

Науки о Земле

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Белова Н.Г., кандидат географических наук, научный сотрудник

Алексютина Д.М.

Огородов С.А., доктор географических наук, ведущий научный сотрудник

Баранская А.В., кандидат географических наук, научный сотрудник

Вергун А.П.

Кузнецов Д.Е.

Шилова О.С., кандидат географических наук, научный сотрудник

Соломатин В.И., доктор географических наук, профессор

(Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова)

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ И КРИОЛИТОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОРЫ ДИНАМИКИ УРАЛЬСКОГО БЕРЕГА БАЙДАРАЦКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ

В статье рассмотрено влияние геоморфологического и криолитологического строения побережья на характер и темпы разрушения берегового уступа. Выделены участки берега, различающиеся по строению и скоростям отступления. Охарактеризовано влияние техногенных воздействий на скорости отступления берегов.

Ключевые слова: криолитозона, морские берега, подземные льды, криолитологическое строение.

GEOMORPHOLOGICAL AND GEOCRYOLOGICAL FACTORS OF THE COASTAL DYNAMICS OF THE URAL COAST OF THE BAYDARATSKAYA BAY, KARA SEA

The article considers the influence of geomorphological and cryolithological features of the coast on the erosion rates and patterns. Coastal segments different by sediment composition, geocryological structure and retreat rates were emphasized. The impact of anthropogenic activities on retreat rates are discussed.

Keywords: cryolithozone, sea coast, ground ice, cryolithological composition.

Введение. Большая часть арктического побережья России представлена берегами, сложенными рыхлыми многолетнемерзлыми дисперсными породами (ММП), при этом примерно половина из них подвержена разрушению под воздействием морских волн. Несмотря на короткий литодинамически активный период, когда акватория не скована морскими льдами, скорости отступления термоабразионных берегов достаточно высоки – порядка 1–1,5 м/год для побережий Карского моря и 2 и более (до 7) м/год для морей восточного сектора Арктики [Арэ, 2012; Васильев и др., 2006; Григорьев и др., 2006, Крицук и др., 2014]. Однако на конкретных участках темпы отступления зависят от сочетания гидрометеорологических факторов и параметров строения побережья, в частности, поперечного профиля береговой зоны, конфигурации береговой линии, геологического строения и криолитологических особенностей берега. Так, в районах распространения залежеобразующих подземных льдов скорости отступления береговых уступов значительно возрастают. Активное освоение арктических побережий, с одной стороны, требует уточнения скоростей разрушения берегов, с другой сто-

роны, строительство в береговой зоне арктических морей зачастую само по себе значительно влияет на характер и темпы разрушения берега.

В статье рассматриваются криолитологические и геоморфологические особенности западного побережья Байдарацкой губы Карского моря (рис. 1), влияющие на скорость разрушения берегового уступа. После начала строительства перехода трубопроводов через дно губы важную роль в динамике исследуемого берега стал играть антропогенный фактор, роль которого также оценивается в статье.

Методика и район исследований. Наземный мониторинг динамики берегов на западном побережье Байдарацкой губы в районе устья р. Оюяхи был начат в 1988 сотрудниками лаборатории геоэкологии Севера географического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова [Камалов и др., 2006]. Динамика бровки берегового уступа отслеживалась по изменению поперечных профилей береговой зоны, получаемых в результате тригонометрического нивелирования от установленных на местности стабильных реперов. Места установки профилей были выбраны так, чтобы охарактеризовать динамику в пределах различных геоморфологических и криолитологических типов берега. Кроме того, для оценки темпов отступления использовались результаты сравнения разновременных аэрокосмических снимков [Огородов и др., 2011].

