

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.3

В. П. ЗЕНКОВИЧ, Н. Т. БЕЛОВА, В. К. ИЛЛАРИОНОВ

О ВЛИЯНИИ ВЕРШИНЫ ПОДВОДНОГО КАНЬОНА
НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГАЛЬКИ ПО ПЛЯЖУ

Закономерности массового перемещения пляжевых наносов вдоль берега и связанные с ними изменения рельефа береговой зоны моря представляют большой теоретический интерес и имеют практическое значение. Скучные данные по этим вопросам, полученные до конца 40-х годов, сведены в монографии В. П. Зенковича (1962). Важным этапом на пути изучения перемещения гальки явились исследования А. М. Жданова (1951), который применял в качестве индикаторов перемещения щебенку пористого базальта, окрашенную цветным цементом. Им было прослежено смещение эпюры разноса (облака рассеивания) индикатора по пляжу в течение нескольких штормов севернее Сочи. Полученные количественные данные о скорости и объемах перемещения гальки легли в основу расчетов берегозащитных мероприятий.

Авторы поставили более сложную задачу: оценить на примере западного берега м. Пицунды на Черном море потери пляжевой гальки в вершине подводного каньона, врезанной на глубину менее 10 м, т. е. в зону движения берегового потока наносов. Ранее изучение перемещения гальки на закруглении Пицундского мыса проводилось В. П. Зенковичем и А. С. Иониным (1962). Удалось установить, что с наибольшей скоростью (до 240 м в час при трехбалльном волнении) перемещаются «пионерные» гальки на отрезке берега, лежащем под углом φ к лучу волны.

Восемь экспериментов с окрашенным базальтом было позже выполнено И. О. Халатяном с соавторами (1966). Большие порции индикатора выбрасывались севернее и южнее устья р. Бзыби. Индикатор прошел мимо устья (по приустьевой отмели) к югу и постепенно распространился в направлении м. Пицунды. Часть его огибала мыс и шла в сторону Мюссерской возвышенности. Детали этого исследования, к сожалению, не опубликованы.

Анализ результатов исследований, посвященных вопросам движения галечникового материала в береговой зоне, показал, что закономерности перемещения масс наносов до настоящего времени полностью не изучены. В частности, совершенно не рассматривался вопрос о влиянии подводных каньонов на перемещение наносов как в поперечном, так и в продольном относительно уреза направлениях (Егоров, Галанов, 1966; Леонтьев, Сафьянов, 1973; Шепард, Дилл, 1972).

В сентябре 1972 г. было начато экспериментальное исследование перемещения галечного материала по пляжу с выяснением роли подводного каньона в этом процессе. На надводной части пляжа в районе Пицунды были одновременно загружены две порции индикатора — пористого базальтового щебня, окрашенные одна в зеленый, а другая в

красный цвет. Каждая порция весом 20 т состояла примерно из 30 тыс. отдельных частиц, по размерам соответствующих крупности естественной гальки на пляже (5—10 см в диаметре). Окрашенный материал был отсыпан поперечной полосой длиной 20 м на двух участках галечного пляжа с примерно одинаковым рельефом и экспозицией. Южнее одного из них (в 500 м на юго-восток) располагается вершина подводного каньона (здесь был отсыпан зеленый индикатор), а вблизи другого участка (южнее бухты Инкит) подводных каньонов нет (красный индикатор).

После каждого шторма подсчитывалось количество окрашенных частиц на надводной части пляжа по участкам длиной 100 м вдоль линии уреза. Одновременно проводилась регистрация параметров волнения перспектометром, установленным вблизи места засыпки красного индикатора. Результаты сравнивались с соответствующими данными, полученными гидрометеорологической службой (ГМС) тем же методом на м. Пицунда. Данные о волнениях в начальный период эксперимента (6 волнений после загрузки индикатора) приводятся в таблице.

Характеристика волнового режима в районе Пицунды с 20/IX по 24/X 1972 г.

