

ДИНАМИКИ ФИАРДОВО-ШХЕРНЫХ БЕРЕГОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА НА ББС МГУ В 2009–2016 ГГ. (ГУБА РУГОЗЕРСКАЯ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ)

Репкина Т.Ю.¹, Ефимова Л.Е.¹, Косевич Н.И.¹,
Шиловцева О.А.¹, Шевченко Н.В.¹

Фиардово-шхерные берега занимают не менее 5% протяженности береговой линии (БЛ) Мирового океана, и традиционно относятся к группе «берегов, мало измененных морем» [Берега..., 1991]. Динамика таких берегов, процессы и факторы, определяющие их блик, своеобразны и мало изучены. В Кандалакшском заливе установлено, что они изменяются под действием как волновых, так и неволновых процессов. Однако количественные данные о смещениях БЛ, объемах транспорта наносов и роли в морфолитогенезе береговой зоны различных агентов единичны [Митяев, Герасимова, 2010, Романенко и др., 2012, Репкина и др., 2013, 2015]. В закрытых заливах масштабы волновой и неволновой трансформации рельефа и осадков береговой зоны (БЗ) становятся сопоставимыми, что позволяет выявить механизмы их взаимодействия.

В 2009–2016 гг. на ББС МГУ (губа Ругозерская Кандалакшского залива) на трех площадках протяженностью по 50–80 м, расположенных в разных геоморфологических и гидродинамических условиях, были проведены стационарные наблюдения за комплексом береговых процессов [Репкина и др., 2015].

Методика работ включала три блока методов, позволяющих охарактеризовать процессы морфолитогенеза береговой зоны фиардово-шхерных побережий: 1) комплекс надводных и подводных наблюдений за ледовым морфолитогенезом, включая наблюдения за индивидуальными траекториями перемещения валунов и глыб (2009–16 гг.); 2) комплекс наблюдений за биогенной трансформацией рельефа и осадков (2013–16 гг.); 3) комплекс наблюдений за процессами трансформации рельефа и осадков в волно-приливном поле (2013–16 гг.). Впервые в практике морфолитодинамических исследований применена фотоловушка (периодичность съемки от 3 минут до 12 часов).

¹ Репкина Т.Ю., Ефимова Л.Е., Косевич Н.И., Шиловцева О.А., Шевченко Н.В. — МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва.

Полученные данные позволяют в первом приближении оценить объемы перемещения наносов (рис. 1), выделить основные сезонные ритмы динамики БЗ. По данным наблюдений значимыми факторами динамики фиардово-шхерных берегов являются ветровое волнение, приливные колебания уровня моря, припайные льды и биота. Распределение морфолитодинамических обстановок вдоль контура берега определяют расчлененность БЛ, чередование на подводном береговом склоне и береговых уступах пород архейского кристаллического фундамента, перемытых ледниковых отложений и, реже, – голоценовых морских осадков, и темпы дифференцированного постгляциального поднятию. Сезонные ритмы процессов морфолитогенеза определяются сложным сочетанием гидрометеорологических условий и жизненного цикла биоты.

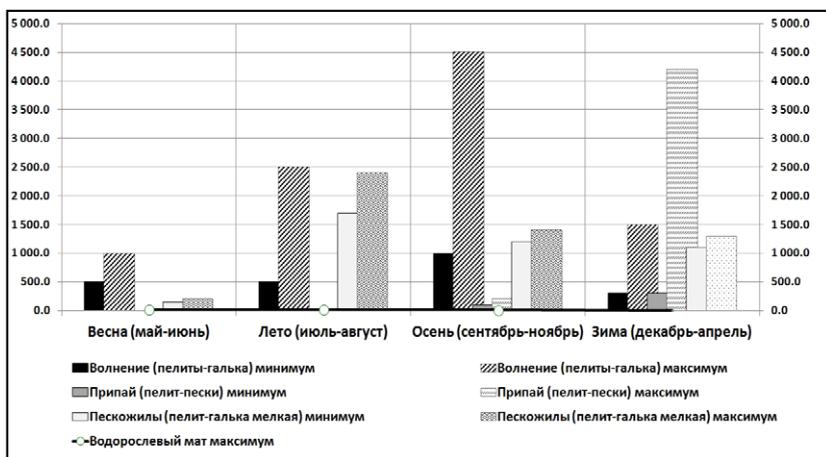


Рис. 1. Объемы перемещения наносов на пляжах и приливных осушках в основные сезоны по максимальным и минимальным оценкам (м^3 с 1 км берега)

