УДК: 551.435.31 **DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-85-97**

А.С. Богуславский[1], С.И. Казаков[2]

ОСОБЕННОСТИ ЛИТОДИНАМИКИ ГАЛЕЧНЫХ ПЛЯЖЕЙ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты исследования особенностей литодинамики галечных пляжей Южного берега Крыма на основе данных долговременного мониторинга состояния пляжей, выполняемого в Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне Морского гидрофизического института РАН в п.г.т. Кацивели.

Охарактеризовано долговременное изменение пляжа Лименской бухты за период с 1950 г. Выполнена оценка объема поступления и выноса гальки при смене ветро-волновых режимов на примере пляжа Лименской бухты и искусственных пляжей берегоукрепительных сооружений на участке береговой линии от п.г.т. Кацивели до п.г.т. Понизовка.

Наиболее влиятельным фактором формирования галечных пляжей Южного берега Крыма является смена вдольбереговых ветро-волновых режимов в масштабе времени «дни-месяцы», которая приводит к существенным колебаниям уровня моря у берега и соответствующей смене направлений придонных компонент скорости течения, перпендикулярных береговой линии. Наибольший расход и приход пляжеформирующего материала (до 1 м^3/сут на погонный метр пляжа) происходит во время штормов соответственно при ветро-волновых режимах восточного и западного направлений.

Наибольший необратимый вынос массы пляжеформирующих материалов при смене ветро-волновых режимов происходит с восточных и центральных участков бухт и искусственных пляжей берегоукрепительных сооружений, а частичное восстановление пляжей – на их западных участках.

Природные подводные рифы в прибрежной акватории бухт и искусственных пляжей берегоукрепительных сооружений способствуют сохранению в них пляжей.

Причиной постепенной среднемноголетней деградации пляжей может быть преобладание восточных штормовых ветров над западными в условиях блокирования естественного поступления пляжеформирующих материалов со стороны берега объектами береговой инфраструктуры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пляжи, формирование, литодинамика, ветро-волновой режим, придонные течения, мониторинг, Южный берег Крыма, геоинформация

[1] Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, 2, 299011, Севастополь, *e-mail:* **al_bhs@mail.ru**

[2] Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, 2, 299011, Севастополь, *e-mail:* **science@bshpg-ras.ru**

Alexander S. Boguslavsky[1], **Sergey I. Kazakov**[2]

FEATURES OF LITHODYNAMICS OF PEBBLE BEACHES AT SOUTH COAST OF CRIMEA

ABSTRACT

The results of the study of the peculiarities of lithodynamics of pebble beaches of the South Coast of Crimea based on the long-term monitoring of the state of beaches performed at the Black Sea Hydrophysical Subsatellite Proving Ground of the Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences in the settlement of Katsiveli are presented.

Long-term changes of the beach of Limensky Bay since 1950 and of beaches of the shore protection structures since 1988 are characterized. The volume of income and outcome of pebbles during the change of wind-wave regimes was estimated by the example of Limensky Bay beach and the artificial beaches of the coast protection structures in the coastline section from Katsiveli to Ponizovka settlement.

The most influential factor in the formation of the pebble beaches of the Southern Coast of Crimea is the change in alongshore wind-wave regimes in the “days-months” time scale, which leads to significant fluctuations in sea level near the coast and a corresponding change in the directions of the bottom current velocity components perpendicular to the shoreline. The largest expense and income of beach-forming material (up to 1 m^3/day per linear meter of beach) occurs during storms, respectively, with wind-wave regimes of the eastern and western directions.

The largest irreversible removal of the mass of beach-forming materials during the change in wind-wave regimes occurs from the eastern and central sections of the bays and artificial beaches of coastal protection structures, and partial restoration of beaches – on their western sections.

Natural underwater reefs in the coastal waters of bays and artificial beaches of shore protection structures contribute to the preservation of beaches in them.

The reason for the gradual average long-term degradation of beaches may be the predominance of eastern storm winds over western ones in conditions of blocking the natural income of beach-forming materials from the coast by the coastal infrastructure objects.

