

**УДК 551.4 / 551.34**

**МОНИТОРИНГ СКОРОСТЕЙ ОТСТУПАНИЯ БЕРЕГОВ В РАЙОНЕ  
БЕРЕГОВОГО ПРИМЫКАНИЯ ПЕРЕХОДА ТРУБОПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ  
БАЙДАРАЦКУЮ ГУБУ КАРСКОГО МОРЯ, ЗАПАДНЫЙ ЯМАЛ**

**Н.Г. Белова**, *к.г.н., географический ф-т МГУ имени М.В. Ломоносова,*  
*nataliya-belova@ya.ru*

**С.А. Огородов**, *д.г.н., географический ф-т МГУ имени М.В. Ломоносова,*  
*s.ogorodov@mail.ru*

**О.С. Шилова**, *к.г.н., географический ф-т МГУ имени М.В. Ломоносова,*  
*o.olyupina@mail.ru*

**А.В. Новикова**, *аспирант, географический ф-т МГУ имени М.В.*  
*Ломоносова, annamsu17@gmail.com*

**Д.М. Алексютина**, *к.г.-м.н., географический ф-т МГУ имени М.В.*  
*Ломоносова, aleksyutina@gmail.com*

На Ямальском побережье Байдарацкой губы Карского моря берега сложены преимущественно рыхлыми мерзлыми отложениями. По данным многолетнего полевого мониторинга, ведущегося географическим факультетом МГУ с конца 1980х годов, а также по результатам анализа космоснимков, средняя многолетняя скорость отступления бровки термобразионных уступов составляет 0,4 м/год. Интенсивность размыва на одних и тех же участках меняется год от года в зависимости от таких параметров, как интенсивность штормов, продолжительность безледного периода, сумма годовых положительных температур воздуха. После начала строительства перехода газопроводов через Байдарацкую губу в 2008 году техногенные нарушения значительно изменили строение береговой зоны. На суше деградация растительного покрова в результате проезда тяжелой техники вызвала активизацию термоэрозионных процессов и дефляции. Изъятие песчаного материала с пляжей и береговых баров привело к изменению поперечного профиля береговой зоны, к усилению или началу размыва.

The Yamal coast of Baydaratskaya Bay is composed by loose frozen sediments. Coastal dynamics monitoring is conducted using field and remote methods starting from the end of 1980s. The average long-term retreat of the coastal bluffs is 0.4 m / year. The intensity of erosion on the same sites varies from year to year, depending on parameters such as the intensity of storms, the duration of the ice-free period, the sum of annual positive air temperatures. After the start of construction of the gas pipelines across the Baydaratskaya Bay in 2008, technogenic disturbances significantly changed the structure of the coastal zone. On land, the degradation of vegetation cover as a result of the passage of heavy equipment caused the activation of thermoerosion processes and deflation. The seizure of sandy material from beaches and beach bars has led to a change in the transverse profile of the coastal zone, to an intensification or beginning of erosion.

**Ключевые слова:** берега, сложенные многолетнемерзлыми породами, динамика арктических берегов, мониторинг

**Key words:** permafrost coasts, arctic coastal dynamics, monitoring

**Введение.** Дисперсные многолетнемерзлые породы слагают 65% берегов Северного Ледовитого океана [1]. Среднемноголетние скорости отступления этих берегов обычно составляют 0,5-2 м в год [2]. Их изменчивость вдоль арктического побережья (от 0,1 до 5 м в год и более) обусловлена различиями в геологическом и геоморфологическом строении берега (гранулометрический состав и льдистость отложений, экспозиция и высота склонов, форма поперечного профиля береговой зоны и др.) и гидрометеорологических условиях (параметры ветра и волн, температуры воздуха и воды, площадь время распространения морских льдов).

Частота и сила штормов играет определяющую роль в межгодовой изменчивости скоростей отступления берегов [2, 3]. Современные климатические изменения, особенно ярко проявляющиеся в Арктике, способствуют росту темпов разрушения берегов [1, 2, 4, 5, 6, 7]. Основными факторами, влияющими на скорость разрушения берегов при потеплении,

являются увеличение продолжительности безлёдного периода и обусловленные им изменения волнового климата [3], тогда как взятые отдельно летние температуры в большинстве случаев плохо коррелируют со скоростями термоабразии [3, 4, 5]. Однако температурный фактор влияет на локальный рост скоростей отступления сильнольдистых сегментов берега [8].

