

EXOGENOUS TRANSFORMATION OF THE WATER RESERVOIRS' COASTS AT FLOODPLAIN-TERRACE COMPLEX (THE KAMA RIVER BASIN AS AN EXAMPLE)

N.N. NAZAROV

Summary

On the coasts of water basins floodplain-terrace complex there are many exogenous processes of apparent minor significance which however have obvious impact on the coastal landforms. For almost half of the shore-line they are the single cause of the shore morphology changes. For instance on the surface of the shallows the deep (up to 40 cm) cracks appear, which are permanently widening due to inflation. The peat island had been anchored near the bay at the Visim village (the left bank of the widest part of the Kama water reservoir) and blocked the drift of deposits which caused the widening of the beach and terrace appearance. The tube erosion in the detached and sunk blocks, landslides and earth-falls leaned against the cliff. Diameter of the tubes reaches 1.5 m at the mouth, their length – more then 4 m. The most density of the erosion tubes (10–15 / 100 m) occurs at abrasion-earth-fall and abrasion-landslide types of the bank consisting of deluvial loam. Deflation may remove from the slope 5–7 cm of sand under the conditions of dry and windy weather during 3–5 days.

УДК 551.4.08:551.435.36(261.24)

© 2014 г. З. ПРУШАК*, Р. ОСТРОВСКИЙ*, А.Н. БАБАКОВ**, Б.В. ЧУБАРЕНКО**

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУН В КАЧЕСТВЕ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

* *Institute of Hydro-Engineering PAS in Gdańsk; zbig@ibwpan.gda.pl*

** *Атлантическое отделение Ин-та океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Калининград; babakov_temp@mail.ru*

Введение

Практика защиты берегов от размыва насчитывает несколько столетий. Первоначально создавались разнообразные продольные берегозащитные сооружения пассивного типа – волноотбойные свайные стенки, дамбы, каменные бермы, хворостяные заборы. Лишь в XVII в. в Англии были изобретены поперечные берегозащитные сооружения активного типа – буны, прообразом которым послужили обычные портовые молы [1].

Со временем конструкции бун становились все более разнообразными и эффективными, учитывающими особенности морфологии берегов и синоптических процессов. Они получили широкое распространение в Голландии, Франции, Дании и Германии, а затем и во всем мире. На абразионных берегах Дании построено примерно 200 бун, Германии – 900 [2], Польши – порядка 600 [3]. В России первые буны появились в 1883 г. в Одессе у Большого Фонтана, затем в 1908 г. на черноморском побережье Кавказа в Гаграх [1]. На песчаных берегах восточной Пруссии первые буны были сооружены в 1874 г. в корневой части Куршской косы, а их массовое строительство пришлось на начало XX в. [4].

В настоящий момент для открытых песчаных берегов южной и юго-восточной Балтики буны являются традиционными берегозащитными сооружениями, которые создавались в основном до 40-х гг. XX в. в виде групповых конструкций в пределах береговых сегментов, подвергающихся активной абразии [4–15].

Обследования берегов, проведенные авторами в 2008–2012 гг., показали, что в Германии и Польше буны находятся в хорошем состоянии благодаря регулярному ремонту

и строительству новых систем бун, что способствует эффективной защите берега. Иная картина наблюдается на калининградском побережье. Сохранившиеся с послевоенного периода буны, а их насчитывалось более 220 [9, 10], в настоящий момент находятся по большей части в полуразрушенном состоянии. Это связано с тем, что бунам не уделялось должного внимания, поскольку послевоенная концепция берегозащиты на калининградском побережье была ориентирована на создание волноотбойных береговых стенок и променадов. В результате, ценой потери пляжей перед такими сооружениями, была решена задача защиты важных участков берега от дальнейшего размыва и отступления. Данная концепция, применявшаяся немцами до середины второй половины XIX в., привела к аналогичным результатам и была переориентирована ими на создание берегозащитных конструкций поперечной ориентировки – систем бун [4].

В настоящий момент для российских берегов Юго-восточной Балтики характерна смена парадигмы берегозащиты [16]. Во-первых, применение методов активной защиты рекомендуется только в местах развития рекреационной деятельности или на аварийных участках берега. Во-вторых, происходит отказ от идеи “удержания” на месте абразионных уступов путем строительства в их основании жестких сооружений (стенок и опоясок) в пользу применения более мягких способов защиты – отсыпок искусственных песчаных пляжей, которые одновременно являются наиболее естественной защитой для абразионных уступов, а также обладают огромной рекреационной притягательностью и ресурсом.

Хотя буны имеют свои недостатки и ограничения в применении (которые будут обсуждаться ниже), тем не менее, они остаются наиболее распространенным типом берегозащитного сооружения, широко используемым на открытых песчаных и галечных берегах, в том числе совместно с искусственной отсыпкой и в комплексе с прерывистыми волноломами [2, 15, 17–21].

Влияние бун на транспорт наносов и эффективность защиты берега исследуется в течение многих десятилетий и к настоящему времени достаточно хорошо изучено [5, 14, 17–19, 22–25]. В последнее время появился ряд работ, детально описывающих результаты многолетних натурных наблюдений за работой бун с предложениями повышения эффективности защиты берега от абразии [1, 18, 21, 26–31]. Основное внимание в них уделяется оценке поведения системы “буны – морской берег” на локальных участках побережья в различных условиях окружающей среды.

В научной литературе и периодической печати постоянно возникают дискуссии о неэффективности и даже вредности строительства бун [1, 4, 8–12, 32–34] или, наоборот, – об их позитивном воздействии на береговую зону и о необходимости восстановления старых и создания новых систем бун [5–7, 14, 15, 19, 20, 22, 26, 35, 36]. Основной аргумент противников бун – они порождают низовой размыв берега, что, в целом, справедливо. Сторонники же утверждают, что низовой размыв можно исключить отсыпкой рыхлого материала в подветренной зоне бун. Встречаются и неоднозначные оценки, признающие строительство бун только в пределах наиболее ценных участков берега [17, 18, 23], или при условии четко выраженного вдольберегового перемещения наносов, или искусственной отсыпки песка в межбунные карманы [7].