KEYWORDS: beaches, formation, lithodynamics, wind-wave regime, bottom currents, South coast of Crimea, geoinformation

ВВЕДЕНИЕ

Изучение процессов формирования и деградации пляжей составляет важный раздел в исследованиях состояния морских берегов и динамики береговых наносов. Наиболее полное описание состояния берегов и пляжей Южного берега Крыма (ЮБК) впервые выполнено В.П. Зенковичем [*Зенкович,* 1960]. Особенности современного состояния берегов Крыма и их исторические изменения рассматривались в работах Ю.Н. Горячкина, В.В. Фомина, В.Ф. Удовика [*Горячкин, Фомин,* 2020; *Удовик, Горячкин,* 2013] и других авторов.

Для территории Южного берега Крыма (ЮБК) – от г. Алушта на востоке до мыса Фиолент на западе – характерны берега абразионно-бухтового типа с немногочисленными галечными пляжами в бухтах. Около 40% длины береговой линии ЮБК занимают

[1] Marine Hydrophysical Institute RAS, Kapitanskaya str., 2, Sevastopol, Russia, *e-mail:* **al_bhs@mail.ru**
[2] Marine Hydrophysical Institute RAS, Kapitanskaya str., 2, Sevastopol, Russia, *e-mail:* **science@bshpg-ras.ru**

искусственные пляжи берегоукрепительных сооружений (бунирования). Галечные пляжи ЮБК являются защитным барьером берегов, а также имеют высокий рекреационный потенциал [*Орлова, и др.,* 2006].

Формирование пляжей и их физическое состояние определяются балансом поступления и выноса пляжеформирующих материалов (ПФМ) и их переработкой в результате активных высокоэнергетических процессов взаимодействия трех сред – суши, моря и атмосферы. Интенсивность и направленность этих процессов влияют на комплекс морфометрических параметров пляжа: ширину, протяженность, мощность, распределение гранулометрического состава пород ПФМ в зоне сопряжения суши и моря вдоль и поперек береговой линии. С другой стороны, состав и свойства пород (твердость, абразивность), размер, форма и окатанность гальки [*Wadell,* 1932], свидетельствуют об «истории» пляжа – его происхождении (источниках ПФМ), длительности кругооборота ПФМ в зоне пляжа, определяющей его устойчивость во времени.

Согласно результатам полевых исследований авторов [*Богуславский, и др.,* 2016], наиболее характерными ПФМ пляжей ЮБК являются:

– обломочный материал верхнеюрских известняков разных размеров от крупнозернистого известнякового песка, дресвы и щебня (0,01–0,1 м) до крупных скальных блоков размером 10 м и более в составе: береговых делювиальных отложений массандровской свиты, береговых участков скал и осыпей Главной гряды и отторженцев Крымских гор;
– обломочный материал сланцево-песчаникового делювия береговых и русловых обнажений таврической формации (западная часть ЮБК от Фороса до Лименской бухты);
– обломочный материал изверженных пород, интрузивных массивов и даек: Лименской вулканической группы (г. Пиляки, г. Хыр), вулканических групп Кастрополя и мыса Фиолент: андезито-базальтовые лавы и их туфы, пестрые яшмы преимущественно коричневатых и зеленоватых оттенков, роговики, кварцы, туфопесчаники, диориты, и др., палеогалька, рис. 1.

Рис. 1. Потенциальные источники ПФМ пляжей района исследований: 1 - обломочный материал верхнеюрских известняков; 2 – аргиллиты и песчаники таврической серии; 3 – вулканогенные породы и палеогалька береговых отложений

Fig. 1. Potential sources of beach-forming materials in the study area: 1 - clastic material of the Upper Jurassic limestones; 2 - mudstones and sandstones of the Taurian series; 3- volcanic rocks and paleo-pebbles of coastal sediments

Обломочный материал поступает в баланс пляжей под действием эрозионных процессов, в период паводково-селевого стока близлежащих водотоков – р. Лименка в Лименской бухте, Кацивельский ручей на южной оконечности мыса Кикинеиз.

Состояние пляжей, определяемое комплексом перечисленных показателей, может служить «барометром» экологического состояния берегов и должно рассматриваться как важный целевой элемент системы их комплексного геоэкологического мониторинга.

