

© 2016 г. Н.В. КОПА-ОВДИЕНКО<sup>1</sup>, С.А. ОГОРОДОВ<sup>2</sup>

## ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ТЕРМОАБРАЗИОННЫХ БЕРЕГОВ БАЙДАРАЦКОЙ ГУБЫ КАРСКОГО МОРЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

<sup>1</sup>Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

e-mail: nkoaovdienko@gmail.com, ogorodov@aha.ru

Берега на Ямальском и Уральском участках Байдарацкой губы Карского моря существенно различаются между собой как по ветроволновому режиму, так и по криолитологическому строению. По результатам полевого мониторинга отступления берегов, который проводится с 1988 г., выполнены оценки пространственно-временной изменчивости динамики термоабразионных берегов. Определено влияние ветроволнового и термического факторов на временную изменчивость динамики берегов. Установлено, что средняя для всего участка скорость отступления берегов в естественных условиях составляет в разные годы от 0.3 до 1.2 м/год на Ямальском участке и от 0.5 до 2.4 м/год на Уральском. Пространственная изменчивость скоростей отступления берегов Байдарацкой губы определяется их природными особенностями. На Уральском участке она выше, чем на Ямальском, за счет более сложного геокриологического строения побережья и большого количества ледяных тел. Скорость отступления берегов и ее временная изменчивость в естественных условиях выше на Уральском участке, чем на Ямальском. Эти показатели зависят преимущественно от ветроволнового фактора на Ямальском участке и сочетания ветроволнового и термического факторов на Уральском. В 2009–2012 гг., в связи с сооружением подводного перехода магистрального трубопровода “Бованенково – Ухта”, динамику берегов на обоих участках определял в основном техногенный фактор.

**Ключевые слова:** Байдарацкая губа, динамика берегов, термоабразия, ветроволновая энергия, температурный режим, техногенный фактор.

### Введение

Сложенные многолетнемерзлыми дисперсными породами морские берега Евразии весьма чувствительны к волновому и термическому воздействию. Они разрушаются со средней скоростью от 0.5 до 3 м/год [1]. В районах распространения многолетнемерзлых дисперсных пород абразия берегов – один из важных факторов, влияющих на геотехническую безопасность эксплуатируемых, строящихся и проектируемых объектов нефтегазотранспортной инфраструктуры, а также на экологическую безопасность окружающей среды. Поэтому важнейшей задачей мониторинга динамики термоабразионных берегов в районах промышленного освоения является обеспечение выбора наиболее устойчивого участка берега для размещения объектов инфраструктуры, а также получение исходных данных, необходимых для достоверного прогноза динамики берега на период строительства и эксплуатации соответствующих сооружений.

Лаборатория геоэкологии Севера МГУ и Государственный океанографический институт (ГОИН) ведут мониторинг динамики берегов Баренцева (Печорского) и Карского морей начиная с 80-х гг. прошлого века (рис. 1). В изучаемом районе абразия берегов представляет собой одну из основных угроз безопасности береговых объектов газотранспортной инфраструктуры. В этой связи наблюдения ведутся на ключевых участках районов интенсивного (либо планируемого) освоения, таких как переход магистрального газопровода “Бованенково – Ухта” через Байдарацкую губу Карского моря.

Цель настоящего исследования – оценка динамики берегов Байдарацкой губы Карского моря и влияющих на нее факторов на примере двух участков берега, расположенных в районе береговых примыканий подводного перехода магистрального газопровода: Ямальского протяженностью 9 км на СВ берегу губы и Уральского протяженностью 6 км на ее ЮЗ берегу. Работы проводились нами на этих участках в 2005–2012 гг.

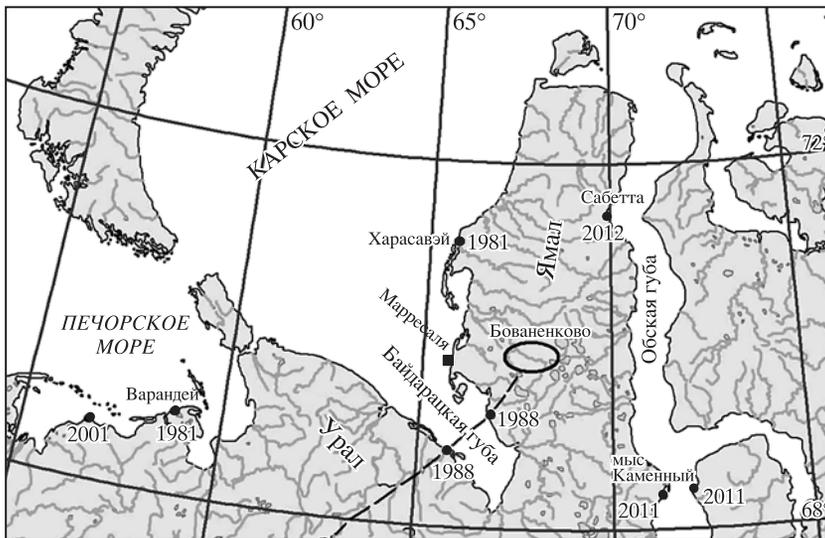


Рис. 1. Схема расположения стационаров мониторинга динамики берегов, годы их основания  
Кружком показано положение месторождения, пунктиром – трасса водопровода