Задача настоящей статьи заключается в обобщении¹ основных результатов натурных и модельных исследований, ориентированных на оптимальное использование бун

¹ Настоящее обобщение подготовлено в рамках межакадемического сотрудничества Российской (АО ИО РАН) и Польской академий наук (ПАН) в ходе выполнения темы “Развитие научных основ защиты берегов южной Балтики”, а также частично в рамках исполнения раздела по трансграничному сотрудничеству темы “Научное обеспечение мероприятий по формированию системы управления морским побережьем Калининградской области, улучшению его состояния и защите от негативного природного и антропогенного воздействия” (шифр темы 1905–17–12, № ГР 01201268483), выполненной АО ИО РАН в рамках реализации федеральной целевой программы “Мировой океан” на 2012–2013 гг. по заказу Министерства экономического развития РФ.

для защиты морских берегов и касающихся понимания механизма взаимодействия бун с вдольбереговым потоком наносов применительно к пологим песчаным берегам Балтийского моря.

Взаимодействие бун с берегом и потоком наносов

Несмотря на большое количество исследований, касающихся влияния бун на берег, до сих пор нет ответа на вопрос: почему при схожих геолого-геоморфологических характеристиках берега и волнового режима на одном участке побережья буны эффективно защищают берег от разрушения, а на другом, напротив, оказывают негативное воздействие, способствуя развитию низового размыва? В связи с этим можно выдвинуть тезис о том, что эффективность воздействия бун на состояние берега в каждом случае зависит не только от локальных природных условий, но и от специфических, на первый взгляд могущих показаться несущественными, конструктивных особенностей бун и их технического состояния, что будет рассмотрено ниже.

Среди природных условий важную роль, помимо локальных морфологических параметров берега, играют наличие и удаленность источников питания вдольберегового потока наносов, направленность преобладающего перемещения рыхлого материала, бюджет наносов в береговой зоне, а также особенности разномасштабных гидро- и морфодинамических процессов [9, 14, 17, 22, 31].

Целесообразность строительства или отказа от использования бун на конкретном участке побережья в целом определяется величиной и направлением результирующего потока волновой энергии и количеством наносов на подводном склоне, а также ожидаемым диапазоном изменения этих параметров. Ключевым условием эффективной работы бун является их применение на участках побережья со значительным объемом осадков, поступающих на подводный склон естественным путем, либо за счет искусственной подпитки [7, 14, 15, 18, 22, 23].

В наиболее общей форме механизм морфодинамического влияния системы бун на берег представлен на рис. 1 и заключается в том, что буны перехватывают часть вдольберегового потока наносов, а в межбунных карманах возникают циркуляционные движения вод. В результате происходит переформирование линии берега: в межбунных карманах урез приобретает форму глубоко вогнутых часто асимметричных дуг [31].

Если вдольбереговая составляющая потока наносов мала по сравнению с поперечной, то, независимо от наличия рыхлого материала, буны практически не будут стимулировать его накопление. В этих случаях строительство бун нецелесообразно [28], тогда как продольные конструкции в виде прерывистых волноломов могут дать заметный положительный эффект.

Когда поток волновой энергии велик, а волны подходят к берегу под острым углом, вдольбереговая составляющая потока – значительна, и при достаточном количестве рыхлого материала на подводном береговом склоне буны частично перехватывают перемещаемые вдоль берега наносы, способствуя естественной подпитке береговой зоны и стабилизации берега. Но, если количество рыхлого материала на подводном склоне ограничено, эффективность работы бун будет низкой. В этих случаях для предотвращения абразии следует применять искусственную подпитку берега [13–15].

Опыт показывает, что при достаточном количестве рыхлого материала на подводном береговом склоне буны способствуют аккумуляции наносов в межбунных карманах, особенно в течение первых нескольких лет, а в дальнейшем – поддержанию берега в стабильном состоянии [13, 15, 18, 25, 37]. На участках с малым количеством наносов пляж не настолько широк, чтобы происходила полная диссипация волновой энергии в период сильных штормов. В результате наблюдается значительная абразия берега, которую буны не в состоянии предотвратить, а могут лишь отчасти сдерживать [14, 15, 27].

При наличии бун размытый после шторма пляж быстрее восстанавливается. Однако влияние бун не настолько велико, чтобы возобновились процессы формирова-

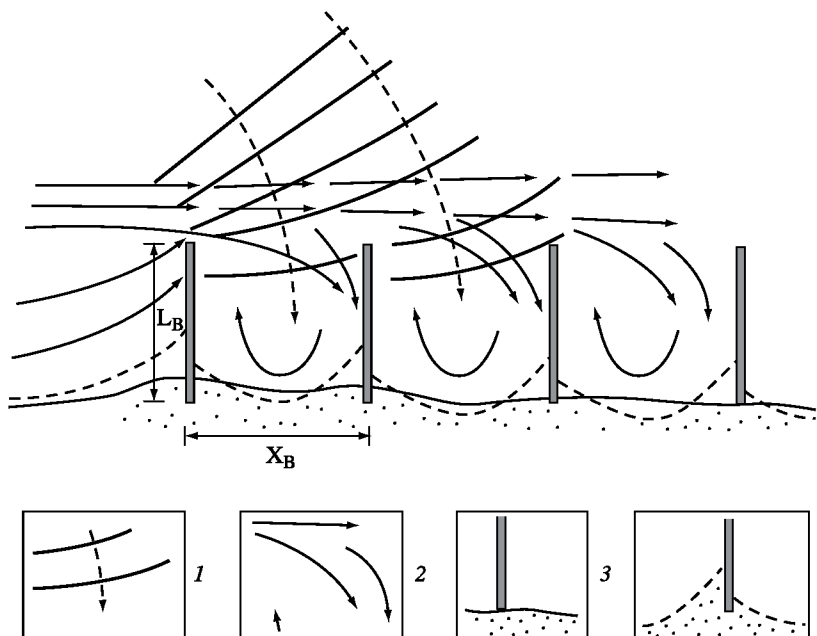


Рис. 1. Схема потоков наносов и возможных деформаций контура берега после установки серии непроницаемых бун [31]

X_B – длина выдвижения буны в море, L_B – межбунное расстояние.

1 – луч и гребни волн, 2 – направление течений и вдольберегового потока наносов, 3 – естественный контур берега до строительства бун, 4 – береговая линия после сооружения бун

ния авандюны, т.е. размывтая авандюна остается в том же состоянии. Поэтому роль бун ограничивается ослаблением процесса абразии берега примерно на 30–35% [29] и не гарантирует его полную защиту [14, 15, 27, 38]. Эффективность работы бун существенно возрастает при их совместном использовании с волноломами. Так, в пределах защитной системы бун с волноломами в Одессе потери отсыпанного песка составляли в разных ячейках от 2 до 17% в год при среднем значении за 6 лет (1964–1970 гг.) – 5% [18].

