

Анализ причин пространственной и временной изменчивости отступления берегов

Помимо анализа пространственно-временной изменчивости размыва берегов в пределах каждого ключевого участка, приведенного выше, было проведено сравнение долгосрочных темпов отступления берегов на разных ключевых участках (таб. 11). Выявлено, что наиболее высокие скорости размыва в Карском регионе характерны для района станции Марре-Сале, быстро отступали бровки уступов на Харасавэ и Уральском берегу Байдарацкой губы. Берега залива Крузенштерна размывались медленнее, а минимальные значения характерны для Ямальского берега Байдарацкой губы.

Таблица 11. Сравнение ключевых участков мониторинга динамики берегов Карского моря

	Уральский берег Байдарацк ой губы	Ямальский берег Байдарацкой губы	Харасавэ й	Марре-Сале (Kritsuk et al., 2014)	Залив Крузеншт ерна
Период	1964-2016	1968-2016	1977-2016	1969-2009	1967-2010
Средние линейные скорости размыва, м/год	1.2	0.3	1.1	2.0	0.6
Максимальны е линейные скорости размыва, м/год	2.5	1.0	3.2	3.0 в термоцирке с пластовыми льдами	2.6
Наличие пластовых льдов	да	нет	да	да	да

Факторы пространственной изменчивости динамики берегов включают экспозицию берега, морфологию берегового уступа, состав отложений, наличие подземных льдов, особенности акватории и баланса наносов.

Экспозиция берега определяет, насколько берег подвержен влиянию волн, вызываемых наиболее частыми ветрами. Так, быстрее всего в заливе Крузенштерна размывается фрагмент берега, обращенный на запад-северо-запад, откуда дуют наиболее частые в регионе ветры. В более мелких масштабах значение экспозиции можно проиллюстрировать примером Ямальского берега Байдарацкой губы, где разгон

волн невелик, и скорости отступления относительно невелики, и Уральского берега, открытого волнам со значительным разгоном, где скорости размыва в несколько раз превышают Ямальский.

Баланс и потоки наносов имеют значение как для пространственной, так и временной изменчивости скоростей отступления берегов. К примеру, на Харасавэе область наиболее интенсивного размыва с 1970х до 2000х годов сместилась на север вдоль берега (см. рис. 10), благодаря вдольбереговой миграции зоны дивергенции потоков вдольбереговой энергии. На Ямальском берегу Байдарацкой губы положение зоны дивергенции потоков наносов определяет максимум размыва к югу от устья р. Яраяхи. На Уральском берегу поток наносов направлен с северо-запада на юго-восток, и после строительства коффердама, перехватывающего наносы, пляж к юго-востоку от сооружений начал размываться интенсивнее.

Морфология и высота берегового уступа важна, поскольку, несмотря на значительные объемные скорости размыва высоких террас, низкие лайды могут отступать катастрофически быстро при незначительных изменениях, как это произошло с низкими террасами и лайдами Уральского берега Байдарацкой губы в 2012 г. Поскольку лайды и невысокие террасы имеют небольшой клиф, нужно смыть относительно небольшой объем осадков для значительного линейного отступления берегов. Так, небольшой шторм, который смывает некоторый объем с уступа высокой поверхности, может привести к отступанию низкой лайды на несколько метров. Важна и морфология пляжа и приливной осушки: берега с широкими пляжами, в целом, стабильнее.

Литологические и криолитологические свойства грунтов, в особенности, наличие подземных льдов, чрезвычайно важны для отступления берегов. Участки с пластовыми льдами отличает большая мозаичность скоростей размыва по сравнению с территориями без пластовых льдов. Примером могут служить Ямальский берег Байдарацкой губы, где пластовых льдов обнаружено не было, и скорости термоабразии относительно однородно распределены в пространстве, и Уральский берег, где выходы пластовых льдов совпадают с участками повышенных скоростей размыва. Кроме того, Уральский берег значительно менее однороден по литологическому составу отложений береговых уступов. С другой стороны, наличие подземных льдов в районе в целом значительно влияет на средние и максимальные скорости отступления берегов всего ключевого участка. Так, закрытый от волн берег залива Крузенштерна с пластовыми льдами отступает быстрее, чем открытый Ямальский берег Байдарацкой губы (таб. 11), причем, не только максимальные, но и средние линейные скорости по всему ключевому участку на нем выше. При этом максимальные значения среднемноголетних скоростей отступления сравнимы и с Уральским берегом, и с Марре-Сале, и с Харасавеем. Таким образом, наличие пластовых льдов, даже при слабой ветроволновой энергии, способствует интенсивной термоабразии.

Кроме того, важны **техногенные нарушения**, которые влияют как на пространственную, так и на временную изменчивость динамики берегов. На

Харасавэйском участке такими нарушениями вызван пик скоростей отступления берегов в 1970х-1980х годах, который не был связан ни с максимумом температуры (индекса таяния), ни со значительным количеством ветроволновой энергии. Именно на этот период пришлось строительство основной инфраструктуры поселков Харасавэй и Карский.

На Ямальском и Уральском берегах, напротив, 2005-2006 и 2009-2012 гг. характеризовались повышенными скоростями отступления. При этом если пик 2005-2006 года связан с увеличением ветроволновой энергии, пик 2009-2012 г. превышает его в несколько раз и не так заметен на других ключевых участках (к примеру, на Харасавее).

Вероятно, пик скоростей 2009-2012 г. связан со строительством в эти годы подводного перехода газопровода "Бованенково-Ухта" через Байдарацкую губу. Техногенные нарушения в это время были связаны с изъятием пляжевых наносов для нужд строительства, разрушением тундрового растительного покрова, а также с движением тяжелой техники по пляжу. Кроме того, в результате перехвата потока наносов усилились темпы размыва за коффердамами. Тем не менее, с завершением строительства скорости отступления берегов замедлились и нормализовались.

Выявлены наиболее опасные техногенные нарушения, даны рекомендации по их предотвращению (таб. 12)

Таблица 12. Техногенные нарушения, влияющие на усиление скоростей размыва термоабразионных берегов

Нарушение	Последствия	Рекомендации
Изъятие пляжевых наносов для строительства	Дефицит наносов, катастрофические скорости размыва берегов	Не изымать наносы с пляжа и осушки, подсыпать наносы на пляж (например, взятые из русел рек при дноулубительных работах)
Берегозащитные и иные сооружения, строящиеся на мерзлых породах с предварительным снятием деятельного слоя	Растепляющее действие сооружений, протаивание мерзлоты, разрушение сооружений, ускорение отступления берегов	Не снимать деятельный слой, заменить бетонные берегозащитные сооружения пополнением пляжа наносами для естественной защиты берега
Движение транспорта по пляжу и осушке	Ускорение размыва берегов, дефицит наносов	Движение техники осуществлять по дорогам
Снятие тундрового растительного покрова	Термокарст, термоэрозия, просадки	Рекультивация тундрового покрова, сокращение площади снятия растительного покрова
Строительство	Перехват потока наносов,	Предусмотреть

сооружений, перехватывающих поток наносов	ускорение размыва берегов за сооружением	возможность движения наносов вдоль пляжа, подготовиться к размыву берегов за сооружениями
-------------------------------------------------	---------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------