**Район работ.** Байдарацкая губа представляет собой мелководный (с глубинами до 30 м) залив в юго-западной части Карского моря (рис. 1). Залив представляет собой дельту пра-Оби. К концу позднего неоплейстоцена уровень моря был ниже современных отметок дна губы; залив сформировался в нынешних очертаниях в результате голоценовой трансгрессии моря. Поднятие уровня моря активизировало процессы разрушения берегов, периодам уменьшения ледовитости соответствуют древние береговые линии на дне губы [9]. Байдарацкая губа образует самостоятельный литодинамический Байдарацкий район, один из четырёх литодинамических районов в юго-западном секторе Карского моря [10]. Вдоль современной береговой линии губы чередуются абразионные (термоабразионные, термоденудационные, высотой до 40 м) и аккумулятивные берега. Отложения береговых уступов представлены рыхлыми многолетнемёрзлыми породами, сформированными преимущественно в среднем и позднем неоплейстоцене и голоцене [11, 12].

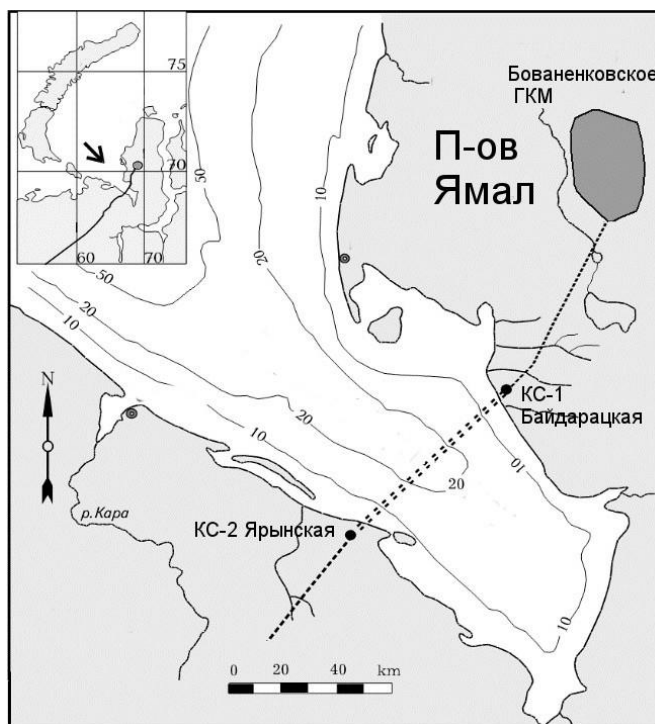


Рис. 1. Район исследования. Двойной пунктирной линией показана трасса подводного перехода Байдарацкой губы Карского моря магистральными газопроводами Ямал-Ухта

**История исследований.** Систематические исследования природных условий вдоль трассы трубопровода «Ямал-Центр» начались в 1988 году работами арктической морской инженерно-геологической экспедиции (АМИГЭ), НИЛ геоэкологии Севера географического ф-та МГУ и других организаций. По результатам комплексных работ 1990-1996 годов, проведённых ИПО «Эко-Система», была составлена монография [13], характеризующая различные аспекты природных условий побережья и акватории Байдарацкой губы. Мониторинг динамики берегов в районе береговых примыканий трубопровода был начат сотрудниками НИЛ геоэкологии Севера (НИЛГЭС) географического факультета МГУ ещё в 1988 году [9, 14].

**Методы мониторинга динамики берегов.** На обоих берегах губы в районе планируемого створа примыкания трубопроводов была установлена

сеть реперов. В створах реперов в разные периоды времени методом тригонометрического нивелирования отрисовывался профиль береговой зоны от бровки уступа на суше и примерно до внешнего края приливной зоны в море. Сопоставление разновременных профилей позволило количественно охарактеризовать динамику различных типов берегов. Прямые измерения проводились в 1990, 1991, 1993, 1997, 2005, 2006, 2007, 2009, 2012 и 2013 гг. на Уральском (29 профилей) и Ямальском (17 профилей) берегах, параллельно восстанавливались утраченные и закладывались новые профили сети мониторинга. Полевые работы проводились совместно сотрудниками НИЛГЭС и Государственного океанографического института имени Н.Н. Зубова (ГОИН). Помимо прямых наблюдений, скорости отступления берегов определялись с использованием материалов разновременных космоснимков высокого разрешения (рис. 2). Это позволило с высокой точностью установить пространственную и временную изменчивость динамики берегов не по отдельным профилям, а по побережью в целом. Использование дистанционных методов делает результаты независимыми от ошибки, возникающей от дискретности расположения профилей полевого мониторинга. В то же время, результаты многолетних полевых наблюдений нужны как для характеристики строения береговых уступов, так и для проверки результатов дешифрирования космоснимков.