### Особенности строения и динамики берегов

Побережья исследуемого района сложены многолетнемерзлыми породами, и поэтому для них наиболее характерен типичный для арктических морей термоабразионный тип берега. Относительно термина “термоабразия” существует много споров и разночтений. Наиболее известное определение предложено Ф.Э. Арз [2]: термоабразия – это процесс разрушения берега и подводного берегового склона, сложенных многолетнемерзлыми (дисперсными) породами или льдом, под совместным механическим и тепловым воздействием моря. То есть основным фактором является термомеханический процесс [3], имеющий место в результате воздействия волн или штормового нагона на берег. Однако нельзя рассматривать термоабразию в отрыве от склонового (гравитационного) перемещения грунтов, оттаявших в результате “термоденудации”. Соответственно, применительно к подверженным термоабразии береговым уступам, термоденудация – это процесс оттаивания мерзлых грунтов в результате передачи тепла из атмосферы и последующего гравитационного сноса (к подножию берегового уступа) продуктов оттаивания [4]. Процессы термоабразии и термоденудации тесно связаны между собой. Так, несомненно, береговой уступ, подвергшийся термоденудации, будет разрушаться в процессе волнового воздействия более интенсивно, нежели в случае, если он находится в мерзлом состоянии. В свою очередь, если ранее оттаявший материал не будет удаляться в результате волнового воздействия, термоденудация со временем затухает. Таким образом, по нашему мнению, термоабразия и термоденудация представляют единый неразрывный геоморфологический процесс (рис. 2).

Ямальский и Уральский участки береговых примыканий магистрального газопровода довольно сильно различаются между собой, как по криолитологическому строению, так и по волновому воздействию. Согласно результатам наших исследований, а также работам других специалистов [5, 6], для Ямальского участка характерны абразионные берега с высотой уступа от 3 до 20 м, в строении которых преобладают однородные песчаные отложения с относительно низкой льдистостью. Несмотря на то, что данный тип берега сложен мерзлыми дисперсными отложениями, его эволюция и динамика существенно отличаются от типичных термоабразионных берегов. Подобные грунты слабо проседают при оттаивании, мало подвержены оползевым и осыпным процессам, термоэрозии и термокарсту. Сложенные ими уступы образуют большую



Рис. 2. Гидрометеорологические факторы динамики термоабразионных берегов

часть береговой линии исследуемого участка (рис. 3), они хорошо держат отвесную стенку, склоновые процессы протекают не быстро. Согласно [1], в таких условиях скорости отступления берегов должны быть относительно низкими, при этом волновое воздействие служит основным фактором динамики берегов, а влияние других факторов довольно невелико. Следует отметить, что на Ямальском участке присутствуют также и другие типы берегов: термоабразионные и аккумулятивные, однако их доля относительно мала.

На Уральском участке, согласно результатам наших исследований, а также данным, приведенным в работе А.М. Камалова и др. [5], преобладают типичные термоабразионные берега с высотой уступа от 2 до 18 м (рис. 4). Они сложены среднелдыстой супесчано-суглинистой толщей, подстилаемой средне-, местами – высокольдистыми валунными суглинками и глинами [7]. В береговом уступе вскрываются полигонально-жильные и пластовые льды [8]. Развитие таких берегов в значительной мере определяется термоденудационными процессами. Ввиду того, что термоденудация постоянно поставляет к подножию берегового уступа рыхлый материал, который легко размывается морем, скорости отступления берегов здесь значительно выше, чем на абразионных участках побережья Ямала. Кроме того, согласно [1], на динамику таких берегов существенно влияет не только волновое, но и термическое воздействие, а также неоднородность геологического и криолитологического строения толщи, слагающей береговой уступ.

Ямальский участок открыт ветрам западных румбов. Но в безледный период, отличающийся наибольшей повторяемостью штормовых ветров волноопасных ССЗ румбов, здесь не формируются крупные волны, так как это направление закрыто Марресальским выступом и островом Литке. Уральский участок открыт ветрам северных румбов, и здесь штормовые ССЗ ветра получают максимальный разгон – от Новой Земли. Следовательно, на Уральский участок в среднем поступает несколько больше ветроволновой энергии, по сравнению с Ямальским.