Факторы формирования галечных пляжей ЮБК были предварительно рассмотрены нами в работе [*Богуславский, и др.,* 2016] с разделением их на 3 группы – геологические, морские и атмосферные.

Из морских факторов по итогам выполненных исследований важным в условиях ЮБК является смена прибрежных ветро-волновых режимов. Аналогичный вывод приводится также в работе [*Inman, Filloux,* 1960] для северо-западного побережья Калифорнийского залива.

Для условий прибрежной зоны ЮБК [*Шулейкин,* 1968] максимальные скорости придонной компоненты течения, направленной от берега в море, достигаются при штормовых нагонных (восточных румбов) ветрах. У берегов ЮБК продолжительные ветры этих направлений, достигающие штормовой силы (до 20 м/с) обычно дуют в весенний период, что обусловлено значительным контрастом прогрева воздушных масс над морем и сушей. Во время таких ветров суммарное ветровое и волновое повышение уровня моря у берега в Лименской бухте может составлять от нескольких десятков сантиметров до метра и более, что приводит к развитию мощной компенсационной компоненты придонного течения, направленной в море и перемещающей гальку на более глубокие горизонты. При этом важную роль играет механизм разрывных течений, определяемый рельефом дна, в частности, наличием субмеридиональных ложбин в рельефе подводного склона.

Противоположная картина наблюдается при западном (сгонном) ветро-волновом режиме, когда под действием силы Кориолиса, отклоняющей поток вправо, происходит максимальное понижение уровня моря у берегов и отток поверхностных вод в море, в результате чего усиливается придонное течение, направленное в сторону берега [*Шулейкин,* 1968]. Для ЮБК характерны летние сгоны в середине июня. В зимний период в отдельные годы наблюдались мощные юго-западные циклонические штормы (январь 1966 г., ноябрь 1991 и 1992 гг., и др. [*Наумова и др.,* 2010]), прибой от которых достигал большой разрушительной силы. Во время этих штормов произошло наибольшее разрушение бун берегоукрепительных сооружений на наблюдаемом участке береговой линии.

В Черноморском гидрофизическом подспутниковом полигоне Морского гидрофизического института РАН (ЧГПП МГИ) в пос. Кацивели с 2016 г. выполнялся мониторинг состояния пляжей на Кацивельском участке береговой линии, который включает Лименскую бухту, участок естественного берега мыса Кикинеиз и участок берегоукрепительных сооружений от п.г.т. Кацивели до п.г.т. Понизовка.

Целью исследования являлось уточнение особенностей литодинамики пляжей ЮБК на примере указанных участков, оценка баланса ПФМ при смене вдольбереговых ветро-волновых режимов, а также оценка многолетних изменений состояния рассматриваемых пляжей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами исследования являлись следующие исходные данные: 1) состав и залегание в породах ПФМ, поступающих со временем в баланс пляжа в результате процессов эрозии и абразии, изменение геоморфологических условий береговой зоны – формы береговой линии, береговых обрывов, русел водотоков, по результатам предшествующих полевых геолого-геоморфологических наблюдений авторов [*Богуславский, и др.,* 2016]; 2) данные метеорологических параметров метеопоста ЧГПП

МГИ (скорость и направление ветра, высота волн в прибрежной акватории, атмосферные осадки); 3) данные уровня моря стационарной станции уровня моря ЧГПП; 4) данные скорости и направления прибрежных течений по результатам выполняемого мониторинга с океанографической платформы ЧГПП МГИ, а также имеющиеся литературные данные по скоростям и направлениям ветра и характеру волнения [*Наумова, и др.,* 2010, *Репетин, и др.,* 2008]; 5) имеющиеся исторические данные (фото, свидетельства старожилов) о состоянии пляжа Лименской бухты (морфометрических параметров, состава ПФМ, и др.) с 1950 г., и искусственных межбунных пляжей со времени их сооружения в начале 1980-х годов.

В целом методика исследований базировалась на регулярных натурных наблюдениях на контрольных участках морфометрических параметров (длины, ширины, мощности) отдельных массивов пляжа, гранулометрического состава ПФМ и их изменения со временем, в зависимости от смены ветро-волновых режимов.