Порядковый номер волнения	Дата	Продолжительность, час	Наши наблюдения		Данные ГМС	
			балл	направление	балл	направление
1	20/IX	20	4—5	ЗСЗ	3	ЮВ, Ю, ЮЗ
2	25—26/IX	20	4—5	З	2	З
3	30/IX	20	5—6	З	4	З
4	13/X	24	4	ЗСЗ	1	ЮВ
5	21/X	30	6	ЗЮЗ	5	ЮВ
6	24/X	24	4	З	4	З

Следует отметить, что записи ГМС сильно отличаются от наших как по степени (баллы), так и по направлению волнений. Особенно большие расхождения отмечены при наблюдениях за четвертым волнением — в этом случае расхождение в направлении волнения составляет примерно 157° (см. таблицу). В расчет принимались только те данные, которые были получены в период между засыпкой индикатора и окончанием 6-го волнения (конец октября 1972 г.). Такое ограничение объясняется рядом причин.

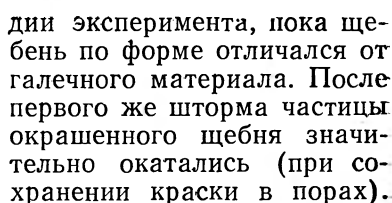
а) Этот период характеризуется наличием достаточно большого количества индикатора на надводной части пляжа, поэтому ошибка при определении количества окрашенных частиц и влияние случайных причин на их перемещение не могут иметь существенного значения при расчетах.

б) Между первым и вторым участками находится зал. Инкит (рис. 1). Во время 6-го волнения облако рассеивания зеленого индикатора переместилось на пляж залива, что привело к дополнительному усложнению его перемещения. После 6-го шторма первый и второй участки на протяжении облака рассеивания индикатора уже нельзя считать идентичными по экспозиции береговой линии.

в) Существенное значение при проведении расчетов имеет тот факт, что первые шесть волнений подходили почти от одного направления (см. таблицу).

Опытные данные показали, что картина перемещения зеленого и красного индикаторов при наличии общих черт имеет и существенное различие: после первых же штормов на надводной части пляжа красного индикатора находилось значительно больше, чем зеленого, при одинаковых гидродинамических условиях глубокого моря. Следует отметить, что форма и шероховатость поверхности частиц окрашенного щебня могли влиять на скорость его перемещения лишь на первой ста-

1 — Схема изхождения индикатора 20.IX.1972 г. 1 — граница зоны залеска. Заграницей показаны ослепленные (слева) и красного (справа) индикаторов после указанного воления. Цифры указывают число найденных по показанным обломков по 100-метровым отрезкам. Буквы обозначены точки выброса индикатора (А — зеленого, Б — красного). П — Негоры, которые строения строения. 2 — аксуальная граница, 3 — условная граница толсы на дне, 4 — условная изобата, 5 — клин-песчаная аллея, 6 — схематичный контур вершины каюна



При расчете координаты x , направленной вдоль берега, принимается, что все камни-индикаторы данного участка надводной части пляжа (длиной 100 м) представляют собой одну условную материальную точку, расположенную в его центре. Кроме того, допускается, что массы всех индикаторов равны между собой. Следовательно, масса материальной точки, представляющей индикаторы каждого 100-метрового участка пляжа, определяется количеством окрашенных частиц на этом участке.

62

дом волнении (кроме шестого) из зоны засыпки поступали новые порции индикатора. С учетом этого дополнительного поступления скорость массового вдольберегового перемещения материала на пляже увеличивается до 12—15 м за час волнения западного направления при степени волнения 4—6 баллов. Эта скорость и принимается за расчетную в дальнейших оценках.

