный подводный склон. Поэтому решено было установить регулярный литодинамический мониторинг и выделить часть средств от эксплуатации курорта также и на поддержание пляжа в необходимых размерах.

Как и в Ялтинском заливе Черного моря, на Атлантическом берегу Оушен-Сити (Рис. 86), после размыва пляжа производились ремонтные искусственные подсыпки с поверхности прибрежного дна, которое сложено осадочными песчано-гравийными продуктами сноса с Аппалачских гор. На рисунке отсыпанный со дна материал имеет менее светлый оттенок. Это мелиоративное мероприятие полностью обеспечивается финансово и технически, что соответствует рациональному использованию ресурсов данного берега.

Полученные материалы и их анализ на примерах исследований на побережьях Черного и Азовского морей (Мамыкина и др., 1982; Шуйский и др., 1985, 1987; Артюхин, 1989; Айбулатов, Артюхин, 1993) позволяют разработать ряд позитивных экоправил использования подводных и надводных карьеров по добыче наносов (песков, гальки, ракуши и др.) в береговой зоне моря. Они позволяют свести к реальному минимуму ущерб до уровня допредельного. В данном случае используются натурные свойства береговой зоны, необходимые для оптимизации рекреационного природопользования:

а) дозированное изъятие наносов допускается на участках, где развита разгрузка вдольбереговых потоков наносов и аккумуляция наносов;

б) наиболее благоприятными являются такие условия, при которых мощность потока больше его емкости по численным оценкам источников питания;

в) изъятие наносов не может быть больше его естественного накопления;

г) обоснованное дозированное изъятие наносов может быть на берегу и подводном склоне по результатам научных исследований в соответствии с методикой береговедения;

д) ущерб береговой зоне может наноситься добычей наносов по всей ширине вдольбереговых потоков на подводном склоне в случае игнорирования научных рекомендаций;

е) глубина подводного карьера по добыче не должна быть больше мощности слоя волновой переработки на участках разгрузки потоков наносов;

ж) изъятие наносов должно быть обоснованным дозированным и не должно наносить ущерб животным и растениям в береговой зоне;

з) изъятие наносов должно осуществляться по специально разработанному графику, с учетом гидрометеорологических, морфологических и литодинамических изменений в береговой зоне.

В основе сохранения литодинамического равновесия в береговой зоне Мирового океана при промышленной добыче прибрежно морских наносов (с целью изъятия из литодинамического оборота строительных песков, тяжелых минералов, карбонатного сырья и проч.) лежит теория баланса наносов (Шуйский, 1979, 1986, 1992, 2018). Она предусматривает необходимость численного определения приходных и расходных элементов баланса в течение каждого отдельного природного ритма разной продолжительности (по А. В. Чижевскому и М. С. Эйгенсону), когда складывается очередная эволюционная структура окружающих физико-географических условий в береговой зоне. Такой ритм является внутривековым, и он может определять тот или иной тренд литодинамического развития береговой зоны.

В связи с постоянными изменениями отдельных сфер географической оболочки, факторов и компонентов прибрежно-морских систем и климата Мирового океана, любой вид практических приложений береговедения должен учитывать такие изменения, особенно для сооружений II-I классов гарантийного срока эксплуатации («капитальности»). При этом первоочередными, актуальными и практически необходимыми задачами следует, по опыту, считать соотношения между *емкостью* и *мощностью* вдольбереговых потоков и поперечных миграций наносов волнового поля.

Одновременно во время природного обоснования того или иного вида природопользования, в том числе подводного и надводного

изъятия наносов, точно определяются границы потоков. Здесь важно знать длину потоков и миграций, районы зарождения, транзита и разгрузки, ширину и мощность слоя волновой переработки. Данная информация необходима для определения соотношений между количеством добытых наносов и компенсирующем приходах из источников осадочного материала в пределах данной литодинамической системы («ячейки»).

Добыча наносов волнового поля в береговой зоне – это всегда сильное нарушение сложившегося веками режима литодинамического развития. Это всегда серьезный стресс для динамической системы, особенно песчаной в условиях дефицита наносов, который характерен для Черного и Азовского морей. Эта природная особенность требует рассмотрения двух основных исследовательских направлений. Во-первых, влияние добычи на сопредельные застроенные берега и на природные угодья. Во-вторых, влияние на экологические условия обитания водных организмов (особенно – бентосных), которые являются уникальными и не встречаются больше нигде в границах географической оболочки Земли.

Анализ данных направлений позволил выделить несколько вариантов влияния эксплуатации карьеров по добыче на динамику прибрежного рельефа. Последствия такого антропогенного влияния могут заключаться в следующем, согласно натурным свойствам береговой зоны *a—з*: 1) берег начинает разрушаться там, где ранее в естественном состоянии был стабильным или аккумулятивным; 2) берег превращается в динамически стабильный там, где ранее был аккумулятивным нарастающим; 3) активные абразионные и отступающие аккумулятивные берега начинают отступать быстрее, чем до антропогенного вмешательства; 4) на подводном склоне площадь покрытия и мощность слоя наносов начинают сокращаться; 5) если прибрежное дно сложено неконсолированными или слабо сцементированными отложениями, то донная абразия стремится восполнить искусственно изъятые количество наносов путем усиления донной абразии; 6) при добыче наносов волнового поля в любом месте, в любом обоснованном количестве, любого состава, в надводном или подводном состоянии, в пределах разных районов

той или иной литодинамической системы, неизменными остаются гидрогенные условия – волновые, волновых и сгонно-нагонных течений, синоптических и долгосрочных колебаний уровня разной природы, опасных явлений природы.

Анализ эксплуатации подводных и надводных карьеров по добыче наносов в течение XX столетия и исследования баланса наносов волнового поля показал, что в береговой зоне песчаного типа в северной половине Черного и Азовского морей эволюционно сложился острый дефицит наносов. Как правило, размеры пляжей недостаточны для защиты клифов от абразии, а сама добыча происходит либо на немногочисленных подводных реликтовых формах, либо на поверхности «худосочных» пересыпей, кос, баров, террас. В этой связи осмелимся сделать вывод о том, что исследованные песчаные берега Черного и Азовского морей являются неперспективными как районы добычи строительных песков. Такая добыча всегда вредна на данных берегах. Любые подобные намерения должны опираться на долговременные инструментальные исследования на каждом локальном участке с целью комплексного мониторинга по прибрежно-морской методике, а это условие выполнено.

В §§ 6-9 данной книги изложены материалы и их анализ о практических приложениях в береговой зоне моря. Выявлена и описана положительная и отрицательная информация об антропогенном влиянии различных видов природопользования. К сожалению, заметно доминируют отрицательные последствия влияния антропогенного фактора, что заставляет указать здесь на определенные угрозы и риски подорвать полезные природные ресурсы, нарушить хозяйственные объекты, дестабилизировать эволюцию природных систем разного уровня организации, привести к непригодности морской берег, довести его состояние до запредельных повреждений. Поэтому требуются особенно тщательные предпроектные и проектные изыскания на основании точных и длительных инструментальных работ для природного обоснования мероприятий по застройке и использованию природных ресурсов на морских берегах.

В этой книге *риском* при освоении природных ресурсов любого вида в береговой зоне мы называем вероятные в будущем

обстоятельства, которые обещают причинить потери, вред, разрушения и всего того, что сопровождает данные последствия. Рискам предваряются *угрозы*, от которых проистекает опасность со стороны застройки и необоснованного использования природных ресурсов, любых видов природопользования, согласно адаптированным в науку и практику определениям. Подобные подходы были согласованы и одобрены участниками международной научной конференции «Природные и природно-техногенные риски в береговой зоне морей» 7-11 сентября 2008 г. в Одессе под председательством Б. В. Буркинського и Г. Л. Коффа.

В общем, эта конференция отобразила практически все аспекты проявления природных и природно-антропогенных рисков и угроз в континентальных («ландшафтных») системах географической оболочки Земли. Тем не менее, они позволили выявить, сформулировать и обосновать риски и угрозы, исходящие от профессионально необоснованного природопользования в сложных прибрежно-морских («аквашафтных») системах на экзогенном контакте между Сушей и Океаном (Шуйський и др., 2021 б). Общая типизация предусматривает несколько типов рисков и угроз для береговой зоны.

1) Как было показано (§ 3-9), с глубокой древности на берегах строятся причалы, порты, жилые дома, предприятия, объекты инфраструктуры и проч. При этом нарушается рельеф побережья, появляются искусственные положительные и отрицательные формы рельефа. Одновременно возникает новая и исчезает естественная растительность, также животные, нарушаются ассоциации, меняется почвенный покров и состав наносов, нарушается режим грунтовых вод, физико-химические свойства осадочных пород и др. Если рельеф нарушается произвольно, необосновано, то складывается риск потерять постройки и возникает угроза качеству природных ресурсов.

2) При застройке побережья часто возникает риск потери определенной площади берега вместе со строениями на участках активной абразии, развития абразионно-обвальных, абразионно-оползневых, абразионно-денудационных и других типов клифов, развития механической, химической, биогенной и иных видов абразии. В этих случаях строительство поселений, экономических, социальных и

рекреационных объектов, морских портов и судоходных каналов надо согласовывать со скоростями и типами абразии, особенно в условиях современного изменения климата и климатологических долговременных изменений уровня морей. Рекомендуется следовать опыту предков: не подставляться под эти угрозы и не рисковать сохранностью застройки и качеством природных ресурсов, не выдвигать постройки близко к морю.

3) До настоящего времени во многих странах, в том числе и на Украине, государственные службы охраны природы и рационального использования природных ресурсов не имеют необходимой физико-географической квалификации организации территории и антропогенной трансформации угодий в береговой зоне моря. Поэтому принятые решения, основанные на экологической парадигме, не соответствуют природным факторам и условиям береговой зоны моря. Чаще всего так бывает при разработке и осуществлении проектов берегозащиты, взаимовлияния портовых сооружений с естественными берегами, при расчетах гарантийного времени эксплуатации сооружений, определении элементов комплекса пассивных и активных гидротехнических сооружений и проч., особенно на участках влияния усиленного действия гидрогенного фактора. В итоге гидротехнические сооружения разрушаются, портятся, морские берега подвергаются усиленному уничтожению, становятся «замусоренными» битыми осколками и непригодными для рационального природопользования (Рис. 63, 70).

4) Расположение населенных пунктов со всеми коммуникациями, инфраструктурой и промзонами непосредственно на деструктивных берегах. Особенно, если одновременно поселение попадает под сильное и частое влияние загрязнения прибрежных вод и не имеет более или менее надежного водоотведения в процессе водопользования. Бытовые и промышленные стоки сбрасываются в море, даже неочищенные. А это негативно сказывается на балансе биологических ресурсов, на состоянии моллюсков как «санитаров моря», на личинки и икру водных животных, в т.ч. и кормовых, на разные виды водорослей. Особый вред наносится моллюскам как биогенному источнику наносов, скажем на Азовском море.

5) Данную угрозу создает влияние сгонно-нагонных и ледовых явлений на очень отмелых участках береговой зоны (средние уклоны прибрежного дна 0,005–0,12). Здесь волновое влияние оказывается ослабленным, но зато включается нагонный подъем уровня, подчас до 3-5 м, как например в Каркинитском заливе Черного моря и Таганрогском и Утлюкском заливах Азовского моря. Это явление значительно усиливает разрушение глинистых, песчаных, лессовых клифов и бенчей. При условии образования льда, особенно мощного во время суровых зим, создается угроза механического разрушения («ледового среза») рыбацких построек, маяков, береговых дач и пр. Поэтому требуется такое хозяйственное освоение, которое позволит избежать рисков потерь и угроз постройкам, особенно при быстром относительном повышении уровня моря под влиянием долговременного изменения уровня моря.

6) В условиях низкого берега на непривливых и приливных морях в районах высоких широт и развития ледового покрова во время ветровых нагонов часто бывают горизонтальные подвижки льда. Лёд напоззает на берег, перепахивает аккумулятивные формы и скабливает скальную поверхность, в частности, на части берегов Черного и Азовского морей. Этот процесс особенно опасен на приливных берегах субполярных и полярных широт. Возникают риски для работы сооружений (маяков, световых и радио-знаков, трубопроводов, кабелей связи и проч.) и угрозы их сохранности.

7) Повышенные риски создают опасную угрозу для низких берегов, подверженных влиянию сильных ветров, действующих со скоростями ≥ 25 м/с, и даже ≥ 30 м/с, особенно, если доминируют ветры от морской стороны горизонта. Такие скорости могут встречаться также на берегах Черного и Азовского морей. Соответственно, на низких берегах, например, аккумулятивных форм (террас, баров, кос, пересыпей и др.) может развиться штормовое затопление берега морской водой, происходит подтопление многих строений различного назначения, сельскохозяйственных угодий, лесов, садов, дорог и др. Особенно часто такие угрозы реализуются в районах активного действия тропических ураганов.