Для измерения размеров и объема характерных участков пляжа и их изменений (валов или выемок) в результате штормов, использовались обычные инструменты – рулетка, вешки из арматуры, а также отметки на устойчивых крупных камнях, бунах, противоволновых «ежах», высота и поперечные размеры которых на контрольных участках были вымерены заранее и известны.

Эффективным методом является фотометрия – сравнение фотоснимков контрольного участка пляжа до и после шторма или смены ветро-волнового режима. При нагонном шторме прибой захватывает ПФМ с пляжа, формируя отчетливую выемку на ширину зоны заплеска прибоя в сторону берега от предшествующей шторму линии уреза воды. При сгонном шторме прибой в зоне заплеска формирует свежий «вал» ПФМ в сторону моря от прежней линии уреза воды. При сильных сгонных штормах на пляжах ЮБК ширина зоны заплеска отчетливо определяется на фото по наличию обрывков водрослей цистозиры (бородача), сорванных с подводных камней мощными придонными потоками. Эти водоросли имеют плавучесть, близкую к нулевой, и легко выбрасываются прибоем на берег.

При фиксации изменения морфометрических параметров пляжа после шторма в случае нагонного режима (расход ПФМ с пляжа) замерялся объем выемки ПФМ, а в случае сгонного режима (приход ПФМ на пляж) – объем свежего вала ПФМ на единицу длины вдольбереговой линии по урезу воды. Изменение массы ПФМ при этом подсчитывалось на основе оценки их средней плотности. Гранулометрический состав и плотность ПФМ определялись путем отбора и взвешивания проб фиксированного объема (обычно ведерко 5 л) на ручных пружинных весах. Погрешность определения изменения объема и массы ПФМ по нашим оценкам изменялась в пределах 10%, в зависимости от размера и сложности формы замеряемого «тела» пляжа.

Для изучения формы пляжей бухт и межбунных промежутков на протяженных участках использовались детальные космоснимки (Landsat, и др.), доступные в известном приложении «Гугл Планета Земля».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценено историческое изменение состояния пляжа Лименской бухты с 1950 г. и межбунных промежутков на участке берега от п.г.т. Кацивели до п.г.т. Понизовка (с 1978 г.). По рассказам старожилов, в западной части бухты ширина галечного пляжа достигала 40 м, постепенно сужаясь к востоку (до устья р. Лименка) до 10 м. Далее к востоку, у подножья г. Кошка, расположены мощные хаотические навалы крупных скал, которые практически не изменились. На рис. 2(1) показано фото Лименской бухты 1950 г.

На фото заметны характерные шлейфы фрагментов водорослей цистозиры (бородача), которые соответствуют границе зоны заплеска прибоя при сгонных западных штормах. Рис. 2(2) и 2(3) – современные фото восточной и западной части бухты.

Рис. 2. Деградация галечного пляжа Лименской бухты.
1 – 1950 г.; 2, 3 – современное состояние: восточная часть бухты (2),
западная часть бухты (3)

Fig. 2. Degradation of the pebble beach in Limensky Bay.
1 – 1950; 2, 3 – present state: east part of the bay (2),
west part of the bay (3)

В 1960-е годы производился интенсивный отбор гальки Лименского пляжа на строительные нужды, что имело место также и на других пляжах ЮБК (за исключением пляжей санаториев и правительственных дач). В результате, уже к концу 1970-х годов в восточной части бухты (район Аквапарка) имели место подмыв и частичное обрушение берегового обрыва с понижением вышележащих отметок поверхности земли примерно на 5 м и обрушением дороги Кацивели-Симеиз.

В 1980-е годы, во избежание дальнейших разрушений, на месте бывшего пляжа восточной части бухты был произведен навал глыб пород и противоприбойных бетонных «ежей», рис. 2(2), а в западной части, в целях безопасности радиотелескопа РТ-22, сооружены две буны с искусственным пляжем в межбунном промежутке, рис. 2(3). Интенсивное строительство берегоукрепительных сооружений с бунированием и созданием искусственных межбунных пляжей в эти годы было выполнено практически вдоль всей береговой линии ЮБК.

Ширина пляжа в западной части бухты с 1950 г. сократилась с 30–40 м до 20 м (в центре межбунного промежутка), а в восточной части с 10–20 м до 5 м и менее.