### **Строение береговой зоны**

На Ямальском береговом участке мониторинг за динамикой берегов вёлся на участке от м. Мутный на севере до устья р. Лыяха на юге (16 км). Вершинные поверхности выходят к берегу моря только на севере и юге участка, образуя абразионно-термоденудационные уступы высотой 8-12 м к югу от м. Мутный и 22-28 м к югу от устья р. Яра-Яхи. Они сложены достаточно однородной по составу толщей, сложенной преимущественно малольдистыми песчаными отложениями [11]. В средней части, в пределах которой проложена система трубопроводов, берег представлен голоценовым

береговым баром высотой 1,6-2,1 м до начала строительства, который плавно снижается в сторону суши и переходит в лайду и лагуну.

Берег рассматриваемого участка защищён от воздействия северных и отчасти северо-западных ветров островами Марресальске Кошки. Вдольбереговой поток наносов направлен от устья р.Яра-Яха к северу до м. Мутный, где он затухает, способствуя формированию широкой осушки. В дельте р. Яха-Яха миграция наносов двусторонняя, при этом большая часть аккумулируется с северной стороны дельты, также формируя широкие осушки.

### **Динамика термоабразионных берегов**

Песчаные уступы с высотами 10-25 м имеют в районе исследований небольшую объёмную льдистость, в среднем 20-40% [13]. За период 1988-2009 годы средние скорости отступления термоабразионно-термоденудационных участков по данным полевых наблюдений составили 0,4 м/год для северного участка и 0,5 м/год для южного участка. В 2009-2012 гг. после начала активной фазы строительства ситуация несколько изменилась. Ускорились отступление северного абразионного сегмента на протяжении 2 км, прилегающих к береговому бару, где скорости за 2009-2012 гг. составили 1,3-5 м/год при темпах 0,1-0,3 м/год за 1988-2009 годы. Усилилась и абразия берега на протяжении 1 км к югу от устья р. Яра-Яха, чему, вероятно, способствовали дноуглубительные работы в устье. Здесь скорости составили до 2,3-7,9 м/год за 2009-2012 гг. при значениях 0,3-1,2 м/год за 1988-2009 годы. За 2012-2013 год на обоих рассматриваемых участках берег стабилизировался за счет прекращения активной фазы строительства и искусственной подпитки наносами пляжа вдоль берегового бара.

Сходные результаты получены при анализе разновременных космоснимков. В северной части термоабразионные уступы высотой 7-11 м с полигонально-жильными льдами (ПЖЛ) на протяжении 2.9 км к югу от м. Мутный разрушались неравномерно со средневзвешенной скоростью 0.2

м/год в 1968-2005 гг. и 0.9 м/год в 2005-2016 гг. В южной части берега высотой 8-12 м на протяжении 1.4 км к югу от устья р. Яраяхи в те же периоды отступали со средней скоростью 0.4 и 0.5 м/год соответственно. Южнее более высокие (17-25 м) песчаные уступы с ПЖЛ в указанные периоды разрушались со скоростями 0.3 и 0.6 м/год (длина берегового сегмента 3.3 км). Таким образом, на обоих участках термоабразионного берега в 2005-2016 гг. произошел рост скоростей отступления (в ~2 раза в южной части и в 4.5 раза в северной). Можно лишь предположить, что значительный рост скоростей отступления северного сегмента в более тёплый период обусловлен тем, что ПЖЛ в его низких уступах дают больший процент объемной льдистости, чем реже встречающиеся ПЖЛ в южной части, или же положением северного сегмента на мысу. Однако при общих низких скоростях отступления (средневзвешенная скорость вдоль побережья 0.4 м в год за 48 лет) сложно выделить влияние отдельных факторов динамики берегов.