Изложенные примеры взаимодействия бун с потоком наносов и берегом касаются средних многолетних природных условий. Однако количество поступающих с берега наносов, а также объем и направление их вдольберегового перемещения меняются во времени. Следовательно, краткосрочная перестройка конфигурации береговой черты в отдельные периоды может не соответствовать многолетней тенденции [15].

Поскольку основная роль бун заключается в задержании наносов, перемещающихся вдоль берега, одним из ключевых геометрических параметров является их длина. Подбор оптимальной длины бун для конкретного участка берега важен, поскольку длинные буны хотя и перехватывают большее количество наносов, но, в то же время, способствуют развитию интенсивного низового размыва. Короткие же буны менее эффективно восстанавливают берег. Как следует из исследований [30], при равенстве глубины на конце буны (h_k) значимой высоте волн на глубокой воде (H_s) объем задерживаемых наносов составляет 40% от всего вдольберегового потока (Q_s). Понятно, что удлинение бун приведет к росту задерживаемого материала. Так, при $h_k/H_s \sim 3$ задерживается почти весь объем наносов (рис. 2).

Используя приведенную на рис. 2 функциональную экспоненциальную зависимость $(Q_p/Q_s) = \exp(-0.5 \times x^2)$, где $x = (h_k/H_s)$, Q_p – количество осадков, перемещаемых мористее бун, а Q_s – весь вдольбереговой поток наносов, можно сделать оценку улавливающей способности бун для южных берегов Балтики в зависимости от их длины и

энергии волнового воздействия. Принимая значимую высоту волны на глубокой воде равной $(H_s)_{av} \approx 1.3$ м, что соответствует средней энергии всех волн [39], и типичную глубину у головы буны $h_k \sim 1.5 \div 2.0$ м, получаем $h_k/H_s \sim 1.15 \div 1.33$. При таких гидродинамических параметрах и глубине на конце бун, из общего потока будет задерживаться до 50–60% объема наносов.

Подобная эффективность работы бун по перехвату наносов и стабилизации берега на защищаемом участке наблюдается при обеспечении основных литодинамических условий, таких как поступление наносов с соседних участков, искусственная отсыпка пляжа или наличие иных источников питания. Удерживающая способность бун возрастает также на участках с преобладанием штормового волнения, подходящего к берегу под острым углом [13–15, 40].

Однако следует отметить, что даже при достаточном количестве рыхлого материала на дне система бун, являясь искусственным сооружением, всегда будет провоцировать на берегу отрицательные явления. Одним из них является локальное углубление дна у оконечности бун за счет циркуляций вод в межбунных карманах и активизации компенсационного придонного оттока. Переуглубления дна у оконечностей бун достигают 25–150 см на расстоянии до 5 м у сплошных бун и 50–100 см – у проницаемых. Вторым, более существенным проявлением негативного воздействия системы бун на состояние берега является низовой размыв последнего [15].

Буны и особенности морфологии дна

Как следует из исследований [24], на берегах с подводными формами рельефа (валами и ложбинами) необходимо учитывать их влияние на эффективность работы бун по улавливанию наносов и стабилизации берега. Интересные результаты получены на побережье Польши, которое характеризуется наличием нескольких подводных валов [13, 20]. Эхолотные промеры, проведенные после искусственной отсыпки пляжа в 1985–1987 гг. вдоль ранее размываемого 400-метрового отрезка берега у пос. Кузница на косе Хель (участок закреплен бунами), выявили быстрое восстановление подводного вала и улучшение общего морфодинамического состояния берега. Однако повторные промеры, проведенные через 2 года, показали, что эффективность подпитки составила всего 24%, т.е. на пляже осталась всего четверть первоначального объема отсыпанного материала [20]. Многолетний польский опыт искусственной подпитки пляжей показывает, что наибольшая ее эффективность отмечается на участках берега с бунами при подаче материала непосредственно на пляж или на склон авандюны. При отсыпке песка непосредственно на пляж материал не так быстро уходит вдоль берега или на глубину, как в случае подводного его размещения

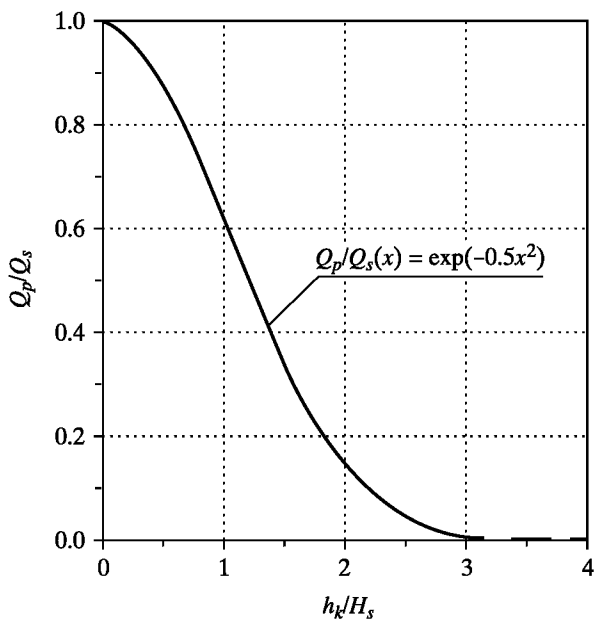


Рис. 2. Относительное количество пропуска транзитного материала, проходящего мористее бун, в зависимости от их длины [30]

Объем транзитного материала: Q_s – поступающего, Q_p – миновавшего буны; h_k – глубина у мористой оконечности бун; H_s – высота значимых волн на глубокой воде

[20], а при наличии бун песок удерживается на пляже на 30 % дольше, чем в случае их отсутствия [21].

Следует добавить, что подводные валы играют важную роль в процессе диссипации энергии волн. В работе [30] показано, что рыхлый материал дольше всего остается на берегу, когда поперечный профиль с валами близок к состоянию равновесия, вызывающая ступенчатую диссипацию волновой энергии. Более крутой подводный береговой склон в большей мере подвержен размыву, а берег на таком участке менее стабилен даже при наличии бун.