Из 25 межбунных промежутков участка «Кацивели-Понизовка» к западу от мыса Кикинеиз остатки пляжа сохранились только в 4 промежутках в небольших бухтах, где они были и в естественном состоянии до начала берегоукрепительных работ. Наибольшие разрушения берегоукрепительных сооружений произошли на мысовых частях берега, где наблюдается конвергенция силовых линий прибоя вдоль нормалей к его фронту, в отличие от их разрежения в бухтах. Во всех мысовых межбунных промежутках искусственные пляжи полностью исчезли. В результате мощных циклонических осенних штормов преимущественного западного направления большая часть бун были разрушены полностью или частично, рис. 3.

Рис. 3. Полуразрушенные берегоукрепительные сооружения мысового участка берега в районе Понизовки: 1-с полностью вымытым материалом искусственных пляжей, 2 – с частично сохранившимся пляжем

Fig. 3. Half-destroyed shore protection structures of the cape section, in the Ponizovka coast: 1 - with completely washed out material of artificial beaches, 2 – with a partially preserved beach

Рассмотрим более детально влияние смены ветро-волнового режима на литодинамику пляжа Лименской бухты. Наиболее показательная смена ветро-волнового режима наблюдалась весной 2017 г. Западный ветер умеренной силы (10–15 м/с) наблюдался в течение суток 28 марта. Высота волн прибоя достигла 1,5–2 м. Ночью 29 марта ветер утих, и до утра продолжалась юго-западная зыбь. При этом урез воды, отошедший примерно на 1,5 м в сторону моря, вернулся обратно, рис. 4(А). С 31 марта подул уже восточный ветер 10–15 м/с, т.е. примерно той же силы, что и предшествующий западный. Высота волн прибоя достигла 1,5–2 м, как и в случае предшествующего шторма. Через сутки ветер утих, и в течение нескольких дней море было спокойным, что позволило произвести оценку изменения массы гальки по отметкам выступающих камней и противоволновых бетонных «ежей» в полосе прибоя. Днем 5 апреля была произведена съемка того же участка пляжа, рис. 4(Б).

Рис. 4. Изменение морфометрических параметров пляжа на контрольном участке Лименской бухты после смены западного ветро-волнового режима на восточный

Fig. 4. Changes in the morphometric parameters of the beach at a site of the Limensky Bay after the change of the western wind-wave regime to the eastern one

Результаты замера показали, что произошел вынос в море слоя гальки шириной порядка 1,5 м и мощностью 30–40 см. Преобладающий размер гальки 3–5 см. С учетом рассчитанной плотности гальки 1,6 кг/дм^3, удельный объем выноса составил 0,84 т на погонный метр пляжа.

Вечером 5 апреля ветер сменился на западный, и ночью на 6 апреля достиг штормовой силы 10–15 м/с при высоте волн до 2 м. К концу дня 6 апреля западный ветер утих, и были произведены замеры морфометрических параметров пляжа. На рис. 5 показано изменение пляжа Лименской бухты на трех участках в течение указанных суток.

Рис. 5. Изменение морфометрических параметров пляжа на трех контрольных участках Лименской бухты после смены восточного штормового ветра на западный

Fig. 5. Changes in the morphometric parameters of the beach at three control sites of the Limensky Bay during the day after the change of the east storm wind to the west one

Оцененный в среднем по трем участкам суточный выброс ПФМ после шторма составил примерно 1 м^3 гальки (1,6 т) на погонный метр пляжа.

По результатам выполненных наблюдений можно сделать вывод, что в условиях ЮБК наиболее влиятельным пляжеформирующим фактором, работающим в масштабе времени «дни-месяцы», является смена ветро-волнового режима с восточного на западный и обратно. Существенное значение имеет угол фронта прибоя к береговой линии и высота волн, а также тип волнения – ветровая волна, зыбь, ветровая волна на фоне зыби, толчея [*Наумова, и др.,* 2010]. При вдольбереговых ветро-волновых режимах, в результате трения у дна на мелководье, нормаль к фронту волн прибоя вблизи берега отклоняется от направления ветра примерно на угол 45° в сторону береговой линии.