По опытным данным (рис. 2) можно судить о перемещении восточной кромки облака рассеивания индикатора без учета «пионерных» частиц (последние могут значительно опережать облако рассеивания). Как следует из приведенного графика, края облака рассеивания зеленого и красного индикаторов перемещаются идентично друг другу. Ско-

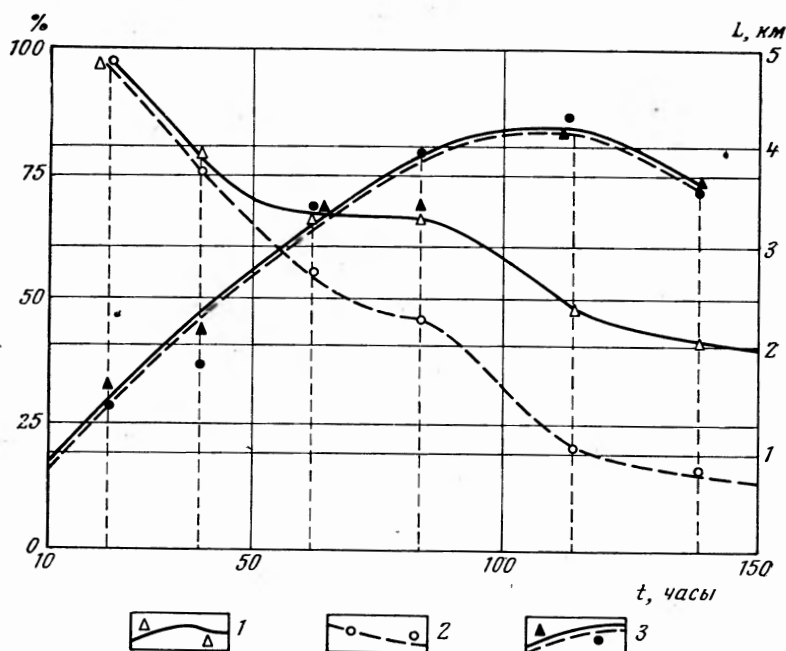


Рис. 2. Основные закономерности перемещения обломков индикатора

1 — общее число единиц красного индикатора на пляже, 2 — то же, зеленого; 3 — смещение юго-восточного края обломков рассеивания красного и зеленого индикаторов (км). Окончание каждого из шести волнений обозначено вертикальным пунктиром

рость перемещения кромки облака при первых трех волнениях оказалась равной примерно 60 м/час, а в дальнейшем наблюдалось ее существенное уменьшение. Это объясняется растягиванием облака рассеивания при последующих волнениях на большое расстояние вдоль берега. Когда на большом участке вблизи кромки облака рассеивания имеется ограниченное количество меченых камней-индикаторов, то поперечное перемещение может существенно повлиять на общую картину размещения индикатора на участках, наиболее удаленных от места его засыпки. В связи с этим только при первых волнениях перемещение кромки облака рассеивания достаточно точно характеризует массовое вдольбереговое перемещение природного материала. Продвижение восточной кромки облака показывает, что перемещение гальки параллельно урезу на первом и втором участках происходит с одинаковой скоростью и что наличие подводного каньона вблизи первого участка практически не оказало влияния на скорость массового вдольберегового перемещения гальки надводной части пляжа.

Однако зеленый индикатор значительно быстрее, чем красный, исчезал с надводной части пляжа. Следовательно, унос гальки в попереч-

ном к урезу направлению на первом участке (в результате существования подводного каньона) более значителен, чем на втором (там, где каньона нет). Это положение подтверждается также графиком (рис. 2), где по оси абсцисс отложена продолжительность волнения в часах, а по оси ординат — количество оставшегося на поверхности надводной части пляжа индикатора, выраженного в безразмерном виде по отношению к N_0 . Здесь N_0 — количество индикатора, оставшегося на поверхности надводной части пляжа после первого волнения.

Как следует из рис. 2, процентное содержание зеленого индикатора на поверхности надводной части пляжа значительно меньше, чем красного. Особенно резкое уменьшение зеленого индикатора наблюдается