Система “берег – буны” и искусственная подпитка

Как показывают многолетние исследования, применение только бун не приведет к восстановлению песчаного берега, подверженного длительной устойчивой абразии. Построенная в начале XX в. серия бун на побережье Восточно-Фризских о-вов (Нижняя Саксония) не только не снизила темпы размыва пляжей, но даже местами их увеличила [29]. Лишь после искусственной подпитки пляжа (первая отсыпка на размываемые пляжи на участке с бунами была проведена на о-ве Норденей в 1951–1953 гг. в объеме 1.25 млн. м³) его размыв прекратился, а на отдельных участках произошло расширение пляжевой полосы. Оптимальные результаты были достигнуты там, где отсыпка производилась непосредственно на пляж в межбунные карманы, вплоть до корневых частей бун. Эти результаты подтолкнули Федеральное управление Нижней Саксонии к реконструкции и дополнительному сооружению серии бун в этом районе с одновременной отсыпкой песка в межбунные карманы. При этом из-за дефицита наносов было рекомендовано [28] периодически повторять подпитку пляжа на абразионных участках берега, т.к. ее прекращение привело бы к возобновлению абразии.

Проблема проницаемости бун

На берегах Балтики встречаются как сплошные (непроницаемые), так и ажурные (проницаемые) конструкции бун. Первые перекрывают часть зоны, где отмечается вдольбереговое перемещение наносов, тем самым, способствуя усилению локального нагона и компенсационного придонного оттока вод в межбунных карманах, особенно при высоких корневых частях бун, примыкающих к основанию клифа или подножию авандюны. Усиление поперечного оттока вод способствует выносу рыхлого материала в море, что приводит к размыву берега и подводного берегового склона [9]. Кроме того, в межбунных карманах возникает активная циркуляция, способствующая значительному размыву дна вблизи голов бун. Проницаемые буны, в сравнении с непроницаемыми, ослабляют активность циркуляционных движений, пропуская часть наносов вдольберегового потока между сваями.

Отдельная проницаемая бунa и система бун должны частично сдерживать поток наносов, но не задерживать его полностью. Оптимальное расстояние между сваями зависит от типичных волновых условий, крутизны подводного склона и экспозиции берега (угла подхода волн). Поэтому на разных участках берега степень проницаемости бун не должна быть одинаковой. Подбор оптимальной проницаемости бун для каждого участка берега с учетом отмеченных факторов необходим для повышения эффективности их работы. К настоящему времени не существует законченных теоретических построений для оценки оптимальных параметров проницаемости бун, а основным методом являются оценки по результатам исследований на гидравлических моделях [15, 20, 41].

Применяются конструкции со сменой степени ажурности буны, располагая слабо проницаемую ее часть вблизи уреза с постепенным увеличением расстояния между сваями в сторону моря [41]. Такая смена ажурности бун применяется для максимальной задержки наносов на урезе с постепенным увеличением их мобильности в сторону моря. Проницаемость бун может быть изменена уже после их сооружения в связи со сменой внешних условий [24]. Как показывают проведенные исследования, наилуч-

ший результат влияния бун на движение наносов и улучшение состояния берега отмечается при их проницаемости около 30% [30], хотя экстремальный пропуск с положительным эффектом может достигать до 50%, как в системе бун у Варнемюнде [41].

Дополнительным позитивным проявлением ажурности бун является ослабление компенсационного поперечного оттока вод. Размыв дна в непосредственной близости от ажурных бун, как правило, в 2 раза меньше, чем у сплошных [25, 41].

Пространственная геометрия бун

Береговые исследования в разных районах мира показывают, что при косом подходе вектора волновой энергии к берегу определенного контура можно усилить позитивное воздействие бун на берег путем изменения расстояния между бунами или их длины. Манипулирование этими параметрами способствует усилению дифракции волн у голов бун, увеличению угла подхода волн к линии берега до нормального, что сокращает вдольбереговую составляющую вектора энергии волн и потока наносов. Особенно типичен этот эффект для извилистых берегов [42].

Используется и другой способ уменьшения длины бун. Делается это главным образом на конечном участке системы бун (по ходу потока), что способствует ослаблению аккумуляции на центральном участке системы и активизации на низовом. Достигаемый таким способом сдвиг баланса наносов является неким компромиссом между аккумуляцией в районе бун и абразией (размывом) за ними.

В случае искусственной подпитки берега основной целью такой модификации является удлинение периода между очередными подсыпками. Натурные исследования и проведенные на их основе численные расчеты (временной масштаб 20 лет) на модели CERC [40] показали, что этим способом можно увеличить эффективность искусственного пополнения и удлинить периоды между очередными циклами подпитки на 20–25%. Например, в системе из 16 бун длиной 140 м каждая, с расстоянием между ними 350 м, глубиной замыкания 8 м и искусственной подпиткой песком $d_{50} = 0.4$ мм, уменьшение длины бун на 30 м привело к увеличению промежутка времени между очередными подпитками на 5-ти километровом участке с 3 до 4 лет. Процедура “укорачивания” бун привела к уменьшению аккумуляции на подходе к системе бун и в межбунных карманах на 480 000 м³. Одновременно на 410 000 м³ уменьшился объем низового размыва (рис. 3).

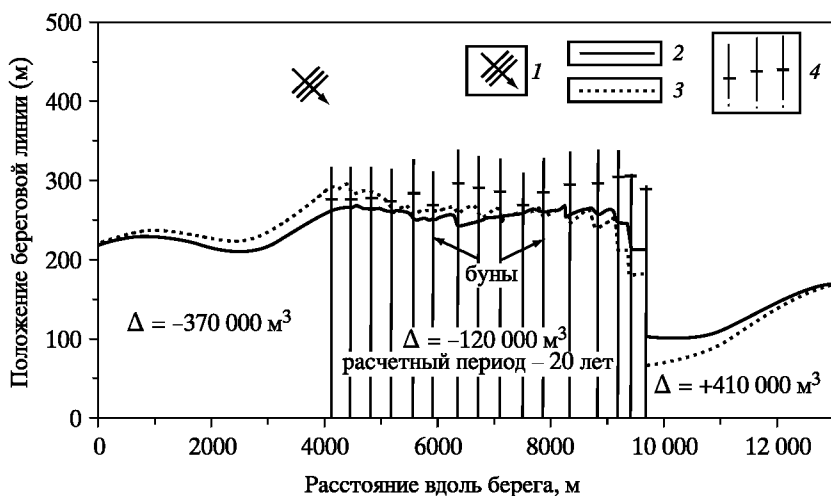


Рис. 3. Модельная оценка изменения положения береговой линии за период 1995–2015 гг. на подходе к системе бун, между ними и на низовом участке в случае укорачивания бун на 30 м [27]

1 – гребни и луч волны; береговая линия к 2015 г.: 2 – после укорачивания бун, 3 – с исходными бунами; 4 – система бун в исходном и укороченном состоянии

Высота (заглубление) бун

По аналогии с подводными волноломами, ориентированными параллельно берегу, для защиты которого иногда применяются подводные буны, ориентированные нормально береговой линии. Эти конструкции предназначены для задержания и аккумуляции влекомых наносов. На практике они применяются значительно реже, чем подводные волноломы. Из работы [43] следует, что система из 7 бун, возвышающихся над дном на 0.5 м и длиной 65 м, не вызывает заметного обмеления в межбунных пространствах, но инициируют низовой размыв берега, как и в случае надводных бун. В итоге потери превышают прирост.