Таким образом, сочетание гидрометеорологических и геокриологических условий обуславливает на Ямальском участке относительно медленное и пространственно

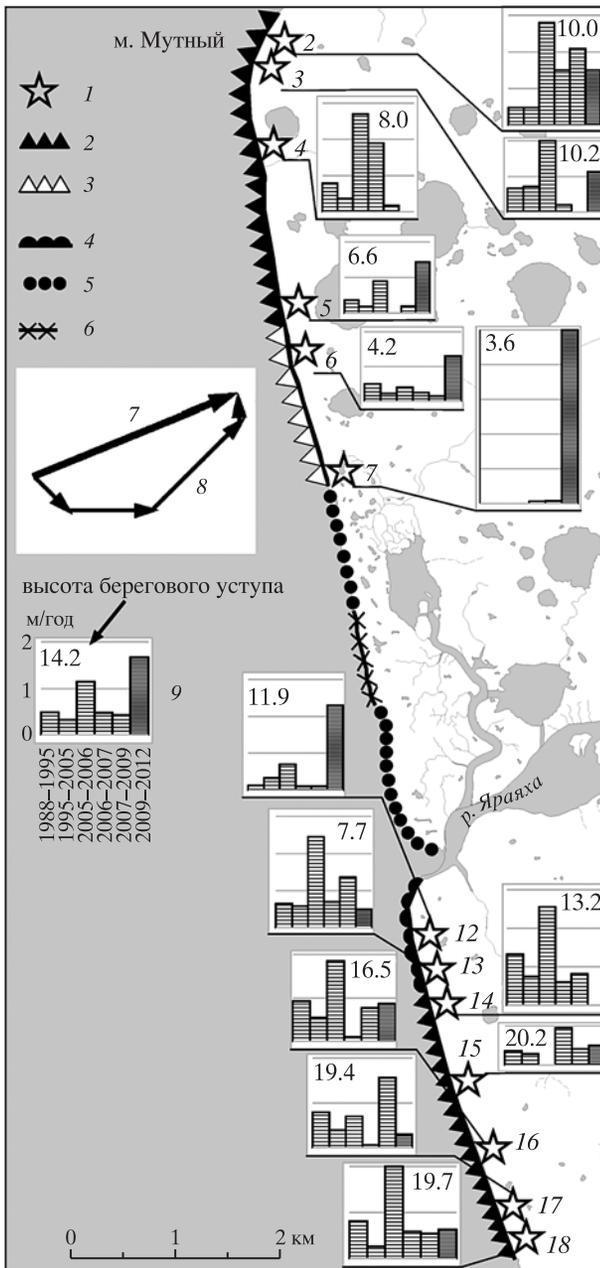


Рис. 3. Типы берегов и профили наблюдения за их динамикой на Ямальском участке

1 – морфодинамические профили и их номера; 2 – абразионные (в малолдыстных дисперсных грунтах), 3 – абразионно-аккумулятивные, 4 – термоабразионные, 5 – аккумулятивные (с пляжем полного профиля), 6 – техногенные; волноэнергетические характеристики: 7 – вектор равнодействующей румбовых составляющих потоков волновой энергии; 8 – векторы румбовых составляющих потоков волновой энергии; 9 – среднегодовые скорости отступления берегов по периодам для каждого из профилей

однородное отступление берега с временной изменчивостью, зависящей в основном от измененной интенсивности ветроволнового воздействия. На Уральском участке преобладает более быстрое и неоднородное в пространстве отступление берега, изменчивость темпов которого обусловлена группой различных факторов: волновых, термических, гравитационных.

### Методика

На рассматриваемых участках с 1988 г. по настоящее время МГУ и ГОИН методом прямых измерений проводят мониторинг отступления берегов, в последние годы дополненный тахеометрической съемкой [5, 9]. На Ямальском участке исследования в разное время проводились на 22 профилях, на Уральском – на 23. Наиболее длинный и достоверный ряд наблюдений имеется для периода 1988–2012 гг. по 13 профилям на Ямальском участке (рис. 3) и по 11 профилям на Уральском (рис. 4). Мониторинг динамики берегов на этих профилях проводился в указанный период ежегодно, с отдельными перерывами в несколько лет. Этот ряд и был выбран нами для характеристики временной и пространственной изменчивости динамики берегов.

Для каждого участка получено более 70 значений абсолютных величин отступления берегов. Очевидно, что скорость отступления на одном профиле за один временной интервал сильно зависит от локальных геоморфологических, геологических и криолитологических особенностей строения берега, а также от различных случайных причин. Однако осреднение по достаточно большому количеству профилей и