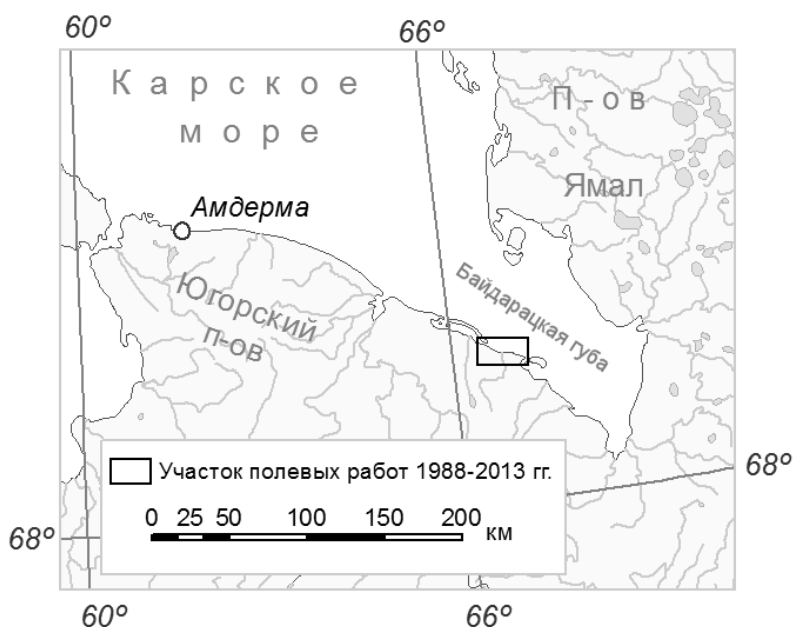


Рис. 1. Район исследований

В районе исследований к берегу выходят несколько типов поверхностей, различающихся по высоте, криолитологическому строению и скоростям отступления. Побережье характеризуется сравнительно интенсивным вдольбереговым потоком наносов. Однонаправленный поток волновой энергии начинается от южной оконечности о. Торасовэй, его интенсивность постепенно уменьшается к юго-востоку. Берег открыт ветроволновым и ледовым воздействиям со стороны Карского моря [Камалов и др., 2006, Природные условия..., 1997]. В условиях меняющегося климата и увеличивающегося безледного периода, когда волны активно воздействуют на берег, можно ожидать увеличения скоростей отступления. Установлено, что на динамику Уральского берега Байдарацкой губы влияет сочетание ветроволнового и термического факторов из-за его сложного и мозаичного криолитологического и геолого-геоморфологического строения [Копя-Овдиенко, Огородов, 2016]. На это накладывается и техногенный фактор: активное нефтегазовое освоение, и, в частности, строительство под-

водного перехода газопровода «Бованенково-Ухта», способствовало ускорению темпов разрушения берегов, в особенности повлияв на их отступление в 2009-2012 гг. [Ogorodov et al., 2016].

Динамика участков берега в различных геоморфологических и криолитологических условиях. Были проанализированы данные, полученные по 19 профилям, расположенным между устьем реки Оюяха и западной оконечностью о. Левдиев (9 км побережья). С запада на восток по строению берега и темпам его отступления было выделено 5 береговых участков (рис. 2):

1. Абразионно-аккумулятивный участок протяженностью 0,3 км вдоль берега с уступом высотой 5-8 м, частично защищённый от волнового воздействия береговым баром (профили 12 и 13 на рис.2). Скорости отступления бровки за период 1988-2009 гг. составили 0,3 м/год и несколько выросли до 1 м/год в 2009-2012 гг.

2. Термоабразионно-термоденудационный участок берега высотой до 10-18 м и протяженностью 1,8 км (профили с 14 по 20 на рис. 2), поверхность которого подвергалась термокарсту разных временных генераций. Берега сложены песчаной толщей с прослоями суглинка и гравийников, содержат мощные (до 3, 5 м) залежи пластовых льдов. В местах обнажения крупных залежей пластовых льдов формируются термоцирки, врезанные вглубь суши на десятки метров. В восточной части участка с поверхности часто залегают мощные торфяники, многочисленны полигонально-жильные льды (ПЖЛ), по которым развивается овражная термоэрозия. Средние скорости отступления в пределах этого геоморфологического уровня за период наблюдений составили 1,4 м/год (до 2 м/год на профилях с выходами пластовых льдов). Сходные отложения вскрываются и на протяжении 2 км к западу от устья р. Оюяха, где береговой уступ местами достигает отметок в 29 м, а мощность пластовых льдов – до 6 м. После 2007 года полевых работ там не проводилось, тогда как в 1988-2007 гг. скорости отступления были близки к наблюдаемым на участке 2 (до 2 м/год) [Белова, 2014].