Редко встречаются гибридные формы бун, объединяющие надводную конструкцию с возвышением на 0.5 м над уровнем водной поверхности с притопленной (подводной) частью. Эти сооружения частично выступают над поверхностью моря у их корней, а в головной части высота бун ступенчато понижается и опускается ниже уровня моря [30, 44].

Данное конструктивное решение способствует сглаживанию резкой гидродинамической границы между открытой мористой зоной и прибрежным участком с системой бун. Заглубленная часть буны продолжает выполнять свою роль – сдерживать вдольбереговой поток наносов, основная часть которого идет вдоль дна, но, в то же время, она не создает такой сильный отбойный поток внутрь межбунного кармана, который инициирует локальный нагон и поперечный вынос материала в море. Согласно работе [44], применение такого конструктивного решения дало обнадеживающий положительный результат – значительное уменьшение зоны абразии ниже по потоку.

Влияние разрушения бун на эффективность их работы

Как показывают натурные наблюдения, неразрушенные буны достаточно эффективно работают на широтно-ориентированных участках южного побережья Балтики с небольшим дефицитом наносов и косом подходе господствующего западного волнения к линии берега (рис. 4).

Однако берегозащитная функция бун начинает быстро снижаться по мере исчезновения отдельных свай, а особенно – при образовании сплошного прорана в теле бун. Эффективность их работы зависит также от местоположения прорана, в разной мере влияющего на гидродинамические условия в межбунном пространстве. В зависимости от места образования прорана можно выделить 3 основных типа разрушений отдельной буны, которые в разной мере снижают эффективность ее работы. К первому типу относятся разрушения буны в ее корневой части. Второй тип – исчезновение ряда свай в средней части, третий – на головном участке бун. Натурные наблюдения позволили сделать вывод о том, что при косоподходящем штормовом волнении максимальное негативное влияние на стабильность берега оказывают разрушения первого типа, т.е. возникновение прорана у корня буны (рис. 5).

Для проверки выявленной тенденции и оценки динамики вод и наносов в межбунном пространстве при различном состоянии бун с помощью трехмерной модели DELFT 3D (<http://oss.deltares.nl/web/delft3d>) были проведены численные расчеты² нестационарных течений и транспорта наносов между бунами, а также высот волн и изменения глубин на расчетном пространстве. Исходные высоты волн на глубокой воде принимались равными 1, 1.5 и 2 м, а угол их подхода к берегу – 45°.

В расчетах принято деление глубины на 10 слоев, т.е. минимальное расстояние от дна составляло 2.3% от глубины. Транспорт наносов был определен по формуле [45], напряжение в пограничном слое рассчитывалось в соответствии с пропорцией [46]. Предполагалось, что волны не перехлестывают через буны, а коэффициенты отражения от сооружения и их трансформации при проходе между сваями – 0.5. В модели

² Расчеты проводились в Институте гидротехники Польской академии наук (IBW PAN).



Рис. 4. Состояние участков берега с небольшим дефицитом наносов, защищенных системой ненарушенных бун на побережье Польши (А) и Калининградской области (Б)

принята длина всех бун 60 м от уреза, расстояние между бунами – 90 м. Протяженность рассчитываемой зоны вдоль берега – 500 м, в сторону моря – 1200 м. Сетка в пределах бун на протяжении 200 м от уреза – 5×5 м, от 200–1200 м – 15×15 м. Для выяснения морфодинамического воздействия волн и течений на подводный склон в расчетной области ложбина между урезом и валом, расположенным на расстоянии 150 м и глубиной над вершиной 2 м, выравнивалась от вершины вала до уреза, имитируя искусственную отсыпку песка мористее голов бун в ложбину.

Результаты численных расчетов скорости течений в условиях целых бун (рис. 6А) и при разных типах их разрушения (рис. 6Б–В) подтверждают возникновение повышенной активности вдольбереговых течений в межбунных карманах при образовании прорана именно в корне буны (рис. 6Б).

Причиной активного размыва в этой ситуации является вдольбереговое перетекание воды и взвеси из одного межбунного кармана в другой, достигающее даже большей скорости, чем при отсутствии бун, благодаря локальному нагону вод в межбунных карманах. Абразия в этом случае охватывает не только пляж, но и подводный склон.



Рис. 5. Активный размыв пляжа при разрушении корневой части бун на косе Хель (А) и на севере Самбийского п-ова у Зеленоградска (Б)

В случае разрушения свай в средней части буны также возникает вдольбереговой поток повышенной интенсивности с усилением локальной абразии дна, но из-за удаления от берега он не так активно влияет на пляж (рис. 6В).

Минимальный размыв берега и поперечный вынос материала наблюдается при третьем типе разрушения (рис. 6Г). Локальные изменения гидроморфодинамики, вызываемые укороченной буной, уже заметно удалены от берега в сравнении с 1 и 2 типом разрушения, и лишь немного ухудшают ситуацию в сравнении с целой буной.