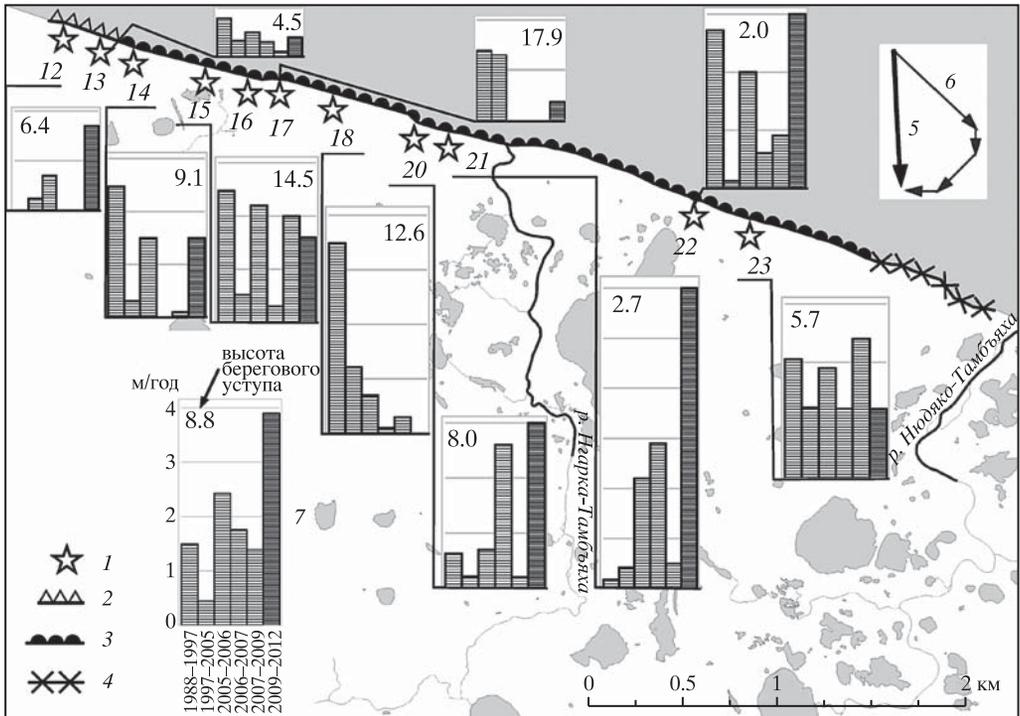


Рис. 4. Типы берегов и профили наблюдения за их динамикой на Уральском участке  
 1 – морфодинамические профили и их номера; 2 – абразионные с отмирающим клифом, 3 – термоабразионные, 4 – техногенные; волноэнергетические характеристики: 5 – вектор равнодействующей румбовых составляющих потоков волновой энергии, 6 – векторы румбовых составляющих потоков волновой энергии; 7 – среднегоголетние скорости отступления берегов по периодам для каждого из профилей

временных интервалов позволяет сгладить влияние этих локальных особенностей и выявить закономерности, характерные для протяженного участка берега в целом.

Для оценки пространственной изменчивости динамики необходимо сравнить скорости отступления на различных профилях или сегментах берега (рис. 3, 4). Были рассчитаны скорости отступления на различных профилях (м/год) и средние этого параметра для берегов различных типов.

Для расчета брался интервал с 1988 по 2009 г. Данные за 2009–2012 гг. были исключены из расчета, так как в это время на обоих исследуемых участках берега морфодинамическая ситуация изменилась: в ходе строительства подводного перехода газопровода было построено по два коффердама, выдающихся в море на 40–90 м. Они в значительной степени перекрыли вдольбереговой поток наносов, что, по-видимому, вместе с массовым изъятием на строительные нужды наносов с пляжа и осушки привело к дефициту наносов и вызвало активизацию размыва берегов как с одной, так и с другой стороны от сооружений. Так, на Ямальском участке скорость отступления берега на профиле 7 (ближайшем к коффердаму с севера, то есть со стороны, куда направлен поток наносов), в 2009–2012 гг. превысила среднегодовое значение за 1988–2009 гг. в 50 раз.

Временная изменчивость динамики берегов оценивалась путем сопоставления скоростей отступления за различные интервалы времени. Абсолютные величины отступления берегов были переведены в скорости отступления (м/год). Средняя скорость отступления по всему участку берега за отдельный временной интервал рассчитывалась как среднее арифметическое значение из скоростей отступления берегов на отдельных профилях.

Затем определялось влияние гидрометеорологических факторов, включая ветроволновой и термический, на динамику берегов. Скорости их отступления за определенные

периоды сравнивались с величинами волновой и термической энергии, поступившей к рассматриваемым участкам берега за эти же интервалы времени.

Оценка величины волновой энергии проведена на основе ветроэнергетического метода Попова–Совершаева [10–13]. Эта величина рассчитывалась отдельно за динамически активный период каждого года; использовались данные срочных 3-часовых наблюдений за ветром по отдельным румбам на ближайшей к исследуемым участкам гидрометеорологической станции (ГМС) Марре-Сале. Были взяты данные только по волноопасным для конкретного участка румбам: СЗ, З, ЮЗ и Ю для Ямальского; СЗ, С, СВ и В для Уральского. Также учитывалась длина разгона волны для каждого румба. При наличии в ЮЗ части Карского моря льда она определялась как расстояние от исследуемого участка до его кромки. В случае отсутствия льда – как расстояние до ближайшего берега по данному направлению. Затем вычислялась векторная сумма величин ветроволновой энергии по отдельным румбам.

Продолжительность динамически активного периода определялась по данным о балльности льда на ГМС Марре-Сале, а положение кромки льда – по сведениям о сплоченности льдов, доступным на сайте Университета штата Иллинойс (США) (<http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere>). Ветроволновая энергия вычислялась за динамически активный период каждого года с 1988 по 2012 г. Для удобства расчетов ее значения, полученные по методу Попова–Совершаева, умножены на  $10^{-5}$  и даны в условных единицах (у. е.).