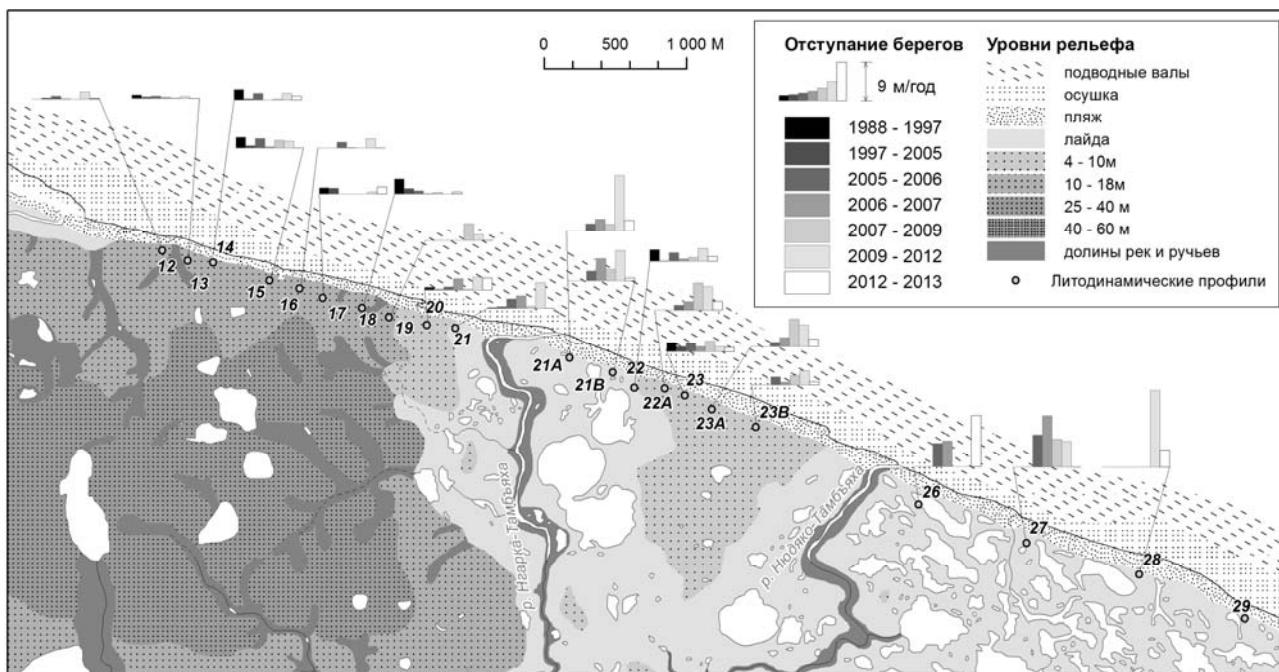


Рис. 2. Геоморфологические уровни района работ и величины скоростей отступления по отдельным профилям

3. Лайдовый термоабразионный берег протяженностью 1,5 км с абсолютными высотами 0,5-2 м (профили с 21 по 22 на рис. 2) сложен песчаными и суглинистыми отложениями,

вмещающими ПЖЛ. Волновой фактор играет ведущую роль при разрушении лайдового берега, так как при осенних нагонах и штормах морские воды беспрепятственно проникают далеко в сторону суши. Таким образом, в пределах этого участка волны одновременно размывают берег и оказывают тепляющее воздействие на ММП, а размывтый материал быстро удаляется из-за его малого объема. В 1988-2009 гг. лайда отступала со скоростью 2, 6 м/год, а после начала строительства в 2009-2012– 6 м/год.

4. Термоабразионно-термоденудационный участок берега протяженностью 1, 5 км (профили от 22А-23Б на рис. 2) с высотными отметками 5–7 м ограничен с востока р. Нюдяко-Тамбьяха. Через этот участок проходит створ системы трубопроводов; у коффердамов, возведённых над нитками трубопроводов, высота берега достигает 8 м за счёт песчаной отсыпки. Отложения береговых уступов представлены в верхних частях разреза супесчаными разностями с сетью ПЖЛ. В нижней части уступа местами вскрывается размывтая кровля суглинистой толщи [Белова, 2014]. Суммарная льдистость варьирует в широких диапазонах и увеличивается в более тонкодисперсных и заторфованных отложениях, встречающихся в верхней части разреза. Льдистость верхних горизонтов (верхние 3 м разреза) варьирует от 50 до 85%. Гранулометрический анализ отложений показал, что в разрезах преобладают супеси, при общей изменчивости отложений от тяжелых пылеватых суглинков до песков средней крупности. Для отложений характерно доминирующее содержание крупных пылеватых частиц (размер фракции от 0, 05 до 0, 01 мм) [Алексютина, Мотенко, 2013].

В 2005-2009 гг. скорости отступления составили здесь 2, 9 м/год, в 2009-2012 они выросли до 4, 3 м/год. На отдельных участках скорости отступления бровки уступа возросли после начала строительства перехода трубопроводов. Строительство двух коффердамов на расстоянии 70 метров друг от друга привело к дефициту наносов между ними и высоким скоростям отступления берегового уступа, еще более возросшим за счет линейной эрозии, развивающейся по ПЖЛ. В 2012 году берег между коффердамами и на протяжении 150 м к востоку от них был защищён валунной отсыпкой. Далее к востоку отсыпки сделано не было, и берег подвергся активной термоабразии. Однако, по сравнению с 2007-2012 гг., изменения береговой зоны в 2012-2013 гг. были незначительными. В 2013 году наибольшие изменения наблюдались у восточного коффердама, где высоты поверхности в мористой части коффердама стали больше более чем на метр с 2012 по 2013 г.; в результате сформировалась осушка шириной 40 м. Это связано с большим объемом отсыпки, сделанной между 2012 и 2013 гг. для предотвращения разрушения коффердама.

