

Геоморфологические аспекты проблемы защиты населённых пунктов на берегах морей в высоких широтах

© 2020. В. В. Афанасьев¹, к. г. н., зав. лабораторией, Е. И. Игнатов², д. г. н., профессор,

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1-В,

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, e-mail: vvasand@mail.ru, gn38@mail.ru

Традиционный уклад жизни аборигенных народов побережья Арктики, наряду с максимальным приближением к объектам промысла, учитывал и особенности строения побережья, используя для поселения и хозяйственной деятельности песчано-галечные аккумулятивные бары и косы. В условиях вечной мерзлоты зачастую это были единственно возможные места для постоянного проживания. В работе рассматриваются проблемы, связанные с защитой населённых пунктов, расположенных на побережье Охотского, Чукотского и Берингова морей, главным образом, на голоценовых песчано-галечных аккумулятивных образованиях (барьерных островах и косах). Сравниваются подходы к решению проблемы на берегах Аляски, Чукотки, Камчатки, Западного Приохотья и Сахалина. Показано развитие берегозащитных технологий на арктических и субарктических берегах. Сделан вывод, что обоснование проектных решений не всегда соответствует уровню современных знаний о динамике берегов. Как правило, в основе определения долгосрочных тенденций размыва проблемных участков побережья лежит лишь интерполяция среднемноголетних данных, полученных при анализе материалов дистанционного зондирования. Применительно к проблеме защиты берегов рассмотрены тенденции размыва прибрежных равнин и динамики голоценовых аккумулятивных форм. Отмечена специфика геоморфологических процессов на арктических и субарктических берегах. Сделан вывод о том, что на основе полного набора данных о развитии и динамике прибрежной зоны рассмотренных морей, возможны биопозитивные и безопасные берегозащитные решения.

Ключевые слова: размыв берегов, замёрзший пляж, арктическое побережье, субарктические моря.

Geomorphological aspects of protection of coast settlements in high latitudes

© 2020. V. V. Afanasiev¹ ORCID: 0000-0002-2344-1269, E. I. Ignatov² ORCID: 0000-0001-9316-1062²

¹Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, 1-B, Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 693022,

²Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie Gory, Moscow, Russia, 119991, e-mail: vvasand@mail.ru, gn38@mail.ru

The problems related to the protection of settlements located on the coast, mainly on Holocene sand – pebble accumulative formations (barrier islands and spits) of the Okhotsk, Chukchi and Bering seas are considered. Approaches to solving the problem on the shores of Alaska, Chukotka, Kamchatka, Western Priokhotye and Sakhalin are compared. The evolution of coastal protection solutions on the Arctic and subarctic coasts is shown. It is concluded that the justification of the design solutions does not always correspond to the level of modern knowledge about the dynamics of the shores. At the same time, the basis for determining long-term trends of erosion of problem areas of the coast is the interpolation of the long-term average data obtained at the analysis of remote sensing materials. With reference to the problem of protecting the coast, the main trends of erosion of coastal plains and dynamics of Holocene accumulative forms are considered. Specific features of geomorphological processes on the Arctic and subarctic coasts were noted. During the period of intensive industrial development of the coast of Chukchi, Bering and Okhotsk seas the settlements, that are the most suffering from the erosion of the shores Shishmaref, Kivalina, Unalakleet, have been created. These settlements are located directly at the distal ends of the grids of the system of the lagoon strait. Accordingly, coastal protection solutions should be based on the analysis of migration of the strait, the possibility of changes in the direction of growth, form and morphometric parameters of the distal ends of the grids, modification of the tidal prism. It should be noted that these areas of the coast have enough sediment for any engineering solutions in this direction. It is also necessary to pay attention to considerable deterioration of wave-damping properties of beach deposits at their freezing.

Keywords: coastal erosion, freezing beach, Arctic coast, Subarctic seas.