Величины ветроволновой энергии, рассчитанные нами отдельно для каждого года, усреднены по временным интервалам, для которых имеются средние скорости отступления берегов. Мы сделали допущение, что поток ветроволновой энергии, поступивший в год очередных наблюдений, воздействовал на берега в ту часть года, которая прошла после проведения наблюдений, и что с начала динамически активного периода и до проведения наблюдений отступления не было. То есть, например, волновая энергия, поступившая к берегу в 2006 г., считается обусловившей его отступление в период 2006–2007 гг., а не в период 2005–2006 гг.

Влияние термического фактора на динамику берегов оценивалось по сумме положительных среднемесячных температур воздуха на ГМС Марре-Сале, которая была рассчитана для каждого года с 1988 по 2012 г.

Для оценки совокупного влияния ветроволнового и термического факторов на динамику берегов был применен интегральный показатель суммарного влияния гидрометеорологических факторов на динамику берегов, который широко применяется в гидрометеорологических исследованиях [14]. Он рассчитывается на основе данных о нормализованных значениях величин волновой энергии и сумм положительных среднемесячных температур.

## Результаты и дискуссия

**Ямальский участок.** По результатам проведенных нами исследований средняя скорость отступления берегов на участке за 1988–2009 гг. составила, для разных профилей от 0.0 до 0.8 м/год. Эти скорости при многолетнем осреднении группируются в две области значений: до 0.2 и 0.4–0.8 м/год. При этом первая область значений соответствует сегменту берега с чередованием абразионных и аккумулятивных участков, а вторая – сегментам берега абразионного и термоабразионного типов, которые по средним скоростям отступления слабо различаются между собой.

Средняя скорость отступления берегов на Ямальском участке по всем профилям составила в период естественного развития береговых процессов (1988–2009 гг.) от 0.3 до 1.2 м/год для разных временных интервалов, а в период активного техногенного воздействия (2009–2012 гг.) достигла 1.7 м/год. Временная изменчивость этой скорости для всего участка показана на рис. 5. Здесь же показана временная изменчивость величины ветроволновой энергии и суммы положительных среднемесячных температур. Связь между скоростью отступления берегов и величиной ветроволновой энергии и суммой положительных среднемесячных температур хорошо демонстрирует рис. 6. Линейная аппроксимация не учитывает интервал 2009–2012 гг., так как в этот период в результате

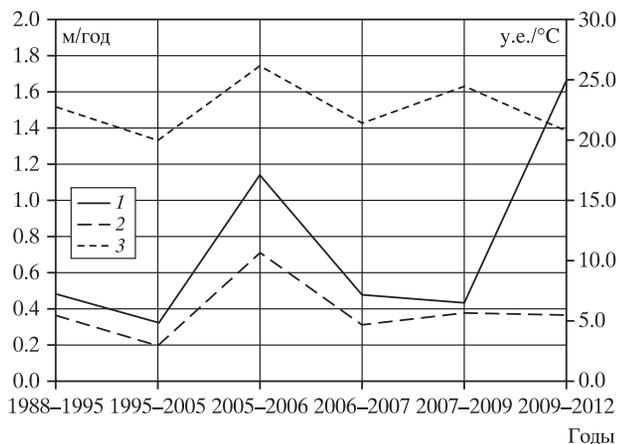


Рис. 5. Скорость отступления берегов и влияющие на нее гидрометеорологические факторы на Ямальском участке в 1988–2012 гг. 1 – скорость отступления берегов, м/год; 2 – ветроволновая энергия, у. е.; 3 – сумма положительных среднемесячных температур, °С

степенной роли термического фактора для малольдистых берегов Ямальского участка за 1988–2009 гг. Поэтому рассчитывать показатель суммарного влияния гидрометеорологических факторов на динамику берегов для Ямальского участка не имеет смысла.

Что касается периода 2009–2012 гг., то для него, очевидно, ведущим фактором динамики берегов являются техногенные изменения морфолитодинамической ситуации. Максимальные изменения скорости отступления берега в эти годы (относительно среднего значения за 1988–2009 гг.) были зафиксированы именно на ближайших к трассе магистрального газопровода профилях (рис. 3).

**Уральский участок.** По результатам мониторинга, средняя скорость отступления берега здесь за 1988–2009 гг. составила, для разных профилей, от 0.4 до 1.9 м/год. Скорости отступления при многолетнем осреднении группируются в три области значений:

перехвата вдольберегового потока наносов вновь построенными коффердамами и массового изъятия наносов с осушки и пляжа резко активизировался размыв берегов к северу от них. Временная изменчивость средней скорости отступления берегов за 1988–2009 гг. хорошо коррелирует с временной изменчивостью ветроволновой энергии; связь с суммой положительных среднемесячных температур значительно слабее.