Высота ветровых волн в узких заливах района не превышает первых десятков сантиметров, т.к. преобладают слабые ветры, а длина разгона волн мала. По данным автоматической метеостанции (АМС), установленной на пирсе ББС, средняя за 2013–15 гг. скорость ветра составила 2,2 м/с, а максимальная – 12,4 м/с (в порывах – 4,9 м/с и 25,5 м/с). Во все сезоны преобладали З-СЗ и В-ЮВ ветры, дующие вдоль губы. Штормовые ситуации (скорость ветра более 10 м/с) зафиксированы в 0,12% сроков наблюдений, как правило при В и В-ЮВ ветрах. Наиболее штормовой месяц –

октябрь; штормы наблюдались также в июне, сентябре и декабре, и, единично, — в ноябре и с января по апрель.

Интенсивность волновой нагрузки на берега отражается в величинах сезонных и межгодовых деформаций поверхностей пляжей и приливных осушек, мощности активного слоя и составе наносов. Эти параметры закономерно изменяются по поперечному профилю берега. На пляжах мощность чехла наносов — 2–80 см, активного слоя летом 2–12 см, осенью — 15–25 см. В предзимний период мощность активного слоя сокращается до 2–8 см за счет намерзающей с поверхности ледяной корки (1–3 мм) и послойного промерзания наносов, пропитанных стекающими с берега пресными водами. Межгодовые остаточные деформации имеют переменный знак, и составляют в среднем 3 см при максимуме 10 см. Остаточные деформации летнего и осенне-зимнего сезонов переменны и не велики. На одной из площадок отмечено выдвижение основания пляжа в волновой тени глыб. Состав наносов изменяется от дресвы до мелкозернистых песков.

В верхней части приливной осушки мощность наносов (преимущественно алевритистые пески) — <30 см, активного слоя летом — 2–7 см, осенью — до 15 см, в предзимний период — до 7 см. Часты эрозионные окна с выходами скальных пород, каменистого или суглинистого перлювия. Преобладают обстановки перемыва и транзита. Сезонные остаточные деформации отрицательны, до 10–12 см, межгодовые — незначительны.

В нижней части приливной осушки, в волновой тени валунного пояса, однородные мелко-тонкозернистые пляжевые пески с гравием и галькой (мощность 60–65 см) подстилают обводненные гравийные отложения. Мощность активного слоя летом — 10–12 см, в осенние штормы — до 15 см. Это зона частичного накопления песков. В 2013–14 гг. сезонные (летние и осенне-зимние) и межгодовые деформации переменного знака составляли 2–10 см. Зимой 2014–15 гг. на всех площадках накопился чехол песков мощностью 12–20 см. Аккумуляция произошла в подледных условиях и, возможно, связана со штормом, проходившим при не полностью установившемся припае.

При слабых и умеренных ветрах деформации пляжей и приливных осушек редко превышают 2–7 см, а релаксация пляжей происходит за несколько дней. Следы сильных штормов, в том числе захороненные обрывки фукусов, отмечены в разрезах тыловых швов пляжей до глубин 40–60 см, а в нижней части осушки — 30–40 см. Таким образом, практически весь чехол наносов в сильные штормы может быть переработан волнами.

В переходные сезоны, от появления первого льда до устойчивого становления припая (температуры воздуха от -2 до -7°), возможность волновой переработки приливной осушки и нижней части пляжа ослаблена за счет намерзающей в малую воду тонкой ледяной корки. Донный лед частично или полностью всплывает во время прилива, унося с собой наносы. По данным фотоловушки и АМС условия, когда осушенная зона подвергается в отлив интенсивной денудации донным льдом, а на фазе прилива может быть переработана волнением, становятся в последние годы более продолжительными, охватывая ноябрь – начало декабря (иногда весь декабрь и часть января) и март-апрель.