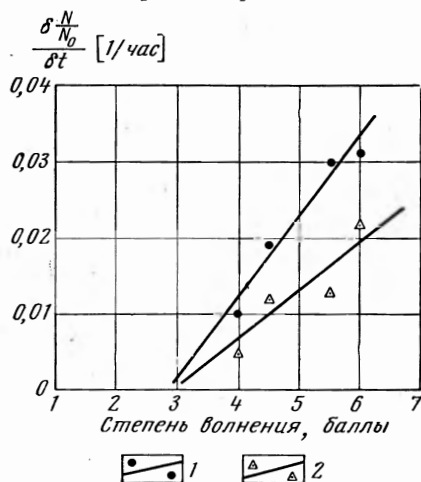


Рис. 3

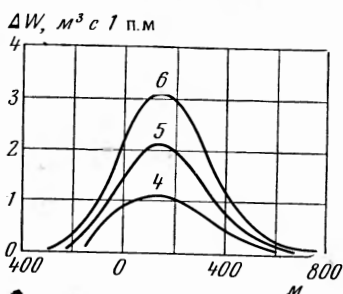


Рис. 4

Рис. 3. Относительная потеря зеленого (1) и красного (2) индикатора со всей надводной части пляжа в зависимости от степени волнения.

Рис. 4. Общая потеря зеленой гальки в точках, различно расположенных относительно оси подводного каньона (на схеме обозначен абсциссой 0)

Цифры над кривыми — баллы волнения

после волнений 3, 4 и 5, когда облако рассеивания зеленого индикатора проходило мимо вершины подводного каньона (длина края свала в каньон вытянута почти на 400 м).

Опытные данные показали, что потеря частиц индикатора с надводной части пляжа зависит от степени волнения при одинаковых его направлении и продолжительности. Это положение иллюстрируется графиком (рис. 3), где по оси абсцисс отложена степень волнения в баллах, а по оси ординат — количество частиц индикатора, исчезающего с надводной части пляжа в единицу времени. На нем можно видеть, что с усилением волнения увеличиваются потери индикатора и все больше различаются количества исчезающего зеленого и красного индикаторов. При определении скорости ухода с пляжа зеленого индикатора во время 5-го волнения в расчет принимался участок длиной 800 м от места его засыпки до зал. Инкит. Это сделано по следующей причине. Во время 5-го волнения центр тяжести зеленого индикатора перемещался вдоль берега западной части зал. Инкит. Угол подхода фронта волны к этой части залива отличен от угла подхода фронта волны на участке перемещения красного индикатора. Следовательно, в этом случае было бы неправильным сопоставлять весь участок надводного пляжа, занятый облаком рассеивания зеленого индикатора, с участком распространения красного индикатора из-за разной экспозиции.

Для определения влияния каньона на перемещение галечникового материала необходимо оценить объем гальки, ушедшей с надводной

части пляжа на дно. Оценка производилась следующим образом. Если для данной площади пляжа известно, на какое количество природной гальки приходится одна частица индикатора, то по их убыванию можно определить минимальный объем гальки, ушедшей с надводной части пляжа на дно. Объем считается минимальным потому, что наблюдения проводились только за индикатором на поверхности пляжа, без учета его распределения по толще активного слоя. Расчет на указанной основе проводился для двух участков: с подводным каньоном и без него. Можно убедиться в том, что уход гальки с надводной части пляжа в траверзе подводного каньона против м. Инкит в 2—4 раза больше, чем с аналогичного участка вне влияния каньона, при одинаковых steepness, длительности и направлениях волнения (рис. 4).

По указанным опытным данным, минимальные потери гальки с надводной части пляжа в траверзе подводного каньона при западных волнениях (угол фронта волны относительно берега примерно 30°) составляют при волнении 6 баллов примерно 3 м^3 и при волнении 4 балла — 1 м^3 с одного погонного метра (п. м) надводной части пляжа (продолжительность волнения от 20 до 30 час). При трехбалльном волнении потеря гальки в каньон практически не происходит (рис. 4).

Следует отметить некоторые особенности процесса, наблюдавшегося после 4-го волнения. Во время этого волнения в распределении частиц индикатора по пляжу практически не произошло никаких изменений, по-видимому, потому, что для 4-го волнения было характерно очень быстрое развитие (короткая фаза нарастания) и сравнительно длительная фаза затухания. Кроме того, возможно, что в ночное время, когда наблюдения не проводились, это волнение изменяло свое направление. Очевидно, частично и по этой причине записи ГМС и наши по 4-му волнению особенно резко различаются. Опытные данные и в этом случае показывают, что потери зеленого индикатора с надводной части пляжа намного больше, чем красного. Однако количественные результаты в этом случае получить невозможно, так как при небольшом изменении количества индикатора на пляже резко снижается точность расчетов.