**Динамика аккумулятивного берега.** До начала строительства берегового примыкания системы трубопроводов в 2008 году аккумулятивный берег на протяжении 3,5 км к северу от устья р. Яра-Яха постепенно отступал – граница берегового бара смещалась в сторону лайды (см. рис. 2). Возведённый над двумя нитками трубопровода коффердам образовал с южной стороны входящий угол, активно заполняющийся наносами. В результате к 2012 году осушка расширилась на 40 м к югу от коффердама и сузилась на 50 м к северу от него. С перехватом вдольберегового потока наносов коффердамом и изъятием песчаного материала с пляжа и осушки на участке от района строительства до устья р. Яра-Яха и связан дефицит наносов, обусловивший активизацию отступления абразионных уступов к северу от берегового бара. Сам береговой бар за период 2007-2012 гг. значительно деградировал, прежде всего за счёт изъятия наносов с пляжа и мелководья (см. рис. 2). В 2012 году его максимальные абс. отметки не превышали 1,2 м (БС-77) против 1,6-2,1 м до начала строительства. В результате многократных

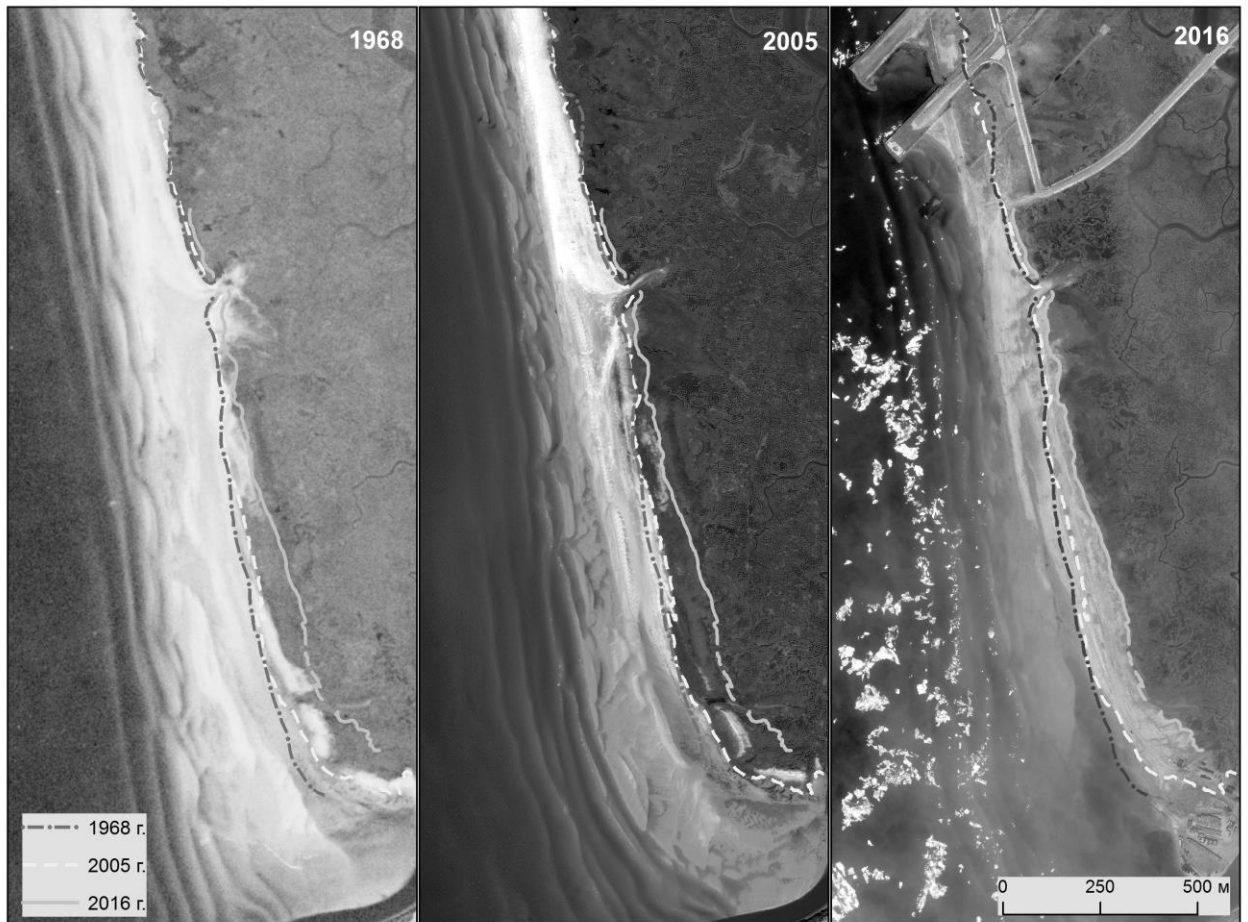


Рис. 2. Изменение границы лайды к северу от устья р. Яраяха на Западном Ямале (побережье Байдарацкой губы). Линиями показано положение границы лайды, определённое по снимкам 1968 (Corona СН4, разрешение 2,2 м), 2005 (QuickBird-2, разрешение 0,5 м) и 2016 (WorldView-3, разрешение 0,3 м) годов. На фото показан участок лайды со следами проезда тяжелой техники, активно разрушавшийся в 2012 году.