Приливы – непрерывно действующий фактор динамики берега. По равномерным данным амплитуда прилива в районе ББС – 1,8–2,3 м. Для количественной оценки роли приливов в перемещении наносов и объемов взвеси, поступающей в припайные льды при замерзании взмученных вод, в 2012–15 гг. измерены скорости течений в приливном цикле по поперечному профилю берега (глубины 1–17 м). Одновременно, в тех же точках, отобраны образцы придонной воды, а зимой и припайных льдов, для определения содержания взвешенных наносов [Репкина и др., 2015]. Установлено, что приливные течения практически не затрагивают верхнюю часть береговой зоны. Струи течений огибают мысы вдоль подножия склона, отделяющего прибрежное мелководье от котловины губы Ругозерская. Над приливной осушкой и валунным поясом скорости придонных течений в подледных условиях не превышают 0,1 м/с, что позволяет транспортировать наносы тонких фракций. В безледный период суммарная скорость придонных течений при средних скоростях ветра достигала 0,4 м/с, при небольшом шторме – 0,7 м/с; над приливной осушкой были взмучены и перемещались наносы крупностью до среднезернистых песков. Мутность вод существенно изменялась в зависимости от состава наносов в зоне разрушения волн и деталей строения ландшафтов литорали. Максимальное содержание включений, в том числе измельченных живых водорослей, наблюдалось на мористом склоне валунного пояса. Таким образом, собственная роль приливных течений в транспорте наносов не велика. В тоже время они определяют условия функционирования других (волнового, ледового, биогенного) факторов, ослабляя или усиливая их воздействие.

Роль припайных льдов сводится в районе наблюдений к выносу и перераспределению относительно тонких наносов и крупных обломков. Зимой 2012–2015 гг. на профиле у м. Крестовый ежегодно в

фиксированных точках определялось содержание криозоля во льдах динамических зон припая: 1) неподвижного, примерзшего в поверхности пляжа; 2) подвижного, испытывающего в ходе приливно-отливного цикла вертикальные колебательные движения; 3) плавучего, расположенного над подводным береговым склоном и не соприкасающегося с дном [Романенко и др., 2012]. Зимой 2014 г. аналогичные работы выполнены вблизи урочища Черные Щели. Мутность льдов плавучего припая составляет над открытой акваторией 0,001–0,002 г/л, а над валунным поясом возрастает на порядок (до 0,03–0,16 г/л). Близкие величины (0,06–0,15 г/л) характерны для льдов внешней части подвижного припая, где лед практически не ложится на дно, а висит над его поверхностью на камнях валунного пояса. Здесь господствует бесконтактный (по [Лисицын, 1994]) механизм захвата взвеси, что подтверждается соответствием значений мутности подледных вод и припая. Увеличение содержания взвеси вблизи берега вызвано взмучиванием донных осадков волнами при замерзании льда в конце осени – начале зимы. Близкие значения концентрации взвеси имеют здесь придонные воды при среднем летнем волнении. Мутность льда верхних динамических зон припая выше на несколько порядков, и, в целом, увеличивается вверх по профилю берега. В отобранных пробах удалось, в первом приближении, разделить материал, поступивший за счет замерзания насыщенных взвесью вод и контакта льда с поверхностью приливной осушки и пляжа. Концентрация взвеси за счет бесконтактного механизма захвата возрастает в верхней части приливной осушки – основании пляжа (подвижный припай) до 0,25–1,81 г/л, а над пляжем (неподвижный припай) – до 4–9 г/л. В ледовых кернах присутствуют горизонты в большей или меньшей степени обогащенные взвесью. Обогащение за счет бесконтактного типа захвата происходит постепенно, в ходе становления припая, захлестываемого в разной степени взмученными штормовыми волнами. На подвижном припае значимым источником привноса взвеси являются приливные трещины, сквозь которые на припай поступает вода. Накопление взвеси происходит вплоть до разрушения припая. Контакт припайных льдов с поверхностью дна обуславливает увеличение мутности льда на величину от нескольких раз до двух порядков. Состав включений соответствует составу донных осадков (разнозернистые пески, реже – единичные гравий и галька, остатки водорослей и литоральной фауны). Максимальная суммарная концентрация материала достигала в верхней части подвижного припая 17 г/л, а во льдах неподвижного припая – около 50 г/л. Итоговые оценки объемов ледового транспорта и роли

бесконтактного и контактного механизмов захвата наносов, близки к значениям, полученным в 2008–10 гг. [Романенко и др., 2012].