Полученные опытные данные по исчезновению индикатора с надводной части пляжа при некоторых допущениях позволяют определить потери пляжеобразующего материала в подводном каньоне у м. Инкит.

Расчет показал, что в вершине каньона теряется около $80\,000 \text{ м}^3$ пляжеобразующего материала ежегодно, что составляет 35% от общего количества пляжеобразующего материала, поступающего к м. Инкит со стороны Бзыби, или 28% твердого пляжеобразующего стока р. Бзыби. Подробнее методика расчета и полученные результаты будут сообщены в следующих статьях.

Наблюдения за перемещением окрашенных частиц проводились с сентября 1972 по апрель 1973 г. на участке от устья р. Бзыби до причала курорта Пицунда, а с декабря 1972 г. — также на пляже Пицундской бухты (с момента появления там базальтовой щебенки).

Все наиболее сильные волнения в период наблюдения шли от западных румбов, поэтому окрашенные частицы перемещались только в сторону м. Пицунда (к северо-востоку от места засыпки зеленого индикатора не обнаружено ни одной окрашенной частицы). После первых четырех штормов силой 4—5 баллов (общая продолжительность примерно 84 час) «пионерные» красные щебенки обогнули м. Пицунда. После следующего шторма силой 6 баллов (продолжительность 30 час) «пионерные» зеленые частицы догнали красные и сместились за пределы курортной зоны. Однако за м. Пицунда на пляже красных частиц обнаружено значительно больше, чем зеленых.

При дальнейших штормах силой 3—4 балла продолжались перемещение индикатора в юго-восточном направлении и концентрация его на западной стороне оконечности Пицундского мыса. Концентрация мате-

риала вызвана неспособностью слабых волнений западного направления перемещать гальку за мыс. Это подтверждается также и морфологическими изменениями пляжа. Так, пляж в 400 м юго-восточнее Кипарисовой аллеи стал на 1—1,3 м выше и шире на 11—16 м.

Последующие сильные волнения 27 ноября и 16 декабря (более 5 баллов) смыли накопившийся окрашенный материал и частично переместили его за дистальную часть мыса. После шторма 16 декабря меченая щебенка появилась в районе вершины Пицундского залива. В дальнейшем наблюдалась аналогичная картина: при слабых волнениях окрашенный материал накапливался на мысу, при более сильных — перемещался в сторону Пицундского залива. Такая закономерность не наблюдалась лишь в феврале и марте вследствие активизации волнений южных румбов, которые перемещают материал в обе стороны от мыса.

Наблюдения за окрашенными частицами продолжались и после 16 декабря, когда частицы появились за территорией «Зеленого хозяйства», т. е. в 2,8 км на северо-восток от м. Пицунды. Опытные данные показали, что скорость перемещения «пионерных» окрашенных частиц вдоль пляжа Пицундской бухты до устья р. Рьябш значительно уменьшилась и составляла примерно 20 м за час волнения западных румбов. Последующими наблюдениями установлено, что перемещение окрашенных частиц к Мюссерским холмам прекратилось (в 50 м от устья р. Рьябш была обнаружена только одна окрашенная щебенка). На северо-западной стороне полуострова окрашенные частицы появлялись до апреля, что отражает, видимо, эпизодический обмен материалом между подводной и надводной частью пляжа. Опыт был прекращен из-за того, что обломки за полгода истерлись и утратили окраску.

Наблюдения за волновым режимом показали, что наличие подводного каньона оказывает также влияние на характер волн. Известно, что дивергенция волн происходит как раз над каньоном, а над его бортами волны конвергируют. Это влияет на распределение энергии волн. Максимум энергии отмечается на флангах изогнутого фронта волн, в результате чего по обе стороны от каньона они имеют большие параметры и соответственно там усиливается прибойный поток. Это отчетливо проявляется на Инкитском мысу. Так, во время шторма 21 октября ширина заплеска северо-западнее каньона достигала 100 м, тогда как на м. Инкит она не превышала 30 м. Эта закономерность проявлялась и во время остальных штормов.