5. Низменный лайдовый берег с высотами до 2, 5 м протягивается к востоку от р. Нюдяко-Тамбьяха на расстояние в 3 км до о. Левдиев (профили 26-29 на рис. 2) и включает как термоабразионные, так и аккумулятивные сегменты. Как и на участке 3, прямые наблюдения подтвердили значительную временную изменчивость скоростей отступления из-за низкой стабильности таких берегов, и значительную пространственную изменчивость за счет влияния техногенного фактора. После начала строительства в 2009-2013 гг. на одном из профилей берег отступил на 55 м (18 м/год), что связано с проездом тяжелой техники, приведшем к нарушению почвенно-растительного покрова; однако, в 2012-2013 гг. берег стабилизировался и отступил не более чем на 3 м.

Выводы. По результатам выполненного исследования установлено, что на скорость и характер разрушения берегов Байдарацкой губы влияют геоморфологические особенности территории и криолитологические характеристики слагающих береговые уступы пород, а также техногенный фактор.

Наибольшие величины и разброс значений скоростей отступления наблюдались на участках низменных лайдовых берегов. На сегментах берега с высокими береговыми уступами скорости локально возрастают на участках выхода пластовых и полигонально-жильных льдов, где формируются крупные термоцирки и термоэрозионные врезы, часто «отодвигаю-

щие» бровку уступа на 50 м вглубь суши по сравнению со смежными участками. Однако за счёт больших объемов грунтового материала, поступающего к подножью берегового уступа, высокие берега в целом отступают медленнее, чем низкие. Кроме того, именно низкие берега наиболее чувствительны к антропогенному воздействию и характеризовались максимальными скоростями отступления во время активного строительства в береговой зоне в 2009-2012 гг.

Благодарности. Статья подготовлена и опубликована при поддержке грантов РФФИ №№ 14-05-00408 а, 16-35-60099 мол_а_дк, 16-45-890076 р_а, 16-35-00453 мол_а. Работа выполнена в соответствии с госбюджетной темой «Геоэкологический анализ и прогноз динамики криолитозоны Российской Арктики».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексютина Д.М., Мотенко Р.Г.* Теплофизические свойства и фазовый состав влаги мерзлых грунтов Уральского берега Байдарацкой губы // Инженерная геология. 2013. №3. С. 36–43.
2. *Арэ Ф.Э.* Разрушение берегов арктических приморских низменностей Новосибирск: Академическое изд-во ГЕО. 2012. 291 с.
3. *Белова Н.Г.* Пластовые льды юго-западного побережья Карского моря. М.: МАКС-Пресс, 2014, 180 с.
4. *Васильев А.А., Стрелецкая, И.Д. и др.* Динамика берегов Карского моря // Криосфера Земли. 2006. Т. X, № 2. С. 56–67.
5. *Григорьев М.Н., Разумов С.О. и др.* Динамика берегов восточных арктических морей России: основные факторы, закономерности и тенденции // Криосфера Земли. 2006. Т. X, № 4. С. 74–94.
6. *Камалов А.М., Огородов С.А. и др.* Морфолитодинамика берегов и дна Байдарацкой губы на трассе перехода магистральными газопроводами // Криосфера Земли. 2006. Т. X, № 3. С. 3–14.
7. *Кона-Овдиенко Н.В., Огородов С.А.* Особенности динамики термоабразионных берегов Байдарацкой губы Карского моря на современном этапе // Геоморфология. 2016. № 3. С. 12–21.
8. *Крицук Л.Н., Дубровин В.А., Ястреба Н.В.* Результаты комплексного изучения динамики береговой зоны Карского моря в районе метеостанции Марре-Сале с использованием ГИС-технологий // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII, № 4. С. 59-69.
9. *Огородов С.А., Белова Н.Г. и др.* Использование материалов разновременных аэрокосмических съемок в целях исследования динамики берегов Карского моря // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2011. № 10. С. 66-70.
10. Природные условия Байдарацкой губы: Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Ямал-Центр / Под ред. Г.И.Дубикова, и др. М.: ГЕОС. 1997. 432 с.
11. *Ogorodov S., Baranskaya A., Belova N. et al.* Coastal dynamics of the Pechora and Kara Seas under changing climatic conditions and human disturbances // Geography, Environment, Sustainability. 2016. Vol. 9, no. 3. P. 53–73.