Заключительные замечания

Суммируя опубликованную информацию об использовании бун в берегозащитных целях и результаты собственных исследований, можно заключить, что буны эффективно применимы не на каждом абразионном участке. Необходимость их строительства и

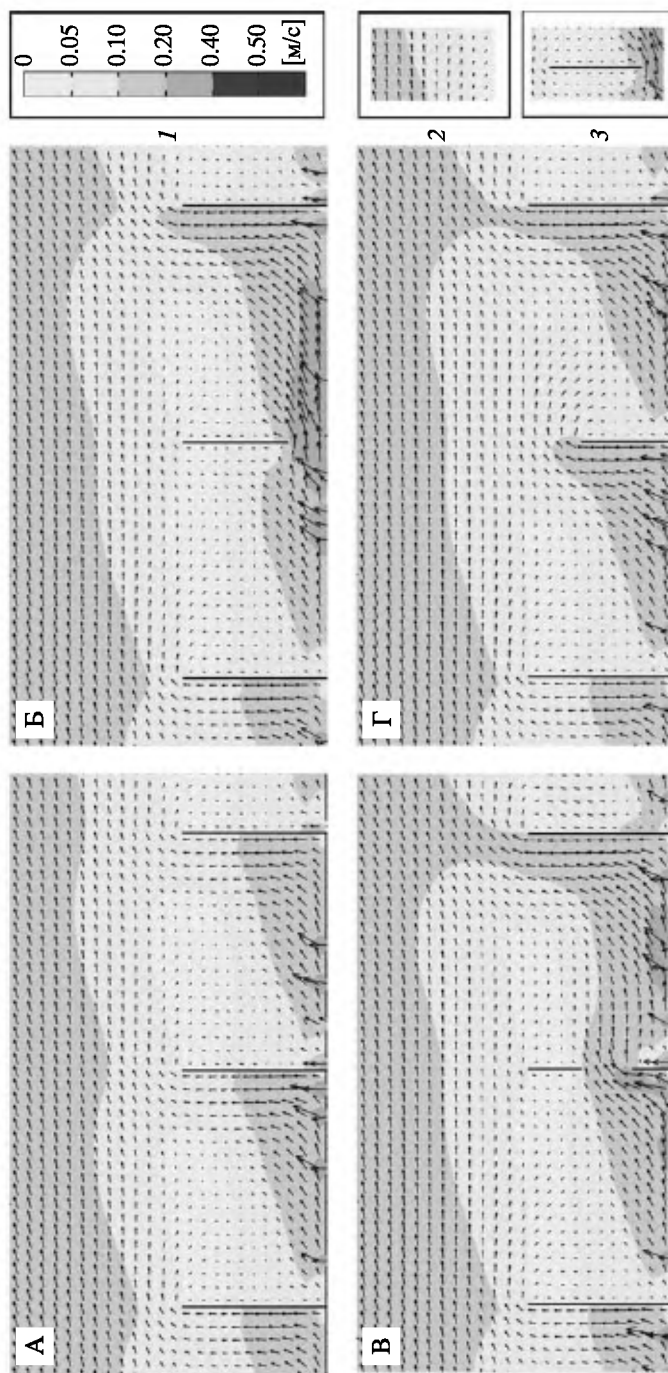


Рис. 6. Распределение векторов течений и морфодинамической реакции в межбунном пространстве и на прилегающем участке подводного склона при различных состояниях бун и косопадающем волнении

А – целые буны; Б – проран в корне центральной буны; В – проран в середине центральной буны; Г – центральная буна без концевой части.

1 – шкала скоростей течений (м/с); 2 – зоны умеренных течений ($V = 0-0.2$ м/с) по градициям скорости;

3 – участки формирования наносовдвигающих течений ($V > 0.2$ м/с) у проранов бун и в межбунных карманах.

Жирными стрелками указаны места максимальных скоростей течений

параметры конструкции не могут быть определены умозрительно – требуется проведение исследований и расчетов.

Результаты натурных и модельных исследований показывают, что эффективность применения бун на конкретном участке побережья зависит от экспозиции берега по отношению к господствующему ветро-волновому воздействию, величины и направления результирующего потока энергии волн, баланса наносов, а также ожидаемого изменения их величин в связи с появлением бунной конструкции. Важную роль играют конструктивные особенности бун, их протяженность, ориентировка и техническое состояние. Исходя из этого, можно сформулировать следующие рекомендации по условиям применения бун в качестве берегозащитных сооружений.

1. Строительство бун целесообразно, если результирующий поток волновой энергии подходит под острым углом к берегу, и имеется достаточное количество рыхлого материала на подводном склоне для формирования вдольберегового потока наносов.

2. В условиях дефицита наносов на подводном склоне и нормально ориентированном к берегу результирующем векторе волновой энергии, генерирующем преимущественно поперечные подвижки наносов, применение бун целесообразно только в комплексе с дополнительными берегозащитными мероприятиями. В случае дефицита наносов буны будут способствовать сохранности берега лишь при регулярной отсыпке рыхлого материала в межбунные карманы, а в условиях поперечного волнового воздействия – при сооружении прерывистых волноломов. Максимальный эффект достигается при совмещении этих берегозащитных мер.

3. Для повышения эффективности работы бун необходимо подбирать оптимальное соотношение длины бун к расстоянию между ними [19, 22]. При этом следует учитывать, что увеличение длины бун провоцирует активизацию низового размыва, а увеличение расстояния между ними нередко приводит к абразии берега в межбунных карманах. Ослабление низового размыва достигается “вписыванием” системы бун в контур берега за счет постепенного укорачивания краевых бун [40], а межбунная абразия исключается путем строительства промежуточных бун [18], а также подбором оптимальных конструктивных решений [19]. Эффективность этих мер существенно повышается при периодической отсыпке рыхлого материала, в первом случае – в теневой части системы бун [23], во втором – в межбунные карманы [1].

4. Рекомендуемое расстояние между бунами варьирует в зависимости от местных морфологических параметров подводного склона в пределах 1–2 длин бун [1, 23] и не превышает трех длин [19, 26]. При этом длина бун увязывается со значимой высотой волны на глубокой воде и уклоном подводного склона. Для удержания 40% всего объема вдольберегового потока наносов глубина выдвижения оконечностей бун должна быть равна результирующей значимой высоте волн на глубокой воде [31].

5. На абразионных участках берега с дефицитом наносов отсыпку песка в пределах системы бун предпочтительно проводить на пляже в межбунные карманы [29] и даже с большей эффективностью – в основание клифа или подножия авандюны [20]. При этом необходимо учитывать, что начавшуюся подпитку пляжа необходимо будет периодически повторять, иначе ее прекращение приведет к возобновлению абразии [29].

6. Для ослабления межбунной циркуляции вод, способствующей активному выносу материала в море, и повышения эффективности работы бун рекомендуется соблюдать оптимальную проницаемость бун от 30% [30] до 50% [41].

7. Для предотвращения активного выноса осадков из межбунных карманов во время экстремальных штормовых нагонов не рекомендуется строительство сплошных корневых частей бун в надводной части пляжа, примыкающих к основанию клифа или подножию авандюны [9].

8. Отсутствие нескольких свай в буне способствует усилению вдольберегового потока через брешь и активизации локальной абразии. Наиболее опасно для стабильности берега отсутствие свай у корня буны.