В межбунных промежутках берегоукрепительных сооружений, ввиду резких изломов искусственной береговой линии по отношению к фронту прибоя, естественное воздействие смены придонных течений на литодинамику пляжей нарушается.

Рис. 6. Фото межбунного промежутка при восточном (1) и западном (2) ветро-волновом режиме на наблюдаемом участке берегоукрепительных сооружений. Стрелками показано направление переноса пляжеформирующих материалов

Fig. 6. Western (1) and eastern (2) wind-wave regime at the observed section of shore protection structures. Arrows show directions of beach-forming material transport

Во время восточного (нагонного) режима, рис. 6(1), при подходе фронта волны к восточной буне промежутка на мысовой части береговой линии, ближняя к берегу часть волны «обрезается» буной, а дальняя в результате дифракции претерпевает дополнительный поворот в сторону берега, и, попадая в промежуток, накатывается на пляж. В это же время к центру промежутка приходит и часть волны, отраженная от следующей к западу буны. В результате в центре промежутка, как в фокусе, эти два потока объединяются. Таким образом, имеет место резонанс, приводящий к резкому повышению уровня и формированию мощной отбойной волны в центре промежутка. Ее придонная компонента представляет собой разрывное течение, которое выносит ПФМ в море. Со временем оно вырабатывает по центру промежутка ложбину. Подобные ложбины обнаруживаются на спутниковых снимках у большинства межбунных промежутков.

При западном (сгонном) ветро-волновом режиме, рис. 6(2), как и в естественных условиях Лименской бухты, наблюдается заметное понижение уровня моря у берега, и линия уреза воды сдвигается в море тем сильнее, чем более пологий уклон пляжа. Однако возвратная придонная компонента течения не может получить достаточное развитие,

вследствие перекрытия соседними бунами основного вдольберегового потока, и происходит лишь частичный возврат ПФМ на пляж. Определенный нагонный эффект от прибоя при этом имеется в восточной части бухт и межбунных промежутков, откуда донные отложения перемещаются дополнительной придонной компонентой течения к западу. По этой причине восстановление пляжа в большинстве бухт и межбунных промежутков ЮБК после сгонных штормов происходит преимущественно в западной части бухт и межбунных промежутков, рис. 7.

Рис. 7. Восстановленный природный пляж в западной части Лименской бухты (1); асимметрия искусственных пляжей берегоукрепительных сооружений Массандры на космоснимке (2)

Fig. 7. Renewed natural beach in the western part of Limensky bay (1); asymmetry of artificial beaches of shore-protection structures of Massandra, at a space image (2)

Во время сильных западных штормов вместе с ПФМ на берег часто выносятся сорванные с камней дна водоросли (в основном, цистозира), которые могут формировать навалы в центральных и западных частях бухт и межбунных пляжей. Явление характерно только для ЮБК, и является индикатором мощности шторма и силы придонного течения при сгонном ветро-волновом режиме (стебель цистозиры на прибрежных донных камнях имеет прочность на разрыв 10 кгс и более). По ширине и мощности шлейфов выбросов можно судить о силе шторма. Максимально удаленные от уреза воды шлейфы соответствуют границе зоны супралиторали. В западной части Лименской бухты навалы цистозиры толщиной до 1 м наблюдались в конце 1970-х – начале 1980-х гг. и продолжаются в меньших размерах в настоящее время. Детально это явление описано в работе Н.В. Шадрина [*Шадрин,* 1998].

Согласно данным гидрометеорологических источников [*Наумова, и др.,* 2010; *Репетин, Белокопытов,* 2008] для условий ЮБК восточные штормовые ветры имеют относительное преобладание, поэтому в условиях блокирования естественного поступления ПФМ из береговых отложений и отсутствия их искусственного пополнения происходит постепенная необратимая деградация межбунных пляжей и дальнейшее разрушение берегоукрепительных сооружений.

Низкая эффективность и недолговечность характерна не только для берегоукрепительных сооружений ЮБК, но и для аналогичных сооружений восточной части Черного моря (район г. Туапсе) [*Косьян, Крыленко,* 2008].