Приведенные выше данные подтверждают первоначальные предположения о главенствующей роли ветроволноэнергетического фактора и второстепенной роли термического фактора для малольдистых берегов Ямальского участка за 1988–2009 гг.

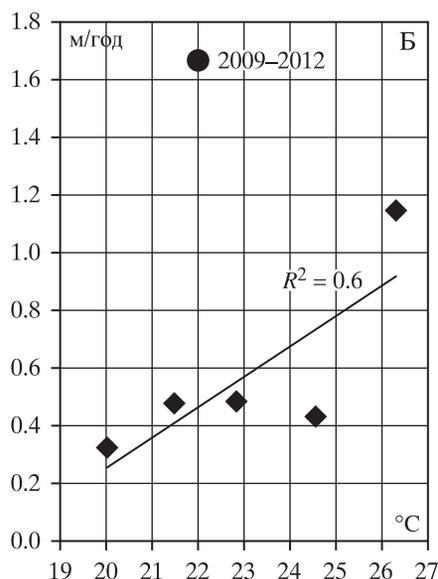
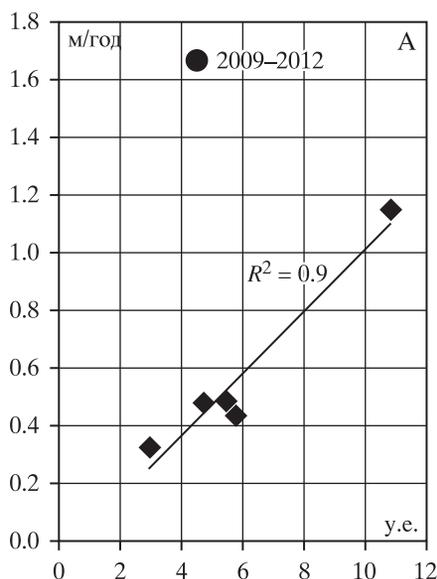


Рис. 6. Зависимость скорости отступления берегов от ветроволновой энергии (А) и суммы положительных среднемесячных температур (Б) на Ямальском участке

0.4–0.5, 0.7–0.8 и 1.0–1.9 м/год, которые соответствуют трем различным типам берега: абразионному с отмирающим клифом высотой 4–7 м и термоабразионным с высотами 7–18 и 2–7 м соответственно.

Скорость отступления берегов в среднем по всем профилям составила в период естественного развития береговых процессов (1988–2009 гг.) от 0.5 до 2.4 м/год для разных временных интервалов, а в период активного техногенного воздействия (2009–2012 гг.) достигла 3.9 м/год. Изменчивость во времени средней скорости отступления берегов, величины ветроволновой энергии и суммы положительных среднемесячных температур для всего участка показаны на рис. 7, а на рис. 8 – связь между скоростью отступления берегов и величиной ветроволновой энергии (А) и суммой положительных среднемесячных температур (Б). Как и для Ямальского участка, линейная аппроксимация на рисунках не учитывает интервал 2009–2012 гг., так как в этот период морфолитодинамическая ситуация здесь значительно изменилась в результате строительства коффердамов. Из рисунка видно, что на Уральском участке средняя скорость отступления берегов за 1988–2009 гг. довольно слабо связана как с ветроволновой энергией, так и с суммой положительных среднемесячных температур. В то же время показатель суммарного влияния гидрометеорологических факторов на динамику берегов значительно лучше соответствует средним скоростям отступления берегов, чем показатели, описывающие влияние ветроволнового и термического факторов по отдельности (В). Это говорит о том, что на динамику берегов Уральского участка эффективно влияют не взятые отдельно ветроволновой и термический факторы, а именно их сочетание. Наиболее интенсивный

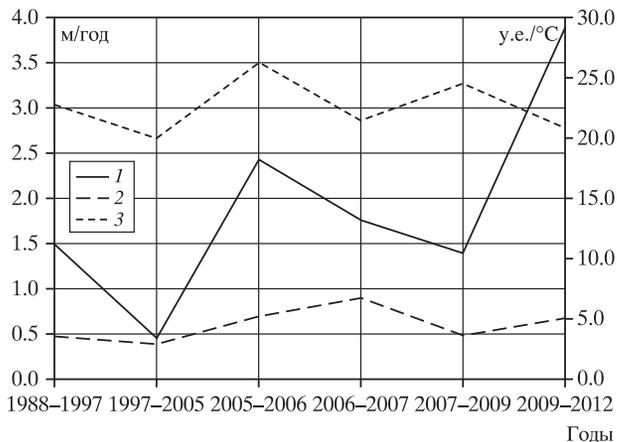


Рис. 7. Скорость отступления берегов и влияющие на нее гидрометеорологические факторы на Уральском участке в 1988–2012 гг. 1 – скорость отступления берегов, м/год; 2 – ветроволновая энергия, у. е.; 3 – сумма положительных среднемесячных температур, °C