проездов тяжелой техники в плотных торфяно-песчаных отложениях бара начал формироваться береговой уступ. В 2011-2012 годах берег в районе коффердама был укреплен гибкими бетонными матами, что несколько замедлило размыв, однако уже в 2012 году наблюдались значительные деформации этих берегозащитных сооружений. Значительных изменений рельефа берегового бара за 2012–2013 гг. не произошло. В 2013 г. на отдельных участках к югу от берегового примыкания подводного перехода газопровода отмечено увеличение высоты берегового бара на 0,2–0,6 м по сравнению с 2012 годом. Возможно, в условиях снижения техногенного воздействия и постоянной искусственной подпитки пляжа наносами береговой бар начал постепенно восстанавливаться. Однако при сопоставлении космоснимков 2005 и 2016 гг. установлено, что за этот период граница берегового бара и лайды продвинулась на 100 м в сторону суши.

### **Выводы**

- 1) Аккумулятивный берег в пределах исследованного участка отступал ещё до начала строительства перехода системы магистральных трубопроводов. В период строительства продвижение бровки берегового бара в сторону лайды ускорилось в результате техногенных воздействий.
- 2) Термоабразионные берега указанного участка отступают со среднемноголетней скоростью 0,4 м в год за 48 лет (средневзвешенная величина для 7,6 км побережья). В 2005-2016 годах скорости отступления возросли по сравнению с периодом 1968-2005 годов в 4,5 раза для северной части района работ и в 2 раза для южной. Причина может быть как в достаточно тёплых годах с суммами годовых положительных температур выше среднемноголетних, так и в техногенном воздействии. При столь низких величинах скоростей отступления береговых уступов сложно достоверно выделить влияние отдельных факторов динамики берегов.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 16-35-60099 мол\_а\_дк. Авторы благодарны фонду ©Digital Globe Foundation за предоставленные данные дистанционного зондирования.

### **Библиографический список**

[1] Lantuit H., Overduin P.P., Couture N. et al. The Arctic Coastal Dynamics database: a new classification scheme and statistics on Arctic permafrost coastlines, *Estuaries and Coasts*, 2012, 35:383–400.

[2] Forbes D.L. (editor), *State of the Arctic Coast 2010 — Scientific Review and Outlook*. IASC, LOICZ, AMAP, IPA. Helmholtz-Zentrum, Geesthacht, Germany, 2011, 178 p.

[3] Арэ Ф.Э. Разрушение берегов арктических приморских низменностей. — Новосибир.: Акад. изд-во “Гео”, 2012. — 291 с.

[4] Огородов С.А. Роль морских льдов в динамике берегов. Москва: Издательство Московского ун-та, 2011, 173 стр.

[5] 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.

[6] Васильев А.А., Стрелецкая И.Д., Черкашев Г.А., Ванштейн Б.Г. Динамика берегов Карского моря // *Криосфера Земли*, 2006, т. X, №2, С. 56–67.

[7] Васильев А.А., Широков Р.С., Облогов Г.Е., Стрелецкая И.Д. Динамика морских берегов Западного Ямала // *Криосфера Земли*, 2011, 15(4):72–75.

[8] Белова Н.Г., Шабанова Н.Н., Огородов С.А., Камалов А.М., Кузнецов Д.Е., Баранская А.В., Новикова А.В. Динамика термоабразионных берегов Карского моря в районе мыса Харасавэй (Западный Ямал) // *Криосфера Земли*, 2017, Т. 21, № 6, стр. 85-96.

[9] Камалов А.М., Огородов С.А., Бирюков В.Ю. и др. Морфолитодинамика берегов и дна Байдарацкой губы на трассе перехода магистральными газопроводами // Криосфера Земли, 2006, Т. X, № 3, с. 3-14.