Следует отметить, что на относительно открытых береговых и мысовых участках наблюдаемой береговой линии к западу от п.г.т. Кацивели естественные пляжи до начала берегоукрепительных работ располагались в неглубоких бухтах (пляжи Татарский,

Куинджи, Понизовский). Со стороны моря они были частично защищены подводными рифами и скалами, расположенными на расстоянии 10–100 м от берега. Более удаленные от берега скалы не были взорваны при строительстве берегоукрепительных сооружений, и после их частичного разрушения пляжи сохранились именно на этих участках, см. рис. 3(2), рис. 6.

Несмотря на имеющуюся тенденцию среднемноголетнего затухания интенсивности максимальных штормов со временем [*Репетин, Белокопытов,* 2008], ввиду постепенного среднемноголетнего роста уровня моря в Кацивели, который составляет по данным стационарного мареографа ЧГПП МГИ 3,2 мм/год, можно ожидать, что при непринятии восстановительных мер, в долгосрочной перспективе имеющиеся остатки берегоукрепительных сооружений будут окончательно разрушены. В результате произойдет разблокирование естественного абразионно-эрозионного и обвально-оползневого поступления ПФМ из береговых отложений обрывов и водотоков и восстановление природных пляжей в бухтах.

ВЫВОДЫ

Оценено историческое изменение состояния пляжа Лименской бухты (с 1950 г.) и пляжей межбунных промежутков (с 1988 г.). Ширина пляжа центральной и западной части Лименской бухты сократилась с 30–40 м до 20 м, и с 15–20 м до 0 в восточной части. Из 25 межбунных промежутков участка «Кацивели-Понизовка» остатки пляжа сохранились только в 6 промежутках, 2 из которых расположены в центре Лименской бухты, а остальные в небольших бухтах к западу от мыса Кикинеиз в тех местах, где они были и в естественном состоянии до начала берегоукрепительных работ.

Наиболее влиятельным фактором формирования пляжей является режим смены восточных и западных ветро-волновых режимов. При этом важную роль играет механизм разрывных течений, связанный с рельефом дна подводного берегового склона.

Оценка баланса массы ПФМ при смене ветро-волнового режима показывает, что уже при умеренной силе ветра (порядка 10 м/с) и высоте волн 1,5–2 м суточный оборот ПФМ на погонный метр пляжа достигает до 1 м^3 (1,6 т) и более.

Наибольший необратимый вынос массы ПФМ пляжа при смене ветро-волновых режимов происходит с восточных и центральных участков бухт и межбунных промежутков, а частичное восстановление пляжей – на их западных участках.

Природные подводные рифы в прибрежной акватории пляжей бухт и межбунных промежутков в значительной мере способствуют сохранению в них пляжей.

Причиной постепенной среднемноголетней деградации пляжей может быть преобладание восточных штормовых ветров над западными в условиях блокирования естественного поступления ПФМ со стороны берега берегоукрепительными сооружениями и другими объектами береговой инфраструктуры.