8) Очередная угроза возникает на берегах, где исторически складывается острый дефицит наносов. Она исходит от необоснованного

изъятия наносов на строительные и другие нужды хозяйства там, где и без того имеется недостаток наносов, а берега чаще всего испытывают активный размыв. Используются качественные наносы с пляжей, береговых дюн, с подводного склона в пределах действия гидрогенного фактора. На Черном море классическими примерами являются районы Кавказского берега между устьями рек Туапсе и Псоу, на Крымском берегу между мысами Лукулл и Евпаторийский, вдоль северо-западного берега между м. Большой Фонтан и Жебриянской бухтой. В этих районах произошел запредельный антропогенный подрыв баланса наносов, чем нанесен долговременный ущерб приморским территориям.

9) Реальная угроза исходит от нарушения режима развития вдольбереговых потоков наносов различными формами антропогенного рельефа. Они могут быть представленными глубокими суходоходными каналами, оградительными молами, карьерами по добыче наносов и др. При этом создается риск сохранности соседних участков береговой зоны, которые начинают подвергаться низовому размыву, разрушению береговой территории, бывает, на протяжении десятков километров. Поэтому проектирование каждого такого сооружения требует обязательной проработки подобных угроз.

10) Особую угрозу для природы береговой зоны и рациональной застройке в её надводной и подводной частях представляют самозванные «эксперты», «советники» и «консультанты». Обычно они не представляют себе длительной эволюции береговой зоны, закономерностей морфологии и динамики берегов, взаимодействия и взаимовлияния прибрежно-морских факторов, элементов и компонентов. Этим лицам присуще исключительно высокое самомнение, сильная «таранная» способность характера, но одновременно – минимум знаний, умений, опыта, квалификации. Как правило, они не разбираются в специальной береговедческой литературе, не владеют соответствующим понятийным аппаратом, терминами, определениями, практически не владеют комплексным физико-географическим мышлением. В подавляющем большинстве случаев их «рекомендации» и «советы» приводят к неудачам, нанесению ущерба природным ресурсам и самой застройке.

§ 10. СТРАТЕГИЯ ЗАСТРОЙКИ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ МОРЯ

Тщательный многолетний анализ различных рисков и угроз, опыт автора, имеющиеся материалы и выводы способствовали разработке основ стратегии рациональной застройки береговой зоны морей и океанов (Shuisky, Schwartz, 1988; Shuisky, 1992; Шуйский, 2001). Она разработана на основании комплексной теории географической отраслевой науки «береговедение» и физической географии вообще.

Застройкой, по С. И. Ожегову и по БСЭ, называют занятие различными постройками какого-либо участка в пределах географической оболочки Земли. При этом осталось неясным, где находится участок, на суше или в море. Сегодня застройку производят также и на дне моря, в т. ч. и в береговой зоне моря. Поэтому определение С. И. Ожегова нами дополняется: «...участка на суше и на дне моря». В этой связи применение данного термина в данной монографии вполне логично.

Застройка приводит к двум основным последствиям. Во-первых, к нарушению природного режима и деструкции элементов, компонентов береговой зоны и их гармоничного взаимовлияния, что обуславливает потери полезных для человека свойств природной системы. Во-вторых, она приводит к нарушению эксплуатации самого сооружения, к конечному выходу его из строя действующих и даже полному уничтожению во время сильных штормов, в том числе и под влиянием процессов абразии и отступления берега. В береговой зоне любая застройка должна быть оптимальной и основываться на научных основах береговедения и общей теории физико-географической науки. Здесь уместен один из постулатов физической географии: природа не терпит перегрузки и не может выдержать сверх того, что она может выдержать.

Общие замечания. К концу XX столетия от Р.Х. оформилась научная дисциплина, получившая название «береговедение», которая приобрела информационное обеспечение, методику исследований, разветвленную сеть теоретических положений, общенаучный

фундамент, практические приложения, испытала структурную дифференциацию, укрепила связи с отраслевыми географическими и фундаментальными науками. Она исследует структуру, факторы, процессы, объекты и элементы береговой зоны Мирового океана с целью познания закономерностей строения и развития, взаимодействия с сопредельными природными системами, а в конечном итоге – все это используется для достижения оптимального природопользования. Поэтому на протяжении минувшего столетия накопился опыт, который позволил, в числе решения других проблем, сформулировать основы стратегии строительства в береговой зоне как своеобразный итог развития береговедения в XX веке.

Подведение названного итога производится нами на примере достаточно полно изученной береговой зоны Черного и Азовского морей и соответствующих практических приложений. Поскольку закономерности развития береговой зоны любого подразделения Мирового океана являются подобными (Зенкович, 1962; Зенкович и др., 1967; Леонтьев и др., 1975; Шуйский, 1986, 2000 а, 2018), то разработанные основы стратегии строительства могут быть применимы для береговой зоны Мирового океана в целом. Именно с таких позиций и рассматривались результаты, полученные ранее и изложенные в §§ 3-9 данной книги.

В Украине первые результаты обобщения материалов береговых исследований, позволяющих сформулировать стратегические нормы хозяйственного освоения природных ресурсов береговой зоны, были приведены на международном конгрессе «Морские города '95» в Монако в докладе автора в 1995 г. Обоснование стратегических норм и правил было доложено на международной научной конференции «Литтораль'95» в Нанте (Shuisky, 1997) и на региональном научно-техническом совещании в Одессе в областной госадминистрации в 1998 г. Практическая применимость в курортном строительстве на морских берегах с позиций разработанной стратегии изложена в работе (Шуйский, 1999). Следовательно, имеются серьезные наработки по данной теме, которые и излагаются ниже в качестве своеобразного краткого итога исследований в предыдущем столетии и открывающем путь в XXI век, с учетом материалов предыдущих параграфов.

Береговая зона морей и океанов обладает такими особенностями структуры, направления и интенсивности развития, которые отличают её от всех остальных природных систем на Земле (Лонгинов, 1963; Шуйский, 2018). Такая особенность требует и соответствующего, особого подхода к освоению ресурсов и застройке разных видов в береговой зоне. В этой связи и на основании опыта в пределах данной зоны на разных морях и в разных физико-географических условиях была сформулирована система стратегических мероприятий и подходов, состоящая из 16 основных условий и правил. Она включает информационное обеспечение строительства, географическую локальность каждого участка береговой зоны, соответствующую методику анализа информации, достижение гармонии между природной системой и строительными объектами и т.д. Комплексное, многоотраслевое физико-географическое освоение береговой зоны представляется нерациональным, как это может показаться необычным. Вид хозяйственной деятельности должен соответствовать индивидуальным природным чертам и особенностям, чтобы сохранить полезные свойства природных ресурсов. В основе всех мероприятий по хозяйственному использованию должно находиться информационное обеспечение, преимущественно и в первую очередь натурным материалом о факторах, процессах, объектах и закономерностях развития природы в течение различных уровней времени в береговой зоне. Обязателен учет закона географической локальности и закона окружающего влияния (Шуйский, 2018, 2019).

Изложенный подход представляется универсальным, применительно к береговой зоне всего Мирового океана. Вместе с тем, в равной мере он применим и к берегам Черного и Азовского морей, но с учетом локальных и региональных палеогеографических, гидродинамических, морфодинамических, литодинамических особенностей. Процессы абразии и отступления береговых линий приводят к утрате существенных площадей берега. Подсчеты по средним многолетним значениям скоростей отступления и длины отступающих участков показали, что территория Украины ежегодно теряет ≈ 65 га прибрежных земель. Однако, если учитывать экстремально штормовые годы, когда приток волновой энергии превышает средний в

несколько раз, то возможны потери до 203 га/год (Шуйский, 2000 б). В течение спокойных, штилевых годов, с сильным уменьшением штормовой активности потери земель бывают не ниже 38 га/год. Здесь особенно важно, что, вместе с береговой территорией, полностью разрушаются, выходят из строя или нарушается работа и береговых хозяйственных объектов, построек, поскольку абразионное разрушение обозначает безвозвратный процесс. Опыт показывает, что потери неотвратимы и весомы. По подсчетам 1995 г., по программе НАМИТ КабМина Украины «Экология моря» (проект БЕРЕГ), прямые и косвенные потери от деструктивной деятельности морей в береговой зоне (территория Украины) составляли более \$2 млрд в год. Их можно было бы в значительной мере избежать, а потому и возникла необходимость в разработке и формулировке основных черт и правил стратегии строительства в береговой зоне морей. Для этого прежде всего следует напомнить определение понятия «береговая зона моря» (см. § 3) на примере береговой зоны Черного моря на южном обрамлении Причерноморской низменности и прилегающей акватории.

Определение береговой зоны в стратегии застройки. Резкий рост интереса ученых и практиков к берегам морей на Украине произошёл в 70-80-х годах XX века. Причем, со стороны самых разных отраслей географического знания. Впервые столкнувшись с относительно новым географическим объектом и не имея необходимой профессиональной подготовки, большинство их стало использовать произвольную, разнообразную терминологию, понятия и определения. На Украине значительный диссонанс внесло заимствование неправильного перевода с иностранных языков. Поэтому сейчас значительным числом специалистов в массовом количестве применяются такие формулировки, понятия и определения, которые весьма далеки от исторически сложившихся, имеющих генетическую основу и введенные в оборот основоположниками береговедения (Зенкович, 1946, 1962; Bird, 1985; Walker, 1988; Шуйский, 2019). В результате создалась путаница, на уже «занятые» термины «вешаются» другие, да не по одному. Понятийный аппарат теряет совершенство. Языковой смысл слов нарушается. Поэтому острую актуальность

приобрело правильное применение понятийного аппарата, исходя из генетических особенностей и структуры природных систем (в т.ч. береговой зоны), источников и расходования энергии, распределения и параметров потоков вещества, согласно общегеографическим принципам (Григорьев, 1966; Исаченко, 1979; Гродзинский, 2006).

Береговедение как комплексная междисциплинарная наука в составе географии сформировалось в начале XX века, благодаря трудам Д. Джонсона, С. Пассарге, П. К. Божича, Б. Ф. Добрынина, В. П. Зенковича, А. Гильшера, Ф. Шепарда, Д. Г. Панова и других исследователей. Они, их ученики и последователи, создали совершенный понятийный аппарат. Понятия, определения, методика, подходы и принципы сформулированы, они вошли во все основные географические учебники, справочники, словари, энциклопедии (§ 3).

Происхождение береговой зоны Мирового океана и его подразделений обусловлено географическим положением её на контакте между сушей и Океаном. Возраст этой природной системы, в том числе на Черном и Азовском морях, оценивается как голоценовый: в конце плейстоцена уровень находился в общем ниже современного на несколько десятков метров. Затем, преимущественно под влиянием тектонических процессов, перестройки водного баланса и последовавшей голоценовой трансгрессии, оказались затопленными обширные площади прибрежной суши, стали вырабатываться профильные формы, положившие начало подводному склону и берегу.

Около 4000-5000 лет назад уровень в общем стабилизировался на отметках, близких современным. Рельеф максимально приблизился к современному, включая контуры береговой линии и изобат подводного склона, рельеф и уклоны прибрежного дна, количество и состав наносов, линейные и объемные размеры аккумулятивных форм, включая пляжи, параметры абразионных форм, количество, свойства и продуктивность источников питания наносами и прочее. Со времени относительной стабилизации уровня, на фиксированных батиметрических отметках максимально усилилось активное взаимодействие суши и моря, с участием гидросферы, атмосферы, литосферы, биосферы, а позже – и с участием антропогенного фактора. Имеющаяся глобальная информация свидетельствует

(Зенкович и др., 1967; Никифоров, 1977; Айбулатов, 1990, 2005; Каплин и др., 1991), что природная система береговой зоны, в значительной своей части, приобрела черты относительного равновесия, т.е. определилась её структура и процессы взаимодействия со смежными системами Океана и Суши. Хотя при этом береговая зона очень чутко реагирует на относительные колебания уровня моря.