[10] Попов Б.А., Совершаев В.А., Новиков В.Н., Бирюков В.Ю., Камалов А.М., Федорова Е.В. Береговая зона морей Печорско-Карского региона // Исследование устойчивости геосистем Севера. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988, С. 176–190.

[11] Романенко Ф.А., Гаранкина Е.В., Олюнина О.С. Формирование рельефа Западного Ямала в позднем плейстоцене и голоцене // Криогенные ресурсы полярных регионов: Мат-лы международной конф. – Тюмень: Ин-т криосферы Земли, 2008. С. 327–330.

[12] Белова Н.Г. Пластовые льды юго-западного побережья Карского моря. М.: МАКС Пресс, 2014, 180 с.

[13] Природные условия Байдарацкой губы. Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Ямал-Центр. – М.: ГЕОС, 1997. 432 с.

[14] Копа-Овдиенко Н.В., Огородов С.А. Особенности динамики термоабразионных берегов Байдарацкой губы Карского моря на современном этапе // Геоморфология. 2016. № 3. С. 12–21.

## References

[1] Lantuit H., Overduin P.P., Couture N. et al. The Arctic Coastal Dynamics database: a new classification scheme and statistics on Arctic permafrost coastlines. *Estuaries and Coasts*, 2012, 35: 383–400.

[2] Forbes D.L. (editor), State of the Arctic Coast 2010 – Scientific Review and Outlook. International Arctic Science Committee, Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, Arctic Monitoring and Assessment Programme, International Permafrost Association. Helmholtz-Zentrum, Geesthacht, Germany, 2011, 178 p. <http://arcticcoasts.org>

- [3] Are F.E. Coastal erosion of the arctic lowlands. Editor-in-chief V.P. Melnikov. Novosibirsk: Academic publishing house “GEO”, 2012, 291 p. (in Russian).
- [4] Ogorodov S.A. The role of sea ice in coastal dynamics. Moscow: MSU Publishing, 2011, 173 p. (in Russian).
- [5] 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.
- [6] Vasiliev A.A., Streletskaya I.D., Cherkashev G.A. and Vanshtein B.G. Coastal dynamics of the Kara Sea. *Earth's Cryosphere*, vol. X, 2, 2006, pp.56-67 (in Russian).
- [7] Vasiliev, A.A., Shirokov, R.S., Oblogov, G.E., Streletskaya, I.D., 2011. Coastal dynamics of western Yamal. *Earth's Cryosphere*, XV (4), 72–75 (in Russian).
- [8] Belova N.G., Shabanova N.N., Ogorodov S.A., Kamalov A.M., Kuznetsov D.E., Baranskaya A.V., Novikova A.V. Erosion of permafrost coasts of the Kara Sea near Kharasavey Cape, Western Yamal // *Earth's Cryosphere*, 2017, Vol.21, 6 (in press)
- [9] Kamalov, A.M., Ogorodov, S.A., Biryukov, V.Yu. et al., 2006. Morpholithodynamics of Baidaratskaya Bay coasts and bottom at the route the main gas pipelines. *Earth's Cryosphere*, X (3), 3–14 (in.Russian)/
- [10] Popov B.A., Sovershaev V.A., Novikov V.N., Biryukov V.Yu., Kamalov A.M., Fedorova E.V., “Coastal zone of the seas of Pechora-Kara region”, in *Investigations of sustainability of northern geosystems*. Moscow: MSU publishing, 1988, pp. 176-190 (in Russian).
- [11] Romanenko F.A., Garankina E.V., Olyunina O.S. Formation of topography of Western Yamal during Late Pleistocene and Holocene // *Cryogenic resources of polar regions: Proceedings of the international conference*. Tyumen, Earth cryosphere institute, 2008, p. 327-330 (in Russian).

[12] N.G. Belova, Massive ice beds of the south-western coast of the Kara Sea. Moscow: MAKS Press, 2014, 180 p. (in Russian).

[13] Natural conditions of Baidaratskaya Bay. The main research results for the construction of an underwater crossing of the Yamal-Tsentr gas pipeline system. - Moscow: GEOS, 1997. 432 p (in Russian).

[14] Kopa-Ovdienko N.V., Ogorodov S.A. Peculiarities of the Dynamics of Thermoabrasive Coasts of the Baydaratskaya Bay of the Kara Sea at the Present Stage // Geomorphology. 2016. № 3. P. 12-21 (in Russian).