связь между скоростью отступления берегов и величиной ветроволновой энергии (А) и суммой положительных среднемесячных температур (Б). Как и для Ямальского участка, линейная аппроксимация на рисунках не учитывает интервал 2009–2012 гг., так как в этот период морфолитодинамическая ситуация здесь значительно изменилась в результате строительства коффердамов. Из рисунка видно, что на Уральском участке средняя скорость отступления берегов за 1988–2009 гг. довольно слабо связана как с ветроволновой энергией, так и с суммой положительных среднемесячных температур. В то же время показатель суммарного влияния гидрометеорологических факторов на динамику берегов значительно лучше соответствует средним скоростям отступления берегов, чем показатели, описывающие влияние ветроволнового и термического факторов по отдельности (В). Это говорит о том, что на динамику берегов Уральского участка эффективно влияют не взятые отдельно ветроволновой и термический факторы, а именно их сочетание. Наиболее интенсивный

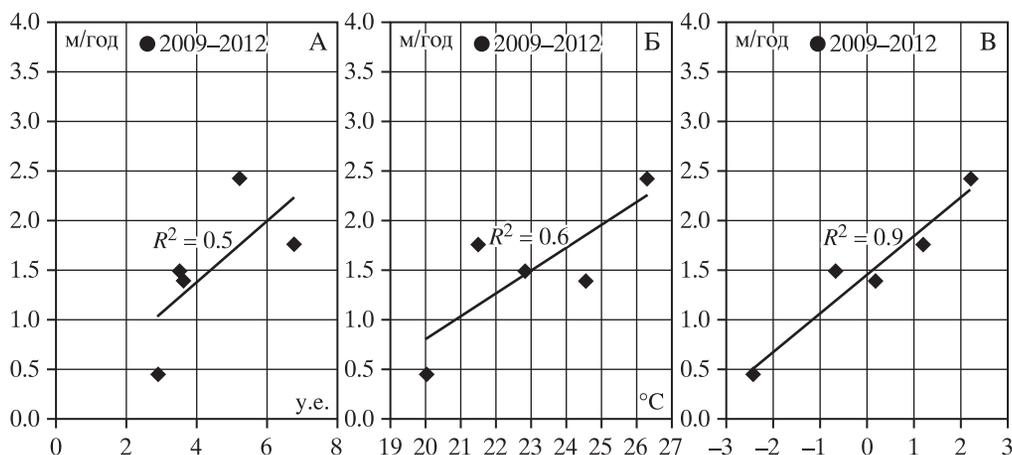


Рис. 8. Зависимость скорости отступления берегов от ветроволновой энергии (А), суммы положительных среднемесячных температур (Б), показателя суммарного влияния гидрометеорологических факторов (В) на Уральском участке

размыв берега происходит в годы, когда и интенсивность ветрового волнения, и летние температуры превышают, даже хотя бы и ненамного, средние значения.

Следует отметить, что на Уральском участке большое влияние на разрушение берегов оказывают широко распространенные массивы ледяных и льдистых льдов, неравномерно как в пространстве, так и во времени вскрывающиеся на отдельных участках берега [8]. Вытаивание ледяных тел приводит к локальному ускорению разрушения берегового уступа, что происходит вне зависимости от интенсивности волнового воздействия на берег.

В 2009–2012 гг. средняя скорость отступления берегов на Уральском участке, как и на Ямальском, была максимальной для всех проанализированных нами периодов – при значениях ветроволновой энергии, близких к средним, и весьма низкой сумме положительных среднемесячных температур. По-видимому, это обусловлено резким изменением морфолитодинамических условий в результате строительства коффердамов и многочисленных нарушений температурного режима грунтов, вызванных им.

### Заключение

Пространственная изменчивость скоростей отступления берегов на Ямальском и Уральском участках Байдарацкой губы зависит, главным образом, от морфологии и криолитологического строения побережья, которые определяют чередование берегов различных типов. Уральский участок отличается от Ямальского наличием большого количества ледяных тел, влияющих на пространственные изменения скоростей термоабразии берега. Временная изменчивость скоростей отступления берегов Байдарацкой губы в естественных условиях определяется на Ямальском участке преимущественно ветроволновым фактором и сочетанием ветроволнового и термического факторов – на Уральском. С 2009 г. на динамику и Ямальского Уральского участка оказывает влияние техногенный фактор.

Скорости разрушения термоабразионных берегов Карского моря тесно связаны с величиной поступающей к ним энергии, как ветроволновой, так и термической. В условиях потепления климата в Арктике, наблюдающегося в последние десятилетия, поступление энергии может возрасти, а значит, существует опасность увеличения среднемноголетних скоростей абразии берегов. Особенно опасной становится ситуация в районах техногенного прессинга, где процессы, связанные с потеплением климата в Арктике, могут наложиться на последствия техногенных нарушений.