Основным источником энергии, который обеспечивает развитие береговой зоны, является Мировой океан. Его поверхность трансформирует солнечную энергию, энергию ветра и притяжения планет и звезд, внутриводную энергию в энергию морских волн. В отличие от надводной поверхности материков и островов, где господствует рассеяние световой, тепловой, химической, гравитационной и иной энергии, волновая энергия (преимущественно – ветровых волн) является механической. Она собирается на всей громадной акватории океанов и морей; где бы это ни было, как бы далеко от берега ни зарождались волны, но они всегда приходят к берегу. И здесь, в узкой полосе береговой зоны, на контакте «суша–море» происходит разгрузка энергии волн. В результате создается своеобразный «кумулятивный эффект», а потому концентрация механической энергии оказывается настолько велика, что её действие с лихвой подавляет следы влияния всех остальных видов энергии. Такая ситуация создает очень высокую динамичность элементов береговой зоны и столь же быструю реакцию последствий антропогенного влияния, в том числе – и последствий строительства, любого антропогенного влияния.

Вот почему в очень динамичной среде, какой является береговая зона морей, в общем второстепенными, а часто – несущественными, являются химические, термические, гравитационные и прочие «неволновые» процессы, хотя они действуют повсеместно и наряду с механическими, а в числе компонентных типов абразии называют хемогенные, биогенные, гравитационные и др. Чем сильнее волновое влияние, тем сильнее подавленными выглядят следы действия других видов энергии, и наоборот.

Конечно, в тех регионах, где волновое влияние по разным причинам ослаблено, в структуре и направленности развития береговой

зоны неволновые факторы и процессы могут иметь существенное, даже – ведущее значение (Сафьянов, 1978, 1987 а). Вот почему изучение береговой зоны наиболее эффективно при комплексном географическом подходе, который был положен во главу угла основоположниками береговедения и который обеспечивает наибольшую полноту и достоверность конечных результатов. Все остальные подходы (геологический, экологический, технический и др.) являются неполными и не могут обеспечить комплексность исследований и успех различной застройки в разных береговых регионах.

Изложенные черты формирования системы береговой зоны дают возможность определить её границы (Рис. 26, 33). Они обусловлены средой разгрузки механической энергии морских волн. В соответствии со структурой и механизмами трансформации и разрушения волн, внешняя (со стороны моря) граница находится на прибрежном дне на глубинах, равных от $1/2$ до $1/3$ длины штормовой волны, в зависимости от окружающих условий (Зенкович, 1962; Шуйский, 2000 б). Однако, наиболее эффективное влияние волн сказывается обычно не глубже 25 м даже на океанических участках с высоким энергетическим потенциалом, по данным обильных материалов исследований П. Брууна и В. Баскома. В основу обоснования различных видов практических приложений нами положено, что со стороны суши (внутренняя) граница береговой зоны оконтурена линией максимального штормового заплеска прибойного потока во время наиболее сильного шторма, сопровождаемого исключительно высоким ветро-волновым нагоном на низких берегах и участках расположения аккумулятивных форм. На абразионных участках – это верхняя кромка активного клифа. На приливных морях проникновение прибойного потока распространяется еще дальше вглубь суши под влиянием высокой воды прилива. Таким образом, береговая зона является «земноводной средой»; она включает «берег» (надводную часть) и «подводный склон» (подводную часть), которые разделены средним уровнем моря, но всегда активно взаимодействуют между собой.

Как можно видеть, в состав береговой зоны входит часть суши и часть моря одновременно. Они объединены действием единого

источника и вида энергии, единой системой потоков вещества. В её составе можно обнаружить элементы суши, элементы моря, но господствующее положение занимают элементы третьей категории, которые являются результатом взаимодействия различных сфер географической оболочки и не имеют аналогов ни на материках, ни в Мировом океане (Шуйский, 2015 а, 2017 а, 2021 б). Поэтому методологически неверно отождествлять береговую зону с «приморской территорией» или с «прибрежной акваторией». Берег и подводный склон – это единая неразрывная система, в которой все процессы тесно взаимосвязаны, в которой существует генетически единая структура, единые виды потоков энергии и вещества, сформировалась устойчивость процессов взаимодействия с Океаном и Сушей. Такой подход также учитывался при разработке основ стратегии строительства в береговой зоне.

Однако, активный интерес к береговой зоне со стороны геологов, биологов, химиков, математиков, историков, администраторов, менеджеров, представителей других специальностей нередко приводит к искажению уже утвердившегося и давно занятого понятия «береговая зона». Они стали называть береговой зоной прилегающие к морю территории островов и континентов, прилегающие к суше акватории или участки морского дна. Например, экономисты, менеджеры и социологи называют береговой зоной вообще территорию приморских административных районов или областей, не понимая при этом, что границы этих районов и областей каждый раз перекраиваются. Некорректным также представляется проводить санитарную границу «береговой полосы» в 0,5 км, 2 или 3 км от моря, – для этого существуют четкие естественные критерии, связанные со структурой береговой зоны и побережья. Нецелесообразно береговую зону со стороны суши оконтуривать бассейнами рек или горными хребтами. И уж совсем невежественным воспринимается произвольное проведение границ. В данном случае более соответствующими запросам анализа производственно-территориальных комплексов или характеристике антропогенных загрязнений моря и суши могут быть термины *приморские* или *береговые территории* (*coastal (seaside) territories*) или *прибрежные акватории*

(*offshore aquatories*). Это в равной мере необходимо для понимания природных основ стратегии строительства в береговой зоне.

Здесь целесообразно было бы напомнить о природных процессах происхождения, формирования, о структуре, о современных факторах и режиме развития береговой зоны, об особенностях антропогенного влияния в береговой зоне моря и на побережье в целом. Однако, об этом достаточно информации содержится в § 3, частично в других частях книги. Поэтому, для сокращения объема, здесь не будем еще раз помещать эту информацию. Если же её все же покажется недостаточно, то сошлемся на работы (Зенкович, 1946, 1962; Леонтьев и др., 1975; Каплин и др., 1991; Шуйский, 2000 б, 2018).

Теперь обратимся к изложению элементов стратегии застройки и принципов рационального использования природных ресурсов в береговой зоне морей.

Элементы стратегии строительства в береговой зоне. Опыт исследований показал, что на относительно стойких и динамически стабильных берегах, которые практически несущественно изменяются морем, строительство не вызывает негативных последствий в пределах той или иной литодинамической ячейки. Благодаря геологическому строению, физико-механическим свойствам пород разного происхождения и возраста, значениям волноэнергетического потенциала, запасам и свойствам прибрежно-морских наносов, на таких берегах средние скорости абразии клифов и их отступания не превышают максимальных значений $0,2 \text{ м/год}$. Скорости донной абразии составляют первые мм/год . Поэтому наибольшее значение элементы стратегии строительства имеют на более динамичных участках береговой зоны строительства имеют на более динамичных участках береговой зоны (сложенных малопрочными и неконсолидированными породами и отложениями), где соответственно очень быстрой и глубокой является реакция на любое антропогенное возмущение, в том числе – и на застройку.

Информационное обеспечение. Любой вид освоения береговой зоны, а в первую очередь – строительство, предварительно обосновывается информацией об окружающей природе. Цель обоснования состоит в оценке структуры, соответствующего изменения

природной системы, механизмов изменения, в условиях дальнейшей эксплуатации построенного объекта. Поэтому начальным звеном принятия стратегических решений является информационное обеспечение планирования и менеджмента, на основании уже имеющихся данных и многолетнего мониторинга гидродинамических, морфодинамических, литодинамических и неволновых факторов, процессов и объектов.

Соответствие методов исследования уровню организации природных систем. Природная система в целом и ее части (район, «ячейка», участок) в береговой зоне, будучи связанной с соседними системами и обладая собственной структурой, испытывает изменения во времени. Каждая система занимает определенную площадь, определенное пространственное положение и границы, с наибольшей полнотой реагирует на природный ритм определенной продолжительности и определенную силу импульса. Для такой системы более сильный и продолжительный ритм является фоновым, а менее сильный и продолжительный составляет один из важнейших элементов структуры и является составной частью. В первую очередь каждый ритм избирательно действует на свою «собственную» систему определенного масштаба (ранга), на определенные прибрежно-морские таксоны. Такое пространственно-временное единство создает тот или иной уровень организации береговых систем.

Следовательно, уровень организации определяет выбор методики исследования и обуславливает степень достоверности полученных с ее помощью результатов. Поэтому нельзя применять методику исследования длительных эндогенных природных процессов (например, геологического масштаба) к процессам кратковременным, экзогенным, с продолжительностью действия одного шторма, одного сезона, года или десятилетия. Методика изучения механических процессов непригодна для изучения химических, термических или гравитационных факторов, процессов и явлений, для элементарных и сложных береговых комплексов.

Диагноз для системы в целом. Береговая зона состоит из совокупности вдольбереговых литодинамических систем («ячеек», их таксонов) разных типов. Каждая ячейка представляет собой цельный,

единый «живой» организм, в пределах которого все механические процессы тесно взаимосвязаны. Антропогенное возмущение в одной части ячейки откликается полностью в ней, благодаря тесным энергетическим и литодинамическим связям. Чем сильнее возмущение, тем сильнее и продолжительнее оно действует на все более отдаленные элементы ячейки. Поэтому предпроектные исследования и инженерные изыскания для какого-нибудь строительства являются оптимальными тогда, когда они производятся не только на маленьком участке строительства в береговой зоне (скажем, в целях удешевления проекта), но обязательно в пределах всей литодинамической ячейки в целом. Для определения степени влияния сооружения на природу береговой зоны и влияния природных сил и факторов на ход эксплуатации сооружения (любой постройки) в будущем, следует иметь достаточно полное представление о проявлении и взаимодействии природных процессов в границах всей вдольбереговой литодинамической ячейки, для всех таксонов, – ведь участок строительства занимает ее мизерную часть.

Многофакторность развития и комплексность изучения.

Береговая зона в целом и ее составные части приурочены к контактной среде между Сушей и Океаном. Поэтому, как уже было отмечено, она несет в себе природные черты, элементы и компоненты: а) Суши; б) Океана; в) смешанные, как нечто третье, производное от взаимодействия этих черт, элементов и компонентов. Береговая зона как динамическая система развивается в едином поле влияния механической энергии морских волн (с участием иных видов энергии) и седиментационных потоков вещества. Значит, надводный берег и подводный склон моря являются главными составляющими береговой зоны; они должны рассматриваться в генетическом единстве, неотрывно, только совместно. Здесь с исключительно высокой интенсивностью и одновременно взаимодействуют факторы, силы, процессы и объекты атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы, с участием антропогенного фактора. Вот почему природное обоснование любого строительства в береговой зоне должно учитывать энергетическое поле и потоки вещества соответствующей природной среды и быть комплексным, с учетом факторов всех сфер географической оболочки.

Достаточно высокое качество исследований, планирования, управления и использования ресурсов в береговой зоне достигается теми специалистами, которые одновременно квалифицированы во всех указанных географических факторах, процессах, компонентах и объектах. Если не учитывать многофакторность развития береговой зоны, то очень быстро сооружения, например, берегозащитные, выходят из строя и разрушаются под влиянием штормов (Рис. 87).



Рис. 87. Этот абразионный глинистый берег был выбран для строительства большого курортного комплекса на западном берегу Крымского п-ова (Черное море). Данное гидротехническое сооружение должно было защитить берег (вместе с комплексом) от абразионного разрушения, однако, было выполнено непрофессионально, а потому разрушилось до того, как началось строительство комплекса, и оказалось бесполезным и затратным.

Приоритет натуральных исследований. Выполнение строительства в береговой зоне осуществляется как вторжение инородного тела в многокомпонентную природную эволюционирующую систему и создает внезапное нережимное антропогенное возмущение. Поэтому самого лучшего качества, достоверности и комплексности информация получается в результате прямого натурального наблюдения,

измерения и эксперимента непосредственно в береговой зоне. Именно такой информацией оптимизируются природопользовательские решения, обеспечивается оптимальное размещение, техническое решение и эксплуатация строительного объекта по признакам техническим, санитарно-гигиеническим, экологическим, экономическим, эстетическим. Лабораторный эксперимент, логическое, математическое, гидравлическое и иное моделирование, применение ГИС-методики могут выступать в качестве вспомогательного средства или для дополнения натурной информации. В связи с принципами и положениями закона географической локальности, применять принцип аналогий нецелесообразно, хоть и возможно.

Географическая локальность участков береговой зоны. Как и любая другая природная система, береговая зона характеризуется собственной структурой. В качестве основной структурной единицы выступает вдольбереговая литодинамическая ячейка. Каждая из множества ячеек разных типов характеризуется индивидуальной естественной историей возникновения и развития, морфологией, динамикой, гидродинамическим режимом, балансом наносов, проявлением и формами неволновых факторов, а, следовательно, индивидуальным направлением и интенсивностью развития, взаимодействием со смежными системами и ячейками, генетической структурой (Шуйский, 2019). Множество различных прибрежно-морских объектов, элементов и компонентов аквашафтных систем создают сложнейшее генетическое разнообразие, что диктует собой отдельные целенаправленные подходы к ним.