9. Длинные и неразрушенные буны увеличивают время сохранения пляжа и повышают стабильность берега в пределах системы бун. Искусственно отсыпанный на пляж песок примерно на 30% дольше удерживается в пределах системы бун в сравнении с участком берега без бун [21].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пешков В.М.* Береговая зона моря. Краснодар: Лаконт, 2003. 350 с.
2. *Зенкович В.П.* Из зарубежного опыта морской берегозащиты // Природные основы берегозащиты. М.: Наука, 1987. С. 149–153.
3. *Mielczarski A.* Wyniki badan I studioro nad topografia, morfometria I rejonizacja bregowo Baltyku od Rozewia do Swinoujscia // Materiały do monografii Polskiego brzegu morskiego. Gdansk. 1964. Zeszyt 6. P. 63–117.
4. *Басс О.В.* Воздействие техногенных факторов на морфолитодинамические процессы прибрежной зоны Юго-восточной Балтики: Дис. ... канд. геогр. наук. Калининград: КГУ, 2006. 147 с.
5. *Кнапс Р.Я.* О способах укрепления песчаных берегов // Тр. ВНИИ трансп. стр-ва. 1966. Вып. 40. С. 58–91.
6. *Кнапс Р.Я.* О принципах компоновки оградительных сооружений на песчаных побережьях // Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации береговых сооружений и морского транспорта / Сб. науч. тр. ЛенморНИИпроект. М.: Мысль, 1979. С. 3–16.
7. *Болдырев В.Л., Жиндарев Л.А., Константинова Е.И. и др.* Динамика берегов Калининградской области и вопросы их защиты // XII науч. конф. по изуч. морских берегов. 13–21 сентября 1971 г., Паланга–Нида. Вильнюс: Изд-во АН ЛитССР, 1971. С. 40–41.
8. *Болдырев В.Л.* Основные принципы укрепления песчаных берегов // Baltica. 1982. V. 7. P. 215–221.
9. *Лащенков В.М.* Система берегозащиты Калининградского побережья Балтики // Природные основы берегозащиты. М.: Наука, 1987. С. 154–165.
10. *Рябова О.И.* Опыт создания искусственных пляжей на калининградском побережье Балтийского моря // Создание искусственных пляжей и островов и других сооружений в береговой зоне морей, озер и водохранилищ / Тр. междунар. конф. 20–25 июня 2009 г. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 2009. С. 251–255.
11. *Басс О.В., Жиндарев Л.А.* Оценка воздействия техногенных факторов на литодинамические процессы береговой зоны // Прибрежная зона моря: морфолитодинамика и геоэкология / XXI междунар. береговая конф. Калининград–Светлогорск. Россия. 7–10.09.2004 г. Калининград: Изд. КГУ, 2004. С. 154–157.
12. *Bullow K.* Allgemeine Kustendynamik und Kustenschutz an der sudlichen Ostsee zwischen Trave und Swine // Beiheft zur Zeitschrift Geologie. 1954. № 10. 95 s.
13. *Basiński T., Onoszek J.* Oddziaływanie na profil i linię brzegową grupy ostróg ażurowych zbudowanych na Półwyspie Helskim w latach 1957 i na początku 1958 w ich pierwszym roku pracy // Materiały do monografii polskiego brzegu morskiego. PWN Gdańsk-Poznań. 1961. Zeszyt 1. S. 73–86.
14. *Basiński T., Pruszek Z., Tarnowska M., Zeidler R.* Ochrona brzegów morskich // Biblioteka Naukowa Hydrotechnika nr 17. Gdańsk: Instytut Budownictwa Wodnego, 1993. 536 s.
15. *Pruszek Z.* Groynes // 2009. www.coastalwiki.org/coastalwiki/groynes.
16. Концепция Программы комплексного развития берегозащиты в Калининградской области на период 2013–2020 годы. Протокол заседания правительства Калининградской области от 27.11.2012 г. № 185.
17. *Шуйский Ю.Д.* Опыт изучения защитных сооружений на песчаных берегах Черного моря // География и природные ресурсы. 1996. № 1. С. 37–43.
18. *Шуйский Ю.Д.* Развитие берегозащитных сооружений на берегу Черного моря в пределах Одессы // Причерноморский экологический бюллетень. 2010. № 4 (38). С. 56–80.
19. *Хомицкий В.В., Сокольников Ю.Н., Сидорчук В.Н. и др.* Исследование расчетных параметров оптимальных систем берегоукрепительных сооружений // Природные основы берегозащиты. М.: Наука, 1987. С. 179–187.
20. *Pruszek Z.* Polish coast – two cases of human impact // Baltica. 2004. V. 17. № 1. S. 34–40.
21. *Pruszek Z., Schoenhof J., Skaja M. et al.* Wpływ ostróg na skuteczność sztucznego zasilania brzegów Półwyspu Helskiego // Inżynieria Morska i Geotechnika. 2012. № 5. P. 593–597.