**Благодарность.** Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФ (проект № 16–17–00034).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Огородов С.А.* Влияние изменений климата и ледовитости арктических морей на динамику берегов Евразии // Пробл. Арктики и Антарктики. 2008. № 1(78). С. 123–128.
2. *Арэ Ф.Э.* Термоабразия морских берегов. М.: Наука, 1980. 160 с.
3. *Марахтанов В.П.* Термомеханическое оттаивание грунтов (понятие и методика расчета) // Криосфера Земли. 2006. Т. 8. № 4. С. 59–67.
4. *Воскресенский К.С., Совершаев В.А.* Роль экзогенных процессов в динамике арктических побережий // Динамика Арктических побережий России. М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 35–48.
5. *Камалов А.М., Огородов С.А., Бирюков В.Ю., Совершаева Г.Д., Цвецинский А.С., Архипов В.В., Белова Н.Г., Носков А.И., Соломатин В.И.* Морфолитодинамика берегов и дна Байдарацкой губы на трассе перехода магистральными газопроводами // Криосфера Земли. 2006. Т. 10. № 3. С. 3–14.
6. *Романенко Ф.А., Гаранкина Е.В., Шилова О.С.* Стратиграфия рыхлых отложений и формирование рельефа Западного Ямала в позднем плейстоцене – голоцене // Мат-лы VI Всерос. совещ. по изуч. четвертич. периода. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. С. 505–508.
7. *Романенко Ф.А., Белова Н.Г., Николаев В.И., Олюнина О.С.* Особенности строения рыхлых отложений Югорского побережья Байдарацкой губы Карского моря // Фундаментальные

- проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований / Мат-лы V Всерос. совещ. по изуч. четвертич. периода. М.: ГЕОС, 2007. С. 348–351.
8. Белова Н.Г. Пластовые льды юго-западного побережья Карского моря. М.: МАКС Пресс, 2014. 180 с.
  9. Огородов С.А., Цвецинский А.С. Особенности развития абразионных и ледово-эскарпационных процессов в районах нефтегазового освоения Российской Арктики в условиях глобальных климатических изменений и локальных техногенных воздействий // Тез. докл. IV Междунар. конф. “Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток”. М.: ООО “Газпром ВНИИГАЗ”, 2012. С. 90.
  10. Попов Б.А., Совершаев В.А. Методические аспекты ветроэнергетического расчета волновой энергии в мелководных водоемах // Тез. Всесоюзного совещ. по динамике берегов водохранилищ, их охране и рациональному использованию. Черкассы: Укр. филиал ЦНИИКИВР, 1979. Кн. 4. С. 73–76.
  11. Попов Б.А., Совершаев В.А. Принципы выбора исходных данных для расчета потоков волновой энергии // Береговая зона моря. М.: Наука, 1981. С. 47–53.
  12. Попов Б.А., Совершаев В.А. Некоторые черты динамики арктических берегов Азии // Вопр. географии. Вып. 119. М.: Мысль, 1982. С. 105–116.
  13. Ogorodov S.A. Application of wind-energetic method of Popov-Sovershaev for investigation of coastal dynamics in the Arctic // Arctic Coastal Dynamic. Report of an International Workshop. Potsdam (Germany) 26–30 November 2001. Vol. 413. Bremerhaven, 2002. P. 37–42.
  14. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 362 с.

Поступила в редакцию  
после доработки 10.02.2016

## PECULIARITIES OF DYNAMICS OF THERMOABRASIONAL COASTS OF THE BAYDARATSKAYA BAY (KARA SEA) TODAY

N.V. KOPA-OVDIENKO<sup>1</sup>, S.A. OGORODOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*  
*e-mail: nkopaovdienko@gmail.com, ogorodov@aha.ru*

### Summary

The article is dedicated to the peculiarities of the dynamics of thermoabrasional coasts of the Kara Sea in the area of the gas main pipeline “Bovanenkovo-Ukhta” crossing of the Baydaratskaya Bay. The coasts in Yamal and Ural key sites differ significantly both in wind wave conditions and in criolithologic structure. The study was based on the results of the coastal retreat field monitoring, carried on since 1988. Spatial and temporal variability of the thermoabrasional coasts dynamics have been estimated. The effect of wind-wave and thermal factors on the temporal variability of the coastal dynamics has been determined. We have found out that average coastal retreat rates in natural conditions vary from 0.3 and 1.2 m/year at the Yamal key site and from 0.5 to 2.4 m/year at the Ural key site. Spatial variability of coastal retreat rates in the Baydaratskaya Bay is determined by the geomorphological structure of the shore. It is more considerable in the Ural key site than in the Yamal key site because of more complex geocryological structure and the presence of ground ice bodies. Temporal variability of coastal retreat rates of the Baydaratskaya Bay in natural conditions is mainly determined by the wind-wave factor at the Yamal key site and by the combination of wind-wave and thermal factors at the Ural key site. It is better expressed at the Ural key site than at the Yamal key site, along with spatial variability. In 2009–2012, the main factor determining the coastal dynamics at both Yamal and Ural coasts was the technogenic factor.

**Keywords:** Baydaratskaya Bay, coast dynamics, thermoabrasion, wind energy, thermal requirements, technogenic factor.

doi:10.15356/0435-4281-2016-3-12-21