Аналогичные закономерности имеют место в пределах любых природных систем любого уровня организации не только в береговой зоне, но также на суше и в океане. Выводы о взаимодействии природных и антропогенных факторов и процессов в одной ячейке не могут быть корректными применительно к другим ячейкам, согласно закону географической локальности (Шуйский, 2017 а, 2019 а, 2021 б).

Перспективы строительной деятельности. Природные механические процессы трендового характера в береговой зоне протекают относительно медленно, например, по сравнению с атмосферными и динамическими в океане. Поэтому накопление достоверной численной

информации в природных условиях является также длительным и требует одного 11-летнего ритма (ритмы Вольфа) солнечной активности и по половине такого же ритма для стыковочных до исследуемого и после исследуемого, т.е. в сумме – по крайней мере, до 20 лет. Но такая длительность не устраивает проектировщиков и строителей, которым по проектному заданию чаще всего отводится до года на натурные изыскания и проработки, поэтому сроки инженерных изысканий весьма ограничены. Тем не менее, имеются перспективные планы мест и сроков строительства, проработки на будущее. Всегда нужно иметь «под рукой» данные упреждающих инструментальных стационарных исследований. С их учетом и следует проводить заблаговременные, упреждающие наблюдения, исследования, измерения, чтобы к моменту строительства уже располагать нужной численной информацией о морфологии и динамике береговой зоны в пределах той или иной литодинамической ячейки. Следует располагать длительными исследованиями для применения метода математической статистики. Чаще всего именно такие материалы позволяют разработать достоверный прогноз для застроенного берега.

Соблюдение целей и задач строительной деятельности. Любое строительство в береговой зоне морей должно отвечать целям и задачам, с которыми оно производится. И нельзя от него требовать большего, раз проектирование было грамотным, квалифицированным, на основании достоверного материала изысканий, моделирования и расчетов, с учетом свойств береговой зоны, ее структуры, морфологии и динамики. Все остальное будет излишним, нерациональным. Такой путь застройки важен особенно в будущем, в условиях меняющейся природной ситуации. Вместе с тем, реакция природы на влияние того или иного строительного объекта может быть самой разной в такой ситуации, особенно – когда не имеется численной информации о прибрежно-морских процессах, полученной в течение оптимальной длительности времени. В результате может возникнуть побочный эффект, часто негативный. Поэтому планирование, строительство и эксплуатация объекта требуют проработки возможностей проявления побочных эффектов в границах разных литодинамических ячеек и в различных физико-географических условиях. Каждое сооружение того или

иного типа и размера, определенного строения, образованное по определенному материалу научных исследований, расположенное строго на определенном месте имеет соответствующее определенное назначение и не может выполнять другие функции, что следует учитывать в процессе эксплуатации такого сооружения в течение гарантийного периода, того или иного уровня капитальности.

Многофункциональность строительных объектов. Опыт показал, что различные сооружения в береговой зоне являются наиболее рациональными и эффективными тогда, когда они в состоянии выполнить две и более функций. Например, берегозащитные сооружения предназначены для остановки разрушения и стабилизации берегов. Но одновременно надо стремиться выбрать такую их конструкцию, которая также насыщала бы накопленными наносами защищаемый участок берега, создавала бы новый пляж или увеличивала бы размеры существующего, уменьшала бы силу действия морских волн, сохраняла бы биоценозы, сохраняла бы устойчивость аккумулятивных форм, очищала бы воду от загрязняющих веществ, обеспечивала бы комфортность среды проживания человека. Хотя такой перечень в одной точке и на одном сооружении нереален, как утверждал Д. Х. Уокер (Walker, 1988), тем не менее, например, в районе внешних сооружений морского порта Южный такое защитное сооружение создано (Шуйский, Выхованец, 1989; Шуйский, 1990; 2019 а).

Учет отступления морского берега. В соответствии с природным состоянием береговой зоны в прошлом и настоящем, степенью современного антропогенного влияния на нее, большинство береговых линий Мирового океана, в том числе Черного и Азовского морей, претерпевают регулярное отступление (Шуйский, 1986, 2000 б). Соответственно, строительство и застройка в целом должны производиться с учетом скоростей абразии и отступления берегов, с одной стороны, и классом капитальности здания, фундамента или сооружения, с другой стороны. Если сооружение в береговой зоне имеет гарантийную сохранность (т.е. класс капитальности), равную 25, 50 или 100 лет, то его целесообразно располагать на таком расстоянии от разрушающегося берега, которое обеспечило бы его недосыгаемость для абразии в течение гарантийного периода. В данном случае главным исходным

показателем является инструментально установленная средняя скорость абразии в течение того времени, которое установлено перспективами строительной деятельности (см. § 3, 7, 9). Сооружения и коммуникации на подводном склоне моря должны строиться с учетом скоростей донной абразии и величин вертикальных деформаций донного рельефа во время крайних экстремальных штормовых ситуаций; они также определяются инструментально путем длительных стационарных измерений в течение оптимальной длительности времени. Не рекомендуется застраивать оползневые склоны, как это делается на оползневых участках в северной части Черного и Азовского морей (Рис. 88). В соответствии с многолетним режимом развития абразионно-оползневых склонов, разрушение селитебной и рекреационной застройки чаще всего происходит до истечения гарантированного срока капитальности построек (Шуйский, 2001; 2010).



Рис. 88. Высокий абразионно-оползневой берег Черного моря, укрепленный траверсами, волноломами, бунами, каменной наброской. Слева на ближнем плане – гавань для маломерных плавсредств, вдали – мыс Большой Фонтан, берег на территории Одессы (фото Ю. Д. Шуйского).

Не создавать лишних проблем. В пределах различных вдоль-береговых литодинамических ячеек бывают участки с разной устойчивостью и динамичностью, в зависимости от конкретно существующих физико-географических условий и соответствующей структуры. Для строительства и хозяйственного освоения вообще следует тщательно подбирать лишь благоприятные участки, с точки зрения их морфологии, внутренней структуры и многолетней динамики, на основании необходимой информации по данным многолетних маршрутных и стационарных исследований. Поэтому повсеместная и сплошная застройка береговой зоны представляется нерациональной, как например на пересыпи Днестровского лимана, на Лагерной косе, между корневыми частями кос Тендровская и Джарылгач и др. Следует избегать строительства на заведомо очень неустойчивых и динамичных участках, с высокими скоростями береговой и подводной абразии, большими амплитудами плановых и высотных деформаций берегового рельефа. Именно тогда создаются «лишние» проблемы, которых можно было бы избежать, если руководствоваться достоверной надежной информацией.

Природа тоже должна отдыхать. Из предыдущего элемента стратегии следует: для уменьшения антропогенного пресса на береговые системы не рекомендуется осваивать и вводить в активный хозяйственный оборот сплошь всю береговую зону сразу в пределах той или иной литодинамической ячейки. В качестве своеобразного резервного «природоохранного коридора» в среднем примерно до 30-40% длины берега должно оставаться естественным, незастроенным, использоваться как парки, заповедники или пешеходные зоны. Особое внимание следует уделять природным микросистемам на береговых склонах, где распространены и еще сохраняются уникальные «островки» температуры и увлажнения, почвенные образования, ассоциации растений и животных. В данном случае рациональным является тот же принцип природопользования, который соблюдается в сельском хозяйстве при выделении земли «под пар».

Не подрывать экологические свойства. Благодаря своей динамичности, высокому волноэнергетическому потенциалу, видовому

биологическому разнообразию, пограничному положению между морем и сушей, «земноводной» структуре, береговая зона обладает повышенной способностью ассимилировать и нейтрализовать загрязняющие вещества, поддерживать экологические свойства, сохранять устойчивость условий обитания специфических живых организмов на контакте «Суша–Океан». Но в течение минувших десятилетий проявилась тенденция перемещения ряда сооружений в море, подальше от берега. Такими сооружениями являются портовые и иные молы, эстакады, судоходные каналы, искусственные острова и террасы, территории различного назначения, свалки грунта и прочее.

Соответственно, «линия фронта» активной деятельности человека перемещается в сторону моря, надвигается на все более чистые акватории и участки дна. Антропогенная деятельность начинает поглощать береговую систему, неуклонно исключает из естественного развития береговую зону с ее высокой ассимиляционной и очищающей способностью. Могут совершенно исчезнуть такие элементы прибрежно-морской системы, как растительность, конкретный подстилающий субстрат, ряд форм берегового рельефа, может измениться прозрачность воды, гармоничное проникновение света в воду, цвет воды и цвет моря, могут нарушиться величины температуры, солености, ледовый режим, параметры водообмена и др. В конечном итоге может быть сильно подорвана или даже уничтожена среда формирования ценных бальнеологических ресурсов, механизмы седиментационного фильтра на контакте «Суша–Океан», структура естественного гидрохимического барьера на пути загрязняющих веществ, сносимых с суши в море.

Думать о будущем климата. В течение ближайших 100-150 лет прогнозируются такие изменения климата (по крайней мере – в северном полушарии Земли), которые могут привести к перестройке водного баланса отдельных морей и Мирового океана в целом. Соответственно реагирует баланс воды в Мировом океане и его морях, в том числе – в Черном и Азовском. Одновременно следует ожидать усиления продуцирования свободной воды в перисфере Земли, изменения объема котловин морей и океанов, термического

уменьшения плотности в верхнем слое воды, усиления изостатических колебаний прибрежной части морского дна, явлений уплотнения отложений в осадочных толщах прибрежно-морского и дельтового генезиса и прочего. В результате ожидается относительное повышение уровня воды до конца XXI века на величины от 0,2 до 3,45 м (и даже более) выше ординара 2000 г. в разных регионах и рассчитанным по разным методикам.

Береговая зона с разной структурой, с разными динамическими характеристиками и в разных физико-географических условиях развития поразному реагирует на указанные естественные, глобальные явления. Но наибольшие опасения должны вызывать очень низкие берега и участки очень динамичные, с высокими значениями горизонтальных и вертикальных деформаций рельефа (аккумулятивные формы – в первую очередь). Поэтому, при планировании, менеджменте и эксплуатации строительных объектов в береговой зоне в течение будущих десятилетий, нужно определить местоположение участков и их размеры, где можно ожидать катастрофического затопления береговых территорий, подтопления береговых склонов, вторжения морских соленых вод в устья рек и лиманы, усиления абразионных процессов и прочего как следствия влияния «парникового эффекта» и итогового относительного роста уровня морей. Заслуживает пристального внимания острая необходимость изменения нашего отношения к уже застроенным, но исконно потенциально опасным участкам на берегах Черного и Азовского морей в свете возможных неблагоприятных прогнозов.

Финансовая и материальная целесообразность. В береговой зоне морей широко распространены малопрочные породы и отложения, которые разрушаются особенно интенсивно (Шуйский, 2001; 2010). Сложенные ими береговые линии отстают с наибольшими скоростями, поглощая обширные площади приморских территорий. В будущем, под влиянием дефицита наносов, повышения волноэнергетического потенциала, быстрого роста уровня моря и других причин многие исследователи предсказывают усиление деструктивных процессов на опасных участках. В этой связи в будущем такие участки следует исключать из застройки, особенно –

капитальными сооружениями. Но если по какой-то причине они все же будут введены в хозяйственный оборот, а затем возникнет необходимость берегозащиты, то на это материальные, финансовые и трудовые ресурсы следует тратить тогда, когда материальная и духовная ценность защищаемых берегов будет выше, чем затраты на строительство и эксплуатацию защитных сооружений и мероприятий.

Гармония между природой и человеком. Для человека притягательность береговой зоны морей и океанов настолько велика, что возникает искушение вторгнуться повсеместно, всегда и во все элементы береговой системы, быстро и сразу. Но комплексное многоцелевое строительство и использование природных свойств и ресурсов береговой зоны является нецелесообразным и нерациональным, как следует из вышеизложенных принципов и элементов стратегии. Такое использование создает повышенный антропогенный пресс по всем основным «болевым точкам» прибрежно-морской системы. Она не может рассредоточить и диссипировать этот пресс, что очень быстро истощает природные ресурсы, нарушает самовосстановительный потенциал береговой системы, исключает гармонию между человеком и природой. Вместе с тем каждый участок береговой зоны, каждая вдольбереговая литодинамическая ячейка характеризуется строго определенными природными чертами, особенностями и свойствами, а потому такая ячейка может выдерживать и нейтрализовать антропогенный пресс со стороны только одного или нескольких видов освоения, но не комплекса, не всего сразу. Рациональным является использование тех локальных природных ресурсов, которые присущи конкретной ячейке, ее внутреннему строению. Лишь в этом случае наиболее вероятна гармония между человеком и природой береговой зоны моря.