В итоге можно сказать, что примененная методика с индикаторами разного цвета оказалась достаточно эффективной. С ее помощью удалось получить количественные данные для обоснования проектирования берегозащиты, а также детализировать некоторые представления о динамике берегов Пицундского полуострова.

ЛИТЕРАТУРА

- Егоров Е. Н., Галанов Л. Г. Об уходе прибрежных наносов в подводные каньоны. «Океанология», т. VI, вып. 1, 1966.
- Жданов А. М. Определение мощности потока береговых наносов непосредственными наблюдениями. «Изв. АН СССР. Сер. геофиз.», № 2, 1951.
- Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Зенкович В. П., Ионин А. С. О движении галечного материала в береговой зоне. «Океанология», № 5, 1962.
- Леонтьев О. К., Сафьянов Г. А. Каньоны под морем. М., «Мысль», 1973.
- Халатян И. О., Блушвили Т. И., Самсонов А. Ф. Передвижение галечника вдоль побережья в районе устья р. Бзыби. Сб. «Развитие морских берегов», Таллин, АН ЭССР, 1966.
- Шепард Ф., Дилл Р. Подводные морские каньоны. Л., Гидрометиздат, 1972.

Summary

The paper considers the results of experimental studies of pebble transport along the beach and reveals the role played by a submarine canyon near Pitsunda in the process. The coarse beach debris capture by the canyon head has not been analysed till now at neither Soviet nor foreign literature. The authors used the technique of colour indicators which was proved to be effective enough. Quantitative estimations has been got for the rate and direction of natural debris longshore transport as well as for debris loss through the canyon head which is less than 10 m deep and cut the zone of longshore debris flow. The obtained data contribute into knowledge of the Pitsunda Peninsula coast dynamics and can be applied to coast protection designs.

УДК 551.4(—929.6)

П. А. КАПЛИН, О. К. ЛЕОНТЬЕВ, А. И. ОРЛОВ

ГЕОМОРФОЛОГИЯ ОСТРОВА ЭФАТЕ
(Ново-Гебридские острова)

Океанические острова обычно отличаются от материковых районов не только специфической растительностью и фауной, среди которых часты эндемичные и реликтовые формы, но и особенностями геологического строения и рельефа. Многие молодые океанические острова можно рассматривать как своего рода природные модели (Зенкович и др., 1964). Типичным примером подобных геоморфологических объектов является о. Эфате (168°25' в. д., 17°40' ю. ш.), входящий в архипелаг Новые Гебриды (рис. 1).

В структурном отношении архипелаг представляет собой островную дугу, располагающуюся на гребне огромного подводного хребта, разделенную в средней части глубоководной депрессией на две ветви — северо-северо-западную и юго-юго-восточную. Вся дуга островов расположена внутри андезитовой линии в переходной зоне от материкового к океаническому типу земной коры. Острова северо-северо-западной ветви сложены вулканогенными породами неогенового (возможно, олигоцен-миоценового) возраста (Obelliane, 1955). Юго-восточная часть Ново-Гебридских островов образована плиоцен-плейстоценовыми вулканами, поднимающимися со дна моря. На склонах некоторых из них имеются террасы, построенные рифообразующими кораллами. Архипелаг расположен в тропическом поясе южного полушария в условиях преобладающей пассатной циркуляции. Климат здесь теплый и влажный (годовая сумма осадков более 2000 мм), с довольно слабо выраженной сезонной ритмикой увлажнения. Большая часть островов покрыта влажными тропическими лесами.

Небольшой о. Эфате размером 46×34 км расположен в молодой юго-восточной ветви архипелага и представляет собой сложное сооружение, расчлененное разломами субширотного и меридионального направлений на ряд блоков. Меридиональная депрессия (грабен) рассекает остров на две почти равные половины.

В геологическом строении острова, по данным Ж. М. Обеллиана (Obelliane, 1955), принимают участие различные комплексы вулканических и вулканогенно-осадочных пород. Наиболее древними из них являются пемзовые и андезитовые туфы подводного вулканизма, лежащие