22. Сокольников Ю.В. Инженерная морфодинамика берегов и ее приложения. Киев: Наук. думка, 1976. 224 с.
23. Сафьянов Г.А. Береговая зона океана в XX веке. М.: Мысль, 1978. 263 с.
24. Fleming C.A. Principles and Effectiveness of Groins. Coastal Protection and Dredging Technology // Dutch Programme of Cooperation with Eastern Europe. Gdańsk, May 21–25. 1991. P. 1–37.
25. Badiei P., Kamphuis W., Hamilton D. Physical experiments on the effect of groins on shore morphology // Proceed. of the 24th Intern. Coastal Engineering Conf. ASCE, Kobe. 1994. P. 1782–1796.
26. Макаров К.Н. Основы проектирования берегозащитных сооружений. М.: ПНИИС Госстроя РФ, 1999. 222 с.
27. Hanson H., Thevenot M., Kraus C. Numerical simulation of shoreline change for longshore sand waves at groin field // Proceed. of the 25th Intern. Coastal Engineering Conf. ASCE, Orlando. 1996. P. 127.
28. Kunz H. Groynes on the East-Frisian Islands: History and experiences // Proceed. of the 25th Intern. Coastal Engineering Conf. ASCE, Orlando. 1996. P. 2128–2141.
29. Raudkivi A., Dette H. Reduction of sand demand for shore protection // Coastal Engineering. 2002. № 45. P. 239–259.
30. Nakamura S. Passage rate of bedload transport due to a groin in consideration of wave climate // Book of Abstract ICCE. 2010. P. 110.
31. Pruszek Z. Akweny Morskie. Zarys procesów fizycznych i inżynierii środowiska. Gdańsk: Wydawnictwo IBW PAN, 2003. 272 s.
32. Кикнадзе А.Р., Меладзе Ф.Г., Сакварелидзе В.В. От берегоукрепления – к регулированию берегоформирования // Проблемы развития морских берегов / Сб. тр., посвящ. 80-летию В.П. Зенковича. М.: Наука, 1989. С. 97–107.
33. Схема противооползневых и берегоукрепительных сооружений на побережье Балтийского моря в пределах Калининградской области. Т. 1. Кн. 1. Природные условия и гидрометеорологический режим Калининградского побережья Балтики. М.: Гипрокоммунстрой, 1999. 130 с.
34. Орленок В.В., Кружалин В.И., Жиндарев Л.А. Геоморфология и экология юго-восточного побережья Балтийского моря, проблемы его защиты, консервации и менеджмента // Прибрежная зона моря: морфолитодинамика и геоэкология / XXI междунар. береговая конф. Калининград–Светлогорск. Россия. 7–10.09.2004 г. Калининград: Изд. КГУ, 2004. С. 7–17.
35. Хабидов А.Ш., Марусин К.В. Литодинамические процессы у прямолинейного берега, защищенного Т-образными бунами // Проблемы управления устойчивым развитием прибрежной зоны моря / Тр. XXII междунар. береговой конф. Краснодар: Изд-во ЮФУ, 2007. С. 186–187.
36. Крыленко М.В., Косьян Р.Д. Стратегия защиты юго-восточного побережья Азовского моря и пути ее оптимизации // Проблемы управления устойчивым развитием прибрежной зоны моря / Тр. XXII междунар. береговой конф. Краснодар: Изд-во ЮФУ, 2007. С. 101–104.
37. Bacato L., Grosskopf W. Beach response to groins // Coastal Sediments, Westhamton, New York, ASCE, Naprapage, Long Island. 1999. V. 3. P. 2073–2089.
38. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд. АН СССР, 1962. 710 с.
39. Pruszek Z., Ostrowski R., Skaja M., Szmytkiewicz M. Wave climate and large-scale coastal processes in terms of boundary conditions // Coastal Engineering conditions. 2000. V. 42. № 1. S. 31–56.
40. Hanson H., Larson M., Kraus N. Modelling long-term beach changes under interacting longshore and cross-shore processes // Proceedings of ICCE, Shanghai. 2010. P. 1–15.
41. Trampenau T., Goericke F., Raudkivi A. Permeable pile groins // Proceed. of the 25th Intern. Coastal Engineering Conf. ASCE, Orlando. 1996. P. 2142–2151.
42. Schoonees J., Theron A., Bevis D. Shoreline accretion and sand transport at groynes inside the port of Richard Bay // Coastal Engineering. 2006. V. 53. P. 1045–1058.
43. Uno Y., Goda Y., Ono N. Suspended sediment based beach morphology model applied to submerged groin system // Book of Abstract ICCE, Shanghai. 2010. P. 307.
44. Dabees M., Moor B., Humiston K. Enhancement of t-groins design to improve down drift shoreline response // Proceed. of the 29th Intern. Coastal Engineering Conf. ASCE, Lisbon. 2004. P. 2423–2435.
45. Van Rijn L.C. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Aqua Publications, the Netherlands. 1993. 614 p.
46. Fredsøe J. Turbulent boundary layer in combined wave-current motion // Journ. Hydraulic Eng. ASCE, 1984. V. 110. № HY8. P. 1103–1120.

Поступила в редакцию 23.09.2013

THE MAIN PRINCIPLES OF THE GROINS USING AS A BANK STABILISATION BY THE GROINS

Z. PRUSHAK, R. OSTROVSKY, A.N. BABAKOV, B.V. CHUBARENKO

Summary

The review of field investigations and simulation results led to the conclusion that efficiency of groins use depends on two main factors: amount of free sediments on the bottom slope and angle of wave approach to the shore. The positive effect of groins use can be achieved when angle of approach is acute and sufficient amount of free material is available. Groins are not effective without additional supply of loose sediments if waves have nearly normal approach to shore and there is a deficit of free sediments. An increase of effectiveness of groins could be obtained by varying of their length, spatial step, and orientation. A reduction of downstream erosion is achieved by shortening the groins and adjustment of their complex to the shoreline contour, beach nourishment at the downstream areas, and using of permeable (30–50%) groins.

УДК 551.435.3(477.75)

© 2014 г. А.Ю. САНИН

ДРЕВНИЕ БЕРЕГОВЫЕ ЛИНИИ И СКОРОСТИ АБРАЗИИ БЕРЕГОВ ЮЖНОГО И ЗАПАДНОГО КРЫМА В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ

*Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва;
eather86@mail.ru*

В настоящее время для реконструкции хода фландрской трансгрессии и колебания уровня Черного моря за последние 18 тыс. лет используются как минимум два метода: геоморфологический [1, 2] и палеогеографический [3]. В меньшей мере они используются для реконструкции изменений уровня моря в более ранние эпохи. В рамках геоморфологического метода осуществляется поиск и исследование древних форм рельефа, главным образом, берегового, в частности, надводных и подводных морских террас, которые позволяют судить о палеогеографических обстановках. Сущность палеогеографического метода в нашем случае – определение возраста древних или современных форм рельефа либо отложений с помощью методов абсолютной геохронологии. Из них чаще всего используется радиоуглеродный, особенно для образцов с возрастом не более 20 тыс. лет. Как правило, эти два метода дополняют друг друга и применяются вместе.

Однако потенциально возможен еще один метод, который условно можно назвать морфологическим или морфосистемным [4]. Он подразумевает использование поперечных профилей современного подводного берегового склона и существующих кривых колебания уровня моря для реконструкции хода наступления моря на сушу. Такие кривые, составленные И.П. Балабановым и Я.А. Измайловым [5], А.А. Свиточем [6], П.В. Федоровым [7] и некоторыми другими, позволяют привязать ту или иную точку профиля к определенному времени. Подобная привязка дает возможность определить среднегодовой темп абразии за время, прошедшее с момента нахождения уровня моря в данной точке.

Цель статьи – применение указанного метода для реконструкции хода наступления моря на Южном берегу Крыма и в Западном Крыму и анализ полученных при этом результатов.

В ходе работы были поставлены следующие задачи:

– построение батиметрических карт для шельфа Южного и Западного Крыма на основе морских навигационных карт с указанными глубинами;