Природная система береговой зоны развивается под влиянием действия преимущественно механической энергии высокой концентрации. В результате прибрежно-морские процессы и явления обладают повышенной интенсивностью и соответствующей чрезвычайно быстрой реакцией на антропогенные влияния. Источником энергии является Океан, а источником осадочного материала является в основном Суша. На современном палеогеографическом этапе

береговая зона характеризуется исторически сложившимся дефицитом наносов. Поэтому доминирующими выступают деструктивные морфодинамические и литодинамические процессы, что в основном и определило содержание и смысл основных элементов и принципов стратегии строительства и хозяйственного освоения вообще.

Выделены две основные группы элементов и компонентов береговой системы, оказывающих директивное влияние на принятие стратегических решений при исполнении различных видов практических приложений (§ 4-9). В первую группу входят общепланетарные, с которыми связаны природные условия, факторы и процессы. Они являются фоновыми по отношению к региональным и локальным природным условиям, факторам и процессам, отнесенным ко второй группе. Именно вторые в наибольшей степени влияют на выбор стратегических решений, соответственно закону географической локальности и закону окружающего влияния (Шуйский, 2018). Учет именно локальных и региональных прибрежно-морских условий, факторов, процессов, структур и комплексов является залогом оптимальной застройки береговой зоны и побережья в целом. Опыт многолетнего освоения береговой зоны в разных физико-географических условиях позволил выделить 16 основных составляющих элементов стратегии строительства, исходя из природной уникальности каждой природной прибрежно-морской системы различного ранга и уровня организации.

Важно обратить внимание на один из ключевых принципов: в условиях динамической системы береговой зоны все составные элементы стратегии должны применяться по возможности: *а)* всех одновременно; *б)* бóльшей их части. Цель разработки этой стратегии состоит в достижении оптимального природопользования, с учетом силы и продолжительности антропогенного возмущения, с учетом строительства в прошлом, настоящем и будущем, а также – в связи с изменениями природы в будущем. При этом следует стремиться к недопущению подрыва восстановительного потенциала прибрежно-морской системы, к гармоничной и к безаварийной эксплуатации объектов строительства в течение максимально возможной продолжительности времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной книге рассматриваются далеко не все практические приложения в природной среде (системе) морских побережий. Автор ограничен рядом формальных, технических обстоятельств и рассчитывает на дальнейшее продолжение этой важной темы. Такая перспектива является вполне реальной, причем, не только силами самого автора, но и многих других организаций и отдельных исследователей береговой зоны моря, которые в полной мере владеют необходимыми знаниями, умениями, навыками, соответствующей квалификацией и исследовательским материалом. При этом автор пользуется географической терминологией из терминологического справочника «Морская геоморфология» под редакцией В. П. Зенковича и Б. А. Попова, из словаря географических терминов И. С. Щукина, берегового словника В. К. Гуделиса (V.K. Gudelis), словаря терминов «География» под редакцией В. М. Котлякова и А. И. Комаровой, а также из Большой Советской Энциклопедии и Украинской Географической Энциклопедии.

В настоящее время, в период системной «декультуризации» и повальным «скопусизмом» на Украине, включая её научно-образовательную отрасль, фактически заблокирован интерес к исследованиям в береговой зоне моря в части развития теоретических положений береговедения. В этой связи есть значительные причины осмыслить полученные теоретические результаты в работах второй половины XX столетия, в период расцвета международной научной школы профессора Зенковича Всеволода Павловича, в кругах зарубежных специалистов известного как «*Iron Zenkovich*». Результаты были существенными, автор уверен, – полезными и современным специалистам. Это сегодня стало особенно важным, поскольку речь идет о сохранении научного наследия и его дальнейшего развития. Поэтому в списке цитированной литературы видим «излишек» давней береговедческой литературы.

Напомним, что речь идет о морских побережьях и береговой зоне моря включительно. В работах различных авторов (В. П. Зенковича, О. К. Леонтьева, В. В. Лонгинова, Ю. Н. Сокольникова, В. В. Хомицкого, В. К. Кинг, Ф. Шепарда, Д. Инмэна, К. Хорикавы и др.)

показаны особенности природы природной среды, которые учитываются в обосновании любого вида практических приложений и влияния антропогенного фактора в разных физико-географических условиях. Эти особенности использованы в каждом из рассмотренных и исследованных нами параграфов книги. Конечно, круг природных особенностей береговой зоны различен в разных частях Мирового океана. Поэтому здесь автор пользуется рядом естественно-географических законов природы, типичных в береговой зоне и вообще в пределах побережья. При этом в данной книге используются понятия и определения береговой зоны, согласно Д. У. Джонсону, В. П. Зенковичу, П. К. Божичу, О. К. Леонтьеву.

Композиция работы затрагивает 10 развернутых основных вопросов, изложенных в виде отдельных параграфов. В первых двух анализируются вопросы истории зарождения и развития современного береговедения. В них показаны основные виды хозяйственной деятельности на морских побережьях, привносимые при этом изменения в природу береговой зоны, реакция природной прибрежно-морской системы на внедрение инженерных сооружений, степень возмущения природы со стороны искусственных «пришельцев». Сегодня они отнесены к группе искусственных форм рельефа, по предложению В. П. Палиенко и Л. А. Жиндарева. Названы наиболее уязвимые природные объекты.

Затем приведены черты, размеры и назначение ряда гидротехнических сооружений, которые оказывают заметное влияние на природную структуру и динамику морфометрических, батиметрических и литодинамических черт и явлений в береговой зоне. С другой стороны, рассмотрены и проанализированы природные черты, закономерности формирования и особенности, присущие практически только прибрежно-морским системам разного уровня организации. Приведена схема, обозначающая границы береговой зоны и побережья в целом. Указаны результаты исследования факторов, эволюции, классификаций, энерго- и массообмена в прибрежно-морских условиях, в том числе и под влиянием искусственных форм рельефа, степень антропогенного возмущения исторически сложившихся природных комплексов.

Анализ особенностей и отличий природы береговой зоны позволил рассмотреть такой практически важный вопрос, как внутринаучная и образовательная значимость береговедения. Такой анализ стал возможным после формулировки целей, задач, эволюции и основных научных положений единой географической науки «*береговедение*» в монографии автора данной книги. Следующим шагом стало рассмотрение научно-образовательной значимости береговедения студентами учебных заведений различного профиля, – географического, геологического, гидрографо-морского, гидротехнического и прочих. Особое внимание уделено различной застройке морских побережий.

Затем последовательно рассматривается влияние портового, берегозащитного, навигационного, транспортного строительства, использования ряда минеральных ресурсов в береговой зоне. Это позволило выявить, сформулировать и выполнить анализ соответствующих рисков и угроз, их влияния на прибрежно-морские физико-географические системы со стороны антропогенного фактора. В последующем параграфе излагается общая стратегия застройки береговой зоны и побережья в целом с позиций взаимовлияния антропогенного фактора, с одной стороны, а с другой – объектов, природных сил, строения и их взаимодействия на природном контакте между Сушей и Океаном. Все это выполнено с учетом естественных экзогенных отличий береговой зоны от природных систем Суши и Океана.

При работе над этой книгой автору оказал техническую помощь заведующий Лабораторией ГИС-технологий Александр А. Гыжко из ОНУ имени И. И. Мечникова. Ряд улучшений в рукопись внесли рецензенты: профессора, доктора географических наук Николай А. Берлинский (Одесса), Ольга Р. Андрианова (Одесса) и Томаш Лабуз (Щецин, Польша). Ряд технических поправок в рукопись внес доцент, кандидат географических наук Алексей В. Давыдов. Данная книга улучшена редактором, профессором, доктором географических наук Галиной В. Выхованец. Всем им автор выражает искреннюю благодарность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айбулатов, Н. А. (1990). *Динамика твердого вещества в шельфовой зоне*. Ленинград: Гидрометеиздат. 271 с.
2. Айбулатов, Н. А. (2005). *Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии*. Москва: Наука. 365 с.
3. Айбулатов, Н. А., Артюхин, Ю. В. (1993). *Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана*. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат. 304 с.
4. Айбулатов, Н. А., Кочергин, А. Д., Минеев, Г. Г., Косьян, Р. Д. (1992). Об эволюции профиля подводного берегового склона при вдольбереговом перемещении наносов и повышении уровня моря. *Эволюция берегов в условиях поднятия уровня Океана*: Отв. ред. Н.А. Айбулатов и С.А. Лукьянова. Москва: Наука. 39 – 57.
5. Аксенов, А. А. (1955). Морфология и динамика северного берега Азовского моря. *Труды Государственного Океанографического института*. Вып. 29 (41): 107 – 143.
6. Аксенов, А. А. (1972). *О рудном процессе в верхней части шельфа*. Москва: Наука. 160 с.
7. Аксентьев, Г. Н. (1960). Истираемость наносов на участке берега Ланжерон – Большой Фонтан. *Научный Ежегодник Одесского государственного университета*. Вып. 2: 82 – 85.
8. Андрианова, О. Р. (2014). *Многолетние колебания уровня Мирового океана: тенденции и причины*. Одесса: Астропринт. 160 с.
9. 11. Антюхов, А. А. (1982). Динамика побережья Азовского моря на участке Жданов—Бердянск. *Литодинамические процессы береговой зоны южных морей и её антропогенное преобразование*: сб. научн. трудов. отв. ред. Ю.П. Хрусталева. Ленинград: ГО СССР. 35 – 42.
10. Арманд, Д. Л. (1975). *Наука о ландшафте: основы теории и логико-математические модели*. Москва: Мысль. 288 с.
11. Артамонов, В. И., Лопатников, М. И. (1982). Ресурсы стройматериалов (песок и гравий) береговой зоны Мирового океана. *Вопросы географии*. Вып. 119 -122 с.

12. Артюхин, Ю. В. (1989). *Антропогенный фактор в развитии береговой зоны моря*. Ростов-на-Дону: Ростовский университет. 144 с.

13. Арчиков, Е. И. (1986). *Проблемы теоретической и прикладной геоморфологии берегов Дальневосточных морей*. Владивосток: ДВГУ. 124 с.

14. Арэ, Ф. Э. (1980). *Термообразия морских берегов*. Москва: Наука. 160 с.

15. Баском, В. (1966). *Волны и пляжи*. Ленинград: Гидрометеоздат. 285 с.

16. Башкиров, Г. С. (1964). *Гидравлические основы проектирования сооружений прибрежной зоны крупных водоемов*. Одесса.

17. Бёрд, Э. Ч. Ф. (1990). *Изменения береговой линии*. Ленинград: Гидрометеоздат. 255 с.

18. Берлінський, Н. А., Гаврилюк, Р. В., Дерік, О. В. та ін. (2021). *Мінливість океанологічних умов імпактних зон Північно-західної частини Чорного моря під впливом кліматичних та антропогенних чинників* [заключний звіт: УДК 551.46 (262.5), № гос. рег. 0117U007697]. Науковий керівник проф. Н.А. Берлінський. Одеса: ОДЕКУ. 204 с.

19. Бертман, Д. Я., Шуйский, Ю. Д. (1983). Искусственные формы рельефа как средство защиты морских берегов от разрушения. *Физическая география и геоморфология*. Вып. 29: 127 – 134.

20. Бигелоу, Г. Б., Эдмондсон, В.Т., (1951). *Морские ветровые волны и прибой*. Москва: Иностранная литература. 212 с.

21. Божич, П. К. (1927). К изучению береговых наносов Черного моря. *Изв. ЦГМБ*. Вып.7.

22. Божич, П. К., Джунковский, Н. Н. (1949). *Морское волнение и его действие на сооружение и берега*. Москва: Машстройиздат. 336 с.

23. Бровко, П. Ф. (1990). *Развитие прибрежных лагун*. Владивосток: Дальневосточный университет. 148 с

24. Бровко, П. Ф., Лымарев, В. И. (1997). *Основы береговедения: Избр. лекции*. Владивосток: Дальневосточный государственный университет. 111 с.

25. Буданов, В. И. (1964). *Методика исследований морских берегов*. Москва: Наука. 225 с.

26. Василев, Т. (1991). Екологични модули, брегозащитни и пристанишни конструкции от тристени, оразмеряване. *IX Intern. Conference "Modern Technologies in Transport Construction"*: Edited by M.Sybev. Varna: BG. 157–162.