Инструментальные и визуальные наблюдения за перемещением льдом крупных обломков – от мелких валунов до глыб (диаметр 0,2–3,0 м), выполненные в 2014–16 гг., подтвердили выявленные ранее закономерности [Репкина и др., 2013]. Отметим, что количество размеченных обломков, не поменявших своего положения, сократилось за две зимы с 46% до 30%. То есть, за 13–15 лет на литорали в той или иной степени перемещаются практически все валуны диаметром до 1,6 м (весом до 5 т). При небольших (4–15 м³ с 1 км БЛ в год) объемах перемещения валунов и глыб, их перераспределение оказывает заметное воздействие на динамику берега за счет смещения «ядер аккумуляции», в тени которых формируются локальные пляжи и томболо.

Использование фотоловушки Ltl Acorn Ltl-5310 с дискретностью съемки 2 раза в сутки (фаза малой воды), установленной у м. Крестовый в феврале 2015 г., позволило зафиксировать эпизоды смещения валунов и определить условия таких подвижек. Смещения происходят в ходе разрушения припая при температурах воздуха от +4° до –6° и ветрах, сонаправленных отливному или приливному течению. Все смещения валунов, как и значимая перестройка припая, происходили при сизигийных приливах. В условиях района наблюдений (при данных мощностях льда, скоростях течений, волнении) смещения крупных валунов – результат давления всего ледяного поля.

Наиболее яркие проявления биогенного морфолитогенеза: биотурбация наносов и создание наноформ рельефа безвыборочными грунтоедомы (*Agenicola marina* (L.)), перенос обломков водорослями рода *Fucus* («фукусовый перенос») и формирование штормовых выбросов водорослей. Данные наблюдений показали, что во все сезоны, кроме осеннего, деятельность безвыборочных грунтоедов сопоставима с воздействием волнения. Роль водорослей в транспорте наносов незначительна, однако, это один из основных агентов поступления в БЗ органического вещества [Репкина и др., 2015].

Результаты 7 лет наблюдений опровергают представления о незначительной переработке фиардово-шхерных побережий береговыми процессами и «пассивности» морфолитодинамических процессов в зимний период. Роль ледовых и биотических факторов в динамике БЗ сопоставима с деятельностью волнения.

Работы выполнены при поддержке проекта РФФИ 13-05-00324 по темам ГЗ АААА-А16-11632810089-5, АААА-А16-116032810055-0.

Литература

- [1] *Каплин П. А., Леонтьев О. К., Лукьянова С. А., Никифоров. Л. Г.* Берега. — М.: Мысль. 1991. — 479 с.
- [2] *Лисицын А.П.* Ледовая седиментация в Мировом океане. — М.: Наука, 1994. — 448 с.
- [3] *Митяев М.В., Герасимова М.В.* Современные экзогенные процессы. Карельский берег Кандалакшского залива Белого моря. — Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2010. — 102 с.
- [4] *Репкина Т.Ю., Шевченко Н.В., Ефимова Л.Е.* Стационарные наблюдения за процессами ледового и биогенного морфолитогенеза на берегах Кандалакшского залива Белого моря // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике. — М.: МАКС Пресс, 2015. — С. 501–504.
- [5] *Репкина Т. Ю., Шевченко Н. В., Косевич Н. И.* Живые камни // Природа, 2013. №2. — С. 113–116.
- [6] *Романенко Ф.А., Репкина Т.Ю., Ефимова Л.Е., Булочникова А.С.* Динамика ледового покрова и особенности ледового разноса на приливных осушках Кандалакшского залива // Океанология, 2012. Т. 52, №5. — С. 1–12.