Задачей будущих исследований является продолжение и совершенствование мониторинга состояния пляжей ЮБК с целью прогнозирования и улучшения их экологического состояния.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках научной темы 0555-2021-0005 государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ 2021 г.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the framework of the scientific theme 0555-2021-0005 of the State assignment of Marine Hydrophysical Institute RAS, 2021.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богуславский А.С., Кузнецов А.С. Казаков С.И.* Факторы формирования галечных пляжей береговой зоны Горного Крыма. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. Севастополь: 2016. Вып. 1. С. 46–54.
2. *Горячкин Ю.Н., Фомин В.В.* Волновой режим и литодинамика в районе аккумулятивных берегов Западного Крыма. Морской гидрофизический журнал, 2020. Т. 36. № 4. С. 451–466.
3. *Зенкович В.П.* Морфология и динамика советских берегов Черного моря. Т. 1, 2. М.: АН СССР, 1960. 215 с.
4. *Косьян Р.Д., Крыленко М.В.* Опыт защиты от волновой эрозии восточного побережья Черного моря [Электронное издание]. Геленджик: ЮО ИО РАН, 2008. http://www. coruna.coastdyn.ru/pg024.html.
5. *Наумова В.А., Евстигнеев М.П., Евстигнеев В.П., Любарец Е.П.* Ветро-волновые условия азово-черноморского побережья Украины. Тр. УкрНИГМИ, 2010. Вып. 259. С. 263–283.
6. *Орлова М.С., Долотов В.В., Иванов В.А.* Разработка кадастровой оценки пляжей на примере Крымского побережья. Труды международной конференции, «Латвия-Европа, Европа-Латвия» Латвия, Rezekne, SIA "JUMI", BKI, 2006. С. 103–104.
7. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н.* Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря. Тр. УкрНИГМИ, 2008. Вып. 257. С. 84–105.
8. *Удовик В.Ф., Горячкин Ю.Н.* Межгодовая изменчивость вдольберегового потока наносов в береговой зоне Западного Крыма. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. Севастополь: 2013. Вып. 27. Т. 1. С. 363–368.
9. *Шадрин Н.В.* Выбросы водорослей в супралиторали Черного моря: экологическая и геохимическая роль. Докл. НАН Украины, 1998. №3. С. 192–195.
10. *Шулейкин В.В.* Физика моря. М: Наука, 1968. 1084 с.
11. *Wadell H.* Volume, shape, and roundness of rock particles. J. Geol., 1932. No 40. P. 443–451.
12. *Inman D.L., and Filloux J.* Beach cycles related to tide and local wind wave regime. The Journal of Geology, 1960. V. 68. No 2. P. 225–231.

REFERENCES

1. *Boguslavsky A.S., Kuznetsov A.S., Kazakov S.I.* Factors of pebble beach formation in the coastal zone of the mountain Crimea. Ecological safety of coastal and shelf zones of sea, Sevastopol, 2016. Issue 1. P. 46–54 (in Russian).
2. *Goryachkin Yu.N., Fomin V.V.*, 2020. Wave Regime and Lithodynamics in the Region of the Western Crimea Accumulative Coasts. Physical Oceanography, [e-journal], 2020. V. 27. No 4. P. 415–429. DOI:10.22449/1573-160X-2020-4-415-429 (in Russian).
3. *Inman D.L., and Filloux J.* Beach cycles related to tide and local wind wave regime. The Journal of Geology, 1960. V. 68. No 2. P. 225–231.
4. *Kosyan R.D., Krylenko M.V.* Experience of protection against wave erosion of the eastern coast of the Black Sea [e-journal]. Gelendzhik: SO IO RAS, 2008. http://www.coruna. coastdyn.ru/pg024.html (in Russian).

5. *Naumova V.A., Evstigneev M.P., Evstigneev V.P., Lyubarets E.P.* Wind-wave conditions of the Azov-Black Sea coast of Ukraine. Proceedings of UkrNIGMI, 2010. Issue 259. P. 263–283 (in Russian).
6. *Orlova M.S., Dolotov V.V., Ivanov V.A.* Development of a cadastral assessment of beaches on the example of the Crimean coast. Proceedings of the international conference, "Latvia-Europe, Europe-Latvia" Latvia, Rezekne, SIA "JUMI", BKI, 2006. P. 103–104 (in Russian).
7. *Repetin L.N., Belokopytov V.N.* Wind regime over the coast and shelf of the northeastern part of the Black Sea. Proceedings of UkrNIGMI, 2008. Issue 257. P. 84–105 (in Russian).
8. *Shadrin N.V.* Emissions of algae in the Black Sea supralittoral: ecological and geochemical role. Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine, 1998. No 3. P. 192–195.
9. *Shuleikin V.V.* Physics of the sea. Moscow: Nauka, 1968. 1084 p. (in Russian).
10. *Udovik V.F., Goryachkin Yu.N.* Interannual variability of alongshore sediment flow in the coastal zone of Western Crimea. Ecological safety of the coastal and shelf zones and comprehensive research of shelf resources. Sevastopol: 2013. Issue 27. V. 1. P. 363–368. (in Russian).
11. *Wadell H.* Volume, shape, and roundness of rock particles. J. Geol., 1932. No 40. P. 443-451.
12. *Zenkovich V.P.* Morphology and dynamics of the Soviet Black Sea coast. V. 1, 2. Moscow: AN SSSR, 1960. 215 p. (in Russian).