27. Воровка, В. П. (2017). Хемогенні процеси у Приазовській парадинамічній ландшафтній системі. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. № 1-2: 17-22.

28. Воровка, В. П. (2010). Коси «азовського типу» як складова Приазовської парадинамічної системи. *Геоєкологічні проблеми басейну Азовського моря та шляхи їх вирішення*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Мелітополь, 15-17 вересня 2010 р.). Мелітополь: Люкс. 4-9.

29. Выхованец, Г. В. (1987). Современные процессы развития пересыпей лиманов в северо-западной части Черного моря. *Известия Всесоюзного Географического общества*. Том 119. Вып. 6: 541 – 549.

30. Выхованец, Г. В. (1999). Анализ эолового фактора в морфологии и динамике песчаных кос и пересыпей лагун. *Материалы научной конференции "ПРИМОРЬЕ — век"*. Владивосток: ДВГУ. 125 — 129.

31. Выхованец, Г. В. (2001). Коэффициент эолового сноса и его рельефо-образующее значение в береговой зоне морей. *Доповіди НАН України*. № 4: 106 – 109.

32. Выхованец, Г. В. (2003). *Эоловый процесс на морском берегу*. Одесса: Астропринт. 368 с.

33. Выхованец, Г. В., Панкратенкова, Д. О. (2018). Влияние антропогенного фактора на современное состояние аккумулятивных форм рельефа северо-западной части Черного моря. *Вісник Одеського національного університету. Серія: Географічні та геологічні науки*. Т. 23. Вип. 1: 11-32.

34. Гамаженко, В. С. (1956). Новый тип берегоукрепительного волнолома для приглубого берега. *Труды Океанографической комиссии АН СССР*. Том I: 6–17.

35. Герсеванов, М. Н. (1861-1862). *Курс портовых сооружений: лекции о морских сооружениях*. Санкт-Петербург: УМП России. 253 с.

36. Горюнов, Б. Ф., Шихиев, Ф. М. (1970). *Морские порты и портовые сооружения*. Москва: Транспорт. 448 с.

37. Григорьев, А. А. (1963). Теоретические основы современной физической географии. *Взаимодействие наук при изучении Земли*. Под ред. С.В. Калесника. Москва: Наука.

38. Григорьев, А. А. (1966). *Закономерности строения и развития географической среды*. Москва: Наука. 350 с.\

39. Григорьев, А. А., Будыко, М. И. (1956). О периодическом законе географической зональности. *Доклады АН СССР*. Т. 110. № 1: 129 – 132.

40. Григорьев, М. Н. (2012). Динамика берегов морей Восточной Сибири, объемы выноса материала и береговая база данных. *Морские берега — эволюция, экология, экономика: материалы XXIV Международной научной конференции / отв. ред. Л. А. Жиндарев*. Т. 1: 103–110.

41. Гродзинський, М. Д. (2005). Пізнання ландшафту: монографія у 2-х томах. Київ: Київський університет”. 503 с.

42. Гуделис, В. К. (1954). Некоторые данные о строении и развитии пересыпи Куршю Нерия. *Труды ИО АН СССР*. Т.Х. М.: 62-69.

43. Джунковский, Н. Н., Каспарсон, А. А., Курлович, Е. В., Смирнов, Г. Н., Сидорова, А. Г. (1967). *Порты и портовые сооружения*. Часть II. Москва: Стройиздат. 450 с.

44. Долотов, Ю. С. (1989). *Динамические обстановки прибрежно-морского рельефообразования и осадконакопления*. Москва: Наука. 286 с.

45. Егоров, Е. Н. (1961). Об одном из путей усовершенствования морских берегоукрепительных сооружений. *Труды Института Океанологии АН СССР*. Том LIII: 37 – 41.

46. Емельянов, Е. М. (1998). *Барьерные зоны в Океане: осадко- и рудообразование, экология*. Калининград: Янтарный Сказ. 416 с.

47. Ефремов, Ю. К. (1959). Ландшафтная сфера Земли. *Известия Всесоюзного географического общества*. № 6: 445 – 457.

48. Жданов, А. М. (1956). Укрепление берегов с галечными наносами бунами полного профиля. *Труды Океанографической комиссии АН СССР*. Том I: 18–36.

49. Жданов, А. М. (1958). Волновые нагрузки, действующие на морские берегоукрепительные сооружения. *Труды ВНИИ транспортного строительства*. Вып. 40: 4-21.

50. Жданов, А. М. (1960). Искусственное восстановление защитной полосы пляжа при укреплении морских берегов. *Труды ВНИИ транспортного строительства*. Вып. 40: 22 – 57.

51. Жданов, А. М. (1963). *Морские берегоукрепительные сооружения*. Москва: Трансжелдориздат. 76 с.

52. Жданов, А. М., Дороднова, К. М., Гамаженко, В. С. (1952). *Вопросы проектирования и строительства берегоукрепительных сооружений*. Москва: Трансжелдориздат. 128 с.

53. Зайцев, Ю. П. (1998). *Самое синее в мире*. Нью-Йорк: ООН. 142 с.

54. Залогин, Б. С. (1983). *Океан человеку*. Москва: Мысль. 235 с.

55. Зелинский, И. П., Корженевский, Б. А., Черкез, Е. А., Шатохина, Л. Н., Ибрагим-Заде, Д. Д., Цокáло, Н. С. (1993). *Оползни Северо-западного побережья Черного моря: их изучение и прогноз*. Киев: Наукова думка. 228 с.

56. Зенкович, В. П. (1946). *Динамика и морфология морских берегов*. Часть 1 «Волновые процессы». Москва: Морской транспорт. 495 с.

57. Зенкович, В. П. (1956). Потоки наносов вдоль советских берегов Черного моря. *Труды Союзморниипроекта*. Вып. 3 : 3-44.

58. Зенкович, В. П. (1958). *Берега Черного и Азовского морей*. Москва: Географгиз. 375 с.

59. Зенкович, В. П. (1962). *Основы учения о развитии морских берегов*. Москва: АН СССР. 710 с.

60. Зенкович, В. П., Каплин, П. А., Ионин, А. С., Медведев, В. С. (1967).

61. *Берега Тихого океана*. Москва: Наука. 367 с.

62. Игнатов, Е. И. (2004). *Береговые морфосистемы*. Москва-Смоленск: Маджента. 352 с.

63. Исаченко, А. Г. (1979). *География сегодня*. Москва: Просвещение. 192 с.

64. Казаков, Л. К., Чиждова, В. П. (2001). *Инженерная география: учебное пособие*. Москва: Лэндрос. 267 с.

65. Каплин, П. А., Леонтьев, О. К., Никифоров, Л. Г., Лукьянова, С. А. (1991). *Берега*. Москва: Мысль. 450 с.

66. Каплин, П. А., Поротов, А. В., Селиванов, А. О., Соболев В.М. (1997). Ожидаемые изменения берегов России в условиях подъема уровня Мирового океана к 2100 году. *Развитие морских берегов России и их изменения при возможном подъеме уровня Мирового океана*. Москва.

67. Кикнадзе, А. Г. (1991). Морфодинамика береговой зоны и оптимизация ее использования (на примере Черноморского побережья Грузии). *Диссертация на соиск. учен. степени доктора геогр. наук*. Тбилиси: Институт географии им. Багратиони Вахушти АН Грузии. 66 с.

68. Кикнадзе, А. Г., Меладзе, Ф. Г., Сакварелидзе, В. В. (1989). От берегоукрепления — к регулированию процессов берегоформирования. *Проблемы развития морских берегов*: Отв. ред. Н.А. Айбулатов. Москва: ИО АН СССР: 97 – 107.

69. Кнапс, Р. Я. (1956). О методике определения характеристик движения наносов на бесприливных морях. *Научные сообщения Института геологии и географии АН Латвийской ССР*. Т. 3. 34–45.

70. Кнапс, Р. К. (1960). О способах укрепления песчаных берегов. *Труды ВНИИ транспортного строительства*. Вып. 40: 58 – 91.

71. Кнапс, Р. К. (1985). *К методике определения режима движения наносов вдоль берегов неприливных морей*. Рига: Латгипропром. 110 с.

72. Кожухов, И. В. (1968). Исследование процессов заносимости на подходном канале порта Вентспилс. *Труды СоюзморНИИпроекта*. № 20 (26): 127 – 142.

73. Коробова, И. Я. (1968). Анализ деформаций бара в районе Клайпедского порта. *Труды СоюзморНИИпроекта*. № 20 (26): 119 – 126.

74. Круть, И. В., Забелин, И. М. (1988). *Очерки истории представлений о взаимоотношении природы и общества: Общонаучные и геолого-географические аспекты*. Москва: Наука. 415 с.

75. Круть, И. В. (1978). *Введение в общую теорию Земли*. Москва: Мысль. 367 с.

76. Леонтьев, И. О. (1989). *Динамика прибойной зоны*. Москва: Институт океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР. 184 с.
77. Леонтьев, И. О. (2001). *Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов*. М.: ГЕОС. 272 с.
78. Леонтьев, О. К., Никифоров, Л. Г., Сафьянов, Г. А. (1975). *Геоморфология морских берегов*. Москва: МГУ. 336 с.
79. Логачев, Л. А. (1966). Расчет запаса глубины канала на заносимость и определение оптимального режима ремонтного черпания. *Труды СоюзморНИИпроекта*. Том 12 (18): 51 – 59.
80. Логачев, Л. А. (1966). О норме заносимости открытых морских каналов. *Труды СоюзморНИИпроекта*. Том 12 (18): 59 – 65.
81. Лонгинов, В. В. (1963). *Динамика береговой зоны бесприливных морей*. Москва: АН СССР. 346 с.
82. Лонгинов, В. В. (1966). Обзор методов расчета вдольберегового перемещения наносов в береговой зоне моря. *Труды СоюзморНИИпроекта*. Том 14 (20): 40 – 81.
83. Лосев, К. С., Романова, Э. П. (2006). Изменения ландшафтов суши. *Современные глобальные изменения природной среды*. Отв. ред. Н.С. Касимов и Р.К. Клиге. Москва: Научный Мир: 203 – 228.
84. Лызлов, И. А. (1961). Экспериментальное исследование берегоукрепительных подводных волноломов различных конструкций. *Труды Океанографической комиссии АН СССР*. Т. XII: 5 – 16.
85. Лызлов, И. А. (1966). Расчет подводных берегоукрепительных волноломов на волногашение. *Развитие морских берегов в условиях колебательных движений земной коры*. Таллин: ВАЛГУС.
86. Лымарев, В. И. (2002). *Отечественные исследователи прибрежных зон морей и океанов*. Архангельск: Правда Севера. 270 с.
87. Лымарев, В. И. (2004). *Введение в океанопользование*. Архангельск: Поморский университет. 290 с.
88. Лямин, В. С. (2012). *Место географии в генетической классификации наук*. Одесса: Астропринт. 183 с.
89. Макунина, Г. С. (1987). *Методы полевых физико-географических исследований: структура и динамика ландшафта: учеб.-метод. пособие для географ. фак. гос. ун-тов*. Москва: МГУ. 115 с

90. Мамыкина, В. А., Хрусталева, Ю. П. (1980). *Берега Азовского моря*. Ростов-на-Дону: Ростовского университета. 160 с.

91. Мамыкина, В. А., Хрусталева, Ю. П. (1982). Районирование береговой зоны Азовского моря. *Литодинамические процессы береговой зоны южных морей и ее антропогенное преобразование*. Л., 1982. С.5-13.

92. Мануйлов В.А., (1990). *Подводные ландшафты залива Петра Великого*. Владивосток: Дальневосточный университет. 168 с.

93. Маринов, К. (1990). Исследование, проектирование и внедрение на модульной системе за брегозащита. *Сборник Трудов Брегозащита '89*. София: Геозащита. 106 – 129.

94. Марков, К. К. (1980). *Физическая география Мирового океана*. Москва: Мысль. 365 с.

95. Меладзе, Ф. Г. (1993). *Инженерные решения защиты морских берегов*. Тбилиси: Мецниереба. 112 с.

96. Мирошниченко, В. Г. (1982). *Эксплуатация морских каналов*. Москва: Транспорт. 136 с.

97. Михайлов, В. Н. (1998). *Гидрология устьев рек*. Москва: ГЕОС. 176 с.

98. Михайлов, В. Н., Морозов, В. Н., Михайлова, М. В., Гранич, П. С. (1988). Гидрологические процессы в устьевой области Дуная и их возможные изменения. *Водные ресурсы*. №1. 24-32.

99. Михайлов, В. Н., Морозов, В. Н. (2004). *Гидрология дельты Дуная*. Москва: ГЕОС. 380 с.

100. *Морская геоморфология. Терминологический справочник – береговая зона: процессы, понятия, определения*. (1980). Научн. ред. В. Зенкович, Б. Попов. Москва: Мысль. 280 с.

101. Муркалов, О. Б. (2013). Морфологія та динаміка піщаних пляжів у береговій зоні Чорного моря. *Автореф. дисертації на здобуття наукового ступеня канд. геогр. наук, спеціальність 11.00.04 – геоморфологія та палеогеографія*. Київ: НАН України. 20 с.

102. Назаретский, Л. Н. (1964). Некоторые результаты лабораторных исследований трансформации волны над прорезью морского канала. *Труды СоюзморНИИпроекта*: Том 4 (10): 98 – 105.

103. Назаретский, Л. Н. (1966). Изменение средних значений высот и периодов волн на морских каналах. *Труды СоюзморНИИпроекта*. Том 12 (18): 40 – 46.
104. Никифоров, Л. Г. (1977). *Структурная геоморфология морских побережий*. Москва: Наука. 175с.
105. Нэмець, К. А., Немець, Л. М. (2014). *Теорія і методологія географічної науки: методи просторового аналізу*. Харків: ХНУ ім. В.Н.Каразіна. 172 с.
106. Орвику, К. К. (1974). *Морские берега Эстонии*. Таллин: Валгус. 112 с.
107. Петров, К. М. (1989). *Подводные ландшафты: теория, методы исследования*. Ленинград: Наука. 126 с.
108. Пешков, В. М. (2003). *Береговая зона моря*. Краснодар: Лаконт. 350 с.
109. Пешков, В. М. (2005). *Галечные пляжи неприливных морей*. Краснодар: Эд Арт Принт. 446 с.
110. Пешков, В. М. (1989). *Там, где грохочет прибой*. Москва: Знание. 50 с.
111. Попов, Вл., Мишев, К. (1974). *Геоморфология на Българското Черноморско крайбрежие и шелф*. София: БАН. 267 с.
112. Пясецкий, Г. Я. (1979). *Тенденции и проблемы развития морских портов и подходных каналов*. Москва: Транспорт. 145 с.
113. Рябкова, О. И., Краснов, Е. В. (2001). Биоиндикация устойчивости донных экосистем. *Береговая зона морей, озер и водохранилищ*. Том I: Отв. ред. В.П. Чичагов. Новосибирск: Наука. 184 – 194.
114. Савараги, Т. (1990). Берегозащита в Японии. *Сборник Трудов Берегозащита '89*: Под ред. Г. Ресулова. София: Геозащита. 155 – 158.
115. Самойлов, И. В. (1952). *Устья рек*. Москва: Географгиз. 526 с.
116. Сафьянов, Г. А. (1978). *Береговая зона океана в XX веке*. Москва: Мысль. 263 с.
117. Сафьянов, Г. А. (1987). *Инженерно-геоморфологические исследования на берегах морей*. Монография. Москва: МГУ. 150 с.
118. Сафьянов, Г. А. (1987). *Эстуарии*. Москва: Мысль. 190 с.

119. Сафьянов, Г. А. (1996). *Геоморфология морских берегов*. Москва: Наука. 400 с.
120. Сафьянов, Г. А. (2006). Состояние геосистемы береговой зоны Океана. *Современные глобальные изменения природной среды*. Том 2. Отв. ред. Н. С. Касимов и Р. К. Клиге. Москва: Научный Мир. 11 – 86.
121. Сокольников, Ю. Н. (1967). Исследование прерывистого крепления берегов водохранилищ и морей. *Автореф. дисс. на соискание учен. степ. канд. технич. наук*. Киев: Институт гидромеханики АН УССР. 32 с.
122. Сокольников, Ю. Н. (1976). *Инженерная морфодинамика берегов и её приложения*. Киев: Наукова думка. 227 с.
123. Сокольников, Ю. М. (1970). *Переривчасте кріплення берегів*. Киев: Наукова думка. 110 с.
124. Соломина, С. Н. (1983). *Взаимодействие общества и природы*. Москва: Мысль. 252 с.
125. Степанов, В. Н. (1982). *Природа Мирового океана*. Москва: Просвещение. 192 с.
126. Стоян, А. А. (2010). Анализ истории и развития береговедения как географической науки. *Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук, специальность 11.00.13 – история географии*. Львов: ЛНУ имени И. Франко. 20 с.
127. Тимонов, В. Е. (1894). *Краткое обозрение исторического развития морского строительного дела*. Санкт-Петербург: ИПС. 90 с.
128. Топчієв, О. Г., Мальчикова, Д. С., Пилипенко, І. О., Яворська, В. В. (2018). *Методологічні основи географії: ландшафтна оболонка Землі*: Монографія. Херсон: Гельветика. 348 с.
129. Тюрин, А. П., Шепсис, В. И., Таран, А. К., Ланг, Я. М., Шулеко, О. В. (1987). Совершенствование технологии подводного отвала грунта с целью уменьшения заносимости подходного канала к порту Бердянск. *Исследование влияния гидрометеорологических факторов на строительство и эксплуатацию водных путей и портов*. Отв. ред. А.П. Тюрин. Москва: Транспорт. 3 – 10.
130. Урманцев, Ю. А. (1988). Общая теория систем: состояние, приложения и перспективы развития. *Система, симметрия, гармония*. Москва: Мысль. 38–124.

131. Фащук, Д. Я. (2002). *Мировой океан: история, география, природа*. Москва: Академкнига. 282 с.
132. Фогтланд, Р. В., Шуйский, Ю. Д. (1986). Абразионные берега Балтийского моря в пределах Германской Демократической Республики. *Известия Всес. Геогр. Об-ва*. Т. 118. Вып. 6. 499 -507.
133. Хомицкий, В. В. (1983). *Природоохранные аспекты береговой гидротехники*. Киев: Наукова думка. 276 с.
134. Чарномский, В. И. (1900). *Опыт определения действия, вызываемого волнением донного морского течения на портовые сооружения (по способу Р. Cornaglia)*. Санкт-Петербург: Институт Путей сообщения.
135. Черкез, Е. А., Мелконян, Д. В. (2009). Оценка роли факторов формирования и развития оползней Одесского побережья. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. Том 14. Вип. 16: 268 – 279.
136. Черой, А. И. (2009). Сток воды, наносов и морфологические процессы в устьевой области реки Дунай. *Диссертация кандидата географических наук: 11.00.07*. Одесса: ОДЭКУ. 20 с.
137. Шаповалов, П. Б. (1960). *Морские каналы и навигационная обстановка морских путей*. Москва: Морской транспорт. 170 с.
138. Шаповалов, П. Б. (1962). Некоторые данные о влиянии оградительных сооружений на заносимость каналов. *Труды СоюзморНИИпроекта*. № 1 (7): 66– 74.
139. Шепард, Ф. П. (1976). *Морская геология*. Москва: Прогресс. 488 с.
140. Шишов, Н. Д. (1964). Заносимость Вентспилского подходного канала (опыт расчета). *Труды СоюзморНИИпроекта*. № 4 (10): 56 – 70.
141. Шишов, Н. Д. (1966). О заносимости подходного канала к Клайпедскому порту. *Труды СоюзморНИИпроекта*. № 14 (20): 82 – 97.
142. Шубаков, И. В, Шубаков, Д. И., Буслов, И. П., Геве́рц, И. Б., Мартыненко В.Т., Маминайшвили, В. Л., Гардыман, Ж. А. (2003). *Океанография: Часть III*. Одесса: ПС Абрикос. 287 – 330.

143. Шуйский, Ю. Д. (1974). О процессах антропогенного влияния на побережья морей и океанов. *Тезисы докладов I Всесоюзной Конференции по проблемам изучения и освоения шельфов: Комиссия АН СССР по проблемам Мирового океана.* Ленинград: ГО СССР. 64 -66.

144. Шуйский, Ю. Д. (1979). Некоторые вопросы изучения баланса наносов береговой зоны (на примере Черноморского побережья УССР). *Геоморфология.* № 4. 89 – 99.

145. Шуйский, Ю. Д. (1983). Современный баланс наносов в береговой зоне морей. *Автореф. дисс. на соискание учен. степени доктора геогр. наук.* Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова. 41 с.

146. Шуйский, Ю. Д. (1986). *Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей.* Ленинград: Гидрометеиздат. 240 с.

147. Шуйский, Ю. Д. (1987). Процессы истирания пляжевых наносов в береговой зоне морей. *Природные основы берегозащиты.* Отв. ред. В.П. Зенкович, Е.И. Игнатов, С.А. Лукьянова. Москва: Наука: 18 -25.

148. Шуйский, Ю. Д. (1990). Укрепление абразионных берегов Черного моря с помощью естественных материалов. *Современни технологии в транспортно строителство:* Гл. ред. М. Събев. Варна, България: Трансстрой: 163 – 168.

149. Шуйский, Ю. Д. (1996). Опыт изучения защитных сооружений на песчаных берегах Черного моря. *География и природные ресурсы.* № 1: 37 – 43.

150. Шуйский, Ю. Д. (2001). Основы стратегии строительства в береговой зоне Черного и Азовского морей. *Исследования береговой зоны морей: Сб. научн. трудов.* Киев: Карбон Лтд: 8 – 24.

151. Шуйский, Ю. Д. (2003). Гидролого-морфологические черты формирования современной Килийской дельты Дуная. *Вісник Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова. Екологія.* Т. 8. Вип. 11: 4–17.

152. Шуйский Ю. Д. (2007). Основные особенности природы приморско-оползневого типа физико-географической местности (на примере северных берегов Черного моря). *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності.* № 6: 21 – 47.

153. Шуйский, Ю. Д. (2010). Развитие берегозащитных сооружений на берегу Черного моря в пределах Одессы. *Причорноморський Екологічний бюлетень*. № 4 (38): 45 – 79.

154. Шуйский, Ю. Д. (2013). Состояние современной географии и ее структура. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. Т. 18. Вип. 2: 7 – 21.

155. Шуйский, Ю. Д. (2015). Особенности природных комплексов в береговой зоне морей. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. Том 20. Вип. 1 (24): 97 – 113.

156. Шуйский, Ю. Д. (2017 а). Формирование природных систем разного уровня организации на морских побережьях. *Chronos Journal (RF)*. Часть 1. № 11: 15 – 20.

157. Шуйский, Ю. Д. (2017 б). Научное понятие термина «эстуарий» на побережьях морей и океанов. *Архивариус*. (Киев). 3: 12 – 18.

158. Шуйский, Ю. Д. (2018). *История развития и методология береговедения*. Одесса: Астропринт. 385 с.

159. Шуйский, Ю. Д. (2019 а). Закон географической локальности в современной физической (природной) географии. *Географический Сборник Пермского федерального научного университета*. № 4: 163 – 172.

160. Шуйский, Ю. Д. (2019 б). Портовые сооружения и их влияние на береговую зону Черного моря. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. Т. 24. Вип. 2 (35): 53 – 83.

161. Шуйский, Ю. Д. (2021). Физико-географические природные системы в Мировом океане. *Журнал Белорусского государственного университета. Серия: География. Геология*. № 1: 35 – 49.

162. Шуйский, Ю. Д., Выхованец, Г. В. (1989). *Экзогенные процессы развития аккумулятивных берегов в Северо-западной части Черного моря*. Москва: Недра. 198 с.

163. Шуйский, Ю. Д., Выхованец, Г. В. (1997). Экспериментальное создание искусственной дюны на песчаном берегу Черного моря. *География и природные ресурсы*. № 1: 169 – 174.

164. Шуйский, Ю. Д., Выхованец Г. В. (2011). Основные физико-географические черты берегов Балтийского моря в вершине Финского залива. *Причорноморський Екологічний бюлетень*. № 1 (39): 76 – 98.

165. Шуйский, Ю. Д., Выхованец, Г. В., Плотникова, К. И. (1982). Динамика береговой зоны в районах месторождений твердых полезных ископаемых. *Основные проблемы геологии, разведки и добычи полезных ископаемых шельфовой зоны Мирового океана*. Отв. ред. Е.Ф. Шнюков. Киев: Наукова думка: 119 – 127.

166. Шуйский, Ю. Д., Выхованец, Г. В., Педан, Г. С. (1987). Основные результаты исследования влияния подводных карьеров по добыче песка на динамику берегов Черного моря. *Природные основы берегозащиты*. Отв. ред. В.П. Зенкович, Е.И. Игнатов, С.А. Лукьянова. Москва: Наука: 68 – 82.

167. Шуйский, Ю. Д., Выхованец, Г. В., Лабуз, Т. А. (2006). Условия и численные величины эолового переноса песка на южных берегах Балтийского моря. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. Т. 11. Вип. 3: 148 – 165.

168. Шуйский, Ю. Д., Выхованец, Г. В., Муркалов, А. Б., Гыжко, Л. В. (2015). *Практикум по береговедению*. Одесса: Бахва. 104 с.

169. Шуйский, Ю. Д., Выхованец, Г. В., Чепалыга, А. В., Орган, Л. В., Адаева Д. О. (2021). Современная динамика морского края Килийской дельты Дуная: основные закономерности и прогноз. *Геоморфология*. 4: 125–136. <https://doi.org/10.31857/S043542812104009X>

170. Шуйский, Ю. Д., Замбриборщ, Ф. С., Педан, Г. С., Чернявский, А. В., Березкина, Е. И. (1985). Влияние промышленных разработок строительных песков на динамику берегов и состояние зообентоса Черного моря. *Водные ресурсы* (Москва). № 5: 142 – 156.

171. Шуйский, Ю. Д., Плотникова К. И., Выхованец Г. В. (1980). О рациональном использовании природных ресурсов береговой зоны в районах добычи морских строительных песков. *География и природные ресурсы*. № 3: 180 – 190.

172. Шуйский, Ю. Д., Савченко, М. И., Бертман, Д. Я., Кузнецов, В. П. (1973). Динамика песчаных искусственных пляжей Одесского побережья. *Тезисы докладов XIII Научной Конференции по изучению морских берегов: Комиссия АН СССР по проблемам Мирового океана*. Одесса-Ялта: ОГУ. 88 -90.

173. Шуйський, Ю. Д. (1999). Напрямки захисту і збереження природних ресурсів морських берегів в контексті потреб туризму. *Туристично-краєзнавчі дослідження*: Вип. 2. Під ред. О.І. Лугової. Київ: Кармаліта. 319 – 336.
174. Шуйський, Ю. Д. (2000 а). Географічна локальність у береговій зоні Світового океану. *Україна та глобальні процеси: географічний вимір*: Том 1. Відп. ред. П.Г. Шищенко. Київ-Луцьк: Вежа. 72 – 75.
175. Шуйський, Ю. Д. (2000 б). *Типи берегів Світового океану*. Одеса: Астропринт. 480 с.
176. Шуйський, Ю. Д. (2021 а). Розробка концепції з організації вищої географічної освіти в Україні. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Географічна наука та освіта: перспективи й інновації»*. Переяслав: ПНУ. 198 – 202.
177. Шуйський, Ю. Д., Вихованець, Г. В., Гижко, Л. В. (2021). Ризики та загрози господарської діяльності під час засвоєння ресурсів у береговій зоні морів. *Фізична географія та геоморфологія*. Вип. 6: 35 – 47.
178. Шуйський, Ю. Д., Жмуд, М. Є. (2015). До питання про вплив портових споруд Суліни на динаміку дельти Дунаю. *Науковий Вісник Чернівецького університету. Географія*. Вип. 685: 67 – 75.
179. Шуйський, Ю. Д., Стоян, О. О. (2014). *Географія корисних копалин Світового океану: походження, формування, поширення*. Одеса: Фенікс. 148 с.
180. Щукин, И. С. (1980). *Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии*. Москва: Сов. Энциклопедия. 704 с.
181. Яковенко, В. А. (1985). *Порт на морском берегу*. Москва: Мысль. 176 с.
182. Яковенко, В. Г., Омельченко, Ю. М. (1993). *Портові споруди і захист навколишнього середовища*. Київ: Будівельник. 127 с.
183. Янсен, Т., Хансен, В. (1957). Меры по укреплению и защите аллювиальных островов, расположенных вдоль южного побережья Северного моря в Германии. *Доклады XIX Международного Судходного конгресса*. Секция II. Сообщ. 3. Лондон: МГС. 12 – 31.

184. Яценко, В. А. (1985). *Порт на морском берегу*. Москва: Мысль. 176 с.

185. Aminti, P. L. (2003). New trend in coastal protection — recent experiences in Italy. *Coastal Zone '03: Proceedings the International Summer School. Workshop/Lubiatovo, Poland*. Edited by Z. Pruszek. Gdansk: 89–115.

186. Bird, E. C. F. (1985). *Coastline Changes*. Wiley Interscience, Chichester.

187. Borówka R. K., (1980). Współczesne procesy transportu i sedymentacji piasków eolicznych oraz ich uwarunkowania i skutki na obszarze wydm nadmorskich. *PTPN, Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej XX*, PWN, Warszawa–Poznań: 126 pp

188. Bruun P. (1963). Coastal development and coastal protection. *Bull. of Engineering Progress. Univ. Florida*. 113: 55 – 67.

189. Cornaglia, P. E. (1891). *Sul regime della spiagge e sulla regolazione dei porti*. Turin: G.B.Paravia Publ. Co. 569 p.

190. Dean, G. R., Chen, R., Browder, A. E. (1997). Full Scale Monitoring Study of a Submerged eadwater, Palm Beach, Florida, USA. *Coastal Engineering*. 29: 291–316.

191. *Dune, European Coasts* (1990). Catena Supplement: T.W.M. Bakker, P.D. Jungerius & J.A. Klijin, eds. 1990. Vol. 18. 385 p.

192. Ehlers, J. *The Morphodynamics of the Wadden Sea*. Rotterdam: A.A. Balkema Publ. Co., 1988. 397 p.

193. *Encyclopedia of Beaches and Coastal Environments*. (1982). Edited by M.L.Schwartz. – Vol. XV of Encycl. Earth Sci Series. – Stroudsburg: Hutchinson @ Ross Publ. Co. 940 p.

194. Furmańczyk, K. (1994). Changes of the coastal zone of the Hel Spit over the last 40 years on the basis of aerial photographs. *Changes of the Polish Coastal Zone (Guide-Book of the Field Symposium)*. Edited by K. Rotnicki. Poznan. 49 – 58.

195. Gerritsen, F. (1963). Coastal protection in the Netherlands. *Bull. of Engineering Progress. Univ. Florida*. Ser. 113. 47 – 54.

196. Gudelis, V. K. (1993). *A Glossary of Coastal Research Terms*. Vilnius: Academia Publ. Co., 1993. – 408 p.

197. Hagen, G. (1863). Handbuch der Wasserbaukunst. *Das Meer (Berlin)*. Bd. 3. Teil 1. 145 p.

198. Horikawa, K. (1978). *Coastal Engineering: an introduction in ocean engineering*. Tokyo: Univer. Tokyo Press. 410 p.

199. Horikawa, K. (1988). *Nearshore Dynamics and Coastal Processes: theory, measurement, and predictive models*. Tokyo: Univer. Tokyo Press. 522 p.

200. Hunt, A. R. (1885). On the action of waves on sea-beaches and sea-bottom. *Scientific Proceeding Royal Dublin Sciences*. Vol. 4. 45 – 93.

201. Johnson, D. W. (1919). *Shore process and development*. New York: John Wiley&Sons, INC / London: Chapman&Hall, Limited.

202. Keller, X. (1881). Studien über die Gestaltung der Sandküsten und die Anlage der Seehäfen im Sandgebiet. *Zeitschr. Bauwesen*. Jr. 31. H. 4–10. 8 – 93.

203. King, C. A. M. (1972). *Beaches & Coasts*. London: E.Arnold Publ. Co. 420 p.

204. Koike, K. (1985). Japan Coasts. *The World's Coastline*: Edited Eric Bird & Maurice Schwartz. – New York: Van Nostrand Reinold Co. 843 – 856.

205. Komar, P. (1976). *Beach Processes and Sedimentation*. New-York, Prentice-Hall: Englewood Cliffs. 430 p.

206. Larson, V., Hanson, H. (2003). Modelling coastal morphology and its evolution. *Coastal Zone '03: Proceedings the International Summer School – Workshop*. Lubiатовo, Poland. Edited by Z. Pruszk. Gdansk. 181 – 221.

207. Mory, M., Hamm, I. (1995). Experimental study of the flow around a breakwater. *Coastal Dynamics '95: Proceedings the International Summer Conference*. Lubiатовo, Poland. Edited by Z. Pruszk. Gdansk. 501 – 512.

208. Palmer, H. R. (1834). *Observations on the motion of shingle beaches*. Philosophy Transacts Royal Soc., London. Vol. 2. 3 – 85.

209. Pruszk, Zb., (2003). Marine basins. *Outline of physical processes and environmental engineering*. IBW PAN, Gdańsk, 272 p.

210. Pruszk, Zb. (1998). *Dynamika brzegu i dna morskiego*. Gdansk: Wydaw. IBM PAN. 463 p.

211. Shepard, F. P., Wanless, H. R. (1971). *Our changing coastlines*. N. Y.

212. Shuisky, Yu. D. (1982). Wave drag layer. *Encyclopedia of Beaches and Coastal Environments*: M. L. Schwartz, ed. Stroudsburg: Hutchinson Ross Publ. Co. (USA): 857 - 859.

213. Shuisky, Yu. D. (1990). Regularities of development of artificial sandy beaches in the coastal zone of the Black Sea. *Resumes II Congreso de Ciencias del Mar en 18-22 Junio. - La Habana, Cuba*: 201.

214. Shuisky, Yu. D. (1992). Impact of sea-ports constructions on dynamics of connected natural shores within untidal seas. *Island Environment and Coastal Development*: Edited by Wang Ying & C.T. Schafer. Nanjing: Nanjing Univ. Press.: 127–139.

215. Shuisky, Yu. D. (1994). An experience of studying artificial ground terrace as a mean of coastal protection. *Ocean & Coastal Management*. Vol. 22 (2): 127 – 139.

216. Shuisky, Yu. D. (1997). Strategy of construction within the marine coastal zone in relation with coastal dynamics. *Cahiers Nantes (France)*. № 47-48. 439 – 444.

217. Shuisky, Yu. D. (2003). Experience of efficiency of the protective complex along the Black Sea shoreline within Odessa City territory. *Coastal Zone '03: Proceedings the International Summer School – Workshop*. Lubiatovo, Poland. Edited by Z. Pruszek. Gdansk: 309 – 336.

218. Shuisky, Yu. D., Nguyen Van Cu, Nguyen Thao Huong. (1994). Nghiên cứu sa bồi luồng tàu và biện pháp phòng chống. *Tuyển Tập Các Công Trình Nghiên Cứu Địa Lý*. Ha Noi: NXB Khoa Hoc Va Ky Thuat. 207 – 223.

219. Shuisky, Yu. D., Schwartz, M. L. (1988). Human impact and rates of shore retreat along the Black Sea coast. *Journ. Coastal Research*. V. 4. № 3. 405 – 416.

220. Shuisky, Yu. D., Schwartz, M. L. (1979). Natural laws in the development of artificial sandy beaches. *Shore & Beach (USA)*. V. 47. № 4. 33 - 36.

221. Shuisky, Yu. D., Vykhovanetz, G. V. (2017). Contemporary dynamic of sandy accumulative forms in the coastal zone within the Black Sea. *Slovak International Scientific Journal (Bratislava)*. № 11. 22 – 33.

222. Vollbracht, K., (1957). Die Beziehungen zwischen Windrichtung und materialversetzender Wellenenergie. *Acta Hydrophys*. 4(1): 49-65

223. Walker, J. H. (1988). *Artificial Structures and Shorelines*. Amsterdam: Kluwer Acad. Publ. 709 p.

224. Wong, P.P. (1985). Singapore. *The Worlds Coastline*: Eric C. F. Bird & M.L. Schwartz, Editors. New York: Van Nostrand Reinhold Co. 797 – 802.

225. Wortman, H. (1910). Bau der Hafен an sandigen Küsten. *Zeitschrift XI Schiffahrt. Congress in 1908, Bruxelles*. 73 – 81.

226. Zaromskis, R., Gulbinskas, S. (2018). *Krantodara ir krantotvarka*. Klaipėdos Univer. Leid., 260 p.

Навчальне видання

Юрій Дмитрович Шуйський

**ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ
В БЕРЕГОЗНАВСТВІ**

Монографія

Російською мовою

Підписано до друку 14.12.2022 р.
Формат 60×84/16. Папір офсетний. Гарнітура TimesNewRoman
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 17,43. Наклад 300 прим.
Зам. № 1401/1

Надруковано з готового оригінал-макета у друкарні «Апрель»
ФОП Бондаренко М. О.
65045, м. Одеса, вул. В. Арнаутська, 60
Тел.: +38 (048) 235 79 76
info@aprel.od.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців ДК № 4684 від 13.02.2014