Большой интерес представляют экологические аспекты взаимодействия береговых геоморфологических систем с человеком и его жизнедеятельностью в высоких широтах. Диапазон параметров биосферы, в которых может существовать человек, здесь один из самых узких на Земле, и весьма важную роль при освоении этих регионов играли геоморфологические условия и устойчивость береговых морфолитосистем. К сожалению, уровень палеогеографической и археологической изученности не позволяет нам опереться в данной работе на палеодемографическую модель расселения в динамических прибрежных ландшафтах. Но очевидно, что постоянные посёлки возникали, в первую очередь, на местах поселений вымерших или эмигрировавших общин, временных промысловых стоянок и сезонных охотничьих лагерей, которые на протяжении жизни нескольких поколений не испытывали разрушающего воздействия моря. Именно высокий уровень специализации жизнеобеспечения и изобилие морских промысловых ресурсов обусловили в XIX – начале XX веков на северо-восточном побережье России и северо-западном побережье Северной Америки одну из самых высоких в приполярном ареале плотность населения береговых охотников – до 3 чел./км² [4]. В период промышленного освоения этих территорий среди критериев выбора места для расположения промышленного объекта или посёлка опыт местного населения играл весьма значительную роль.

Мы не можем утверждать, что катастрофические подьёмы уровня и размыв береговых аккумулятивных форм арктических и субарктических морей в результате серии штормов исключительной силы, аналогичных наблюдаемым в конце XIX – начале XX веков на южном побережье полуострова Сьюард [2], обходили эти поселения стороной. Тем не менее, свидетельств тому, что они являлись катастрофическими в рамках традиционной системы жизнеобеспечения, у нас нет. И, напротив, в условиях промышленного освоения побережья усиление размыва берегов Берингова и Охотского морей, начавшееся в 30–40-х годах XX века, стало серьёзным вызовом безопасности населённых пунктов побережья и инфраструктуры [3].

Как отмечается в отчёте по оценке климата на Аляске, изменения климата происходят гораздо быстрее, чем прогнозировалось ранее [4]. В условиях Арктики перестройка гидрометеорологического режима и повышение

температуры воздуха в последние десятилетия, изменяющие параметры и продолжительность волнового воздействия на берега, привели также к увеличению длины разгона и соответственно параметров ветровых волн, что ещё более увеличило энергетику береговой зоны и повысило риски для традиционного образа жизни населения [5].

Целью работы было описать геоморфологические аспекты проблемы защиты населённых пунктов на берегах морей в высоких широтах.

Проблемы защиты берегов Охотского моря и российского побережья Чукотского и Берингова морей

На берегах Чукотского моря преобладают береговые формы, созданные волнением [6]. Но в настоящее время, в условиях усиления волновой активности подверженность берегов Чукотского моря процессам абразии самая низкая из северных морей России [7]. К тому же, на сотнях километров морского побережья расположено всего несколько населённых пунктов. В районе западного входа в пролив Лонгана на бере лагуны расположен национальный посёлок Биллингс с населением около 200 человек. Особенности морфолитодинамики береговой зоны, обусловленные малой шириной и глубиной прибрежной летней полыньи, на которой развивается ветровое волнение, а также характером атмосферной циркуляции в тёплый период, таковы, что постройки располагаются практически на пляже и переносить их нет необходимости. В отличие от с. Биллингс, расположенного на типичном лагунном бере, п. Ванкарем находится на томболо, сформированном в волновой тени одноимённого скалистого мыса на дистальном окончании западной лагунной косы. Посёлки Инчоун, Уэллен, Нешкан, Мыс Шмидта расположены на прикорневых участках лагунных пересыпей также непосредственно у коренных участков суши, активно разрушаемых морозным выветриванием, и которые являются мощным источником наносов, обеспечивающих устойчивость аккумулятивных образований.

На Берингоморском побережье Чукотки в настоящее время все населённые пункты расположены в закрытых бухтах и на высоких террасах. Однако еще в начале века весь этот берег был плотно заселён, здесь насчитывалось несколько десятков аборигенных поселков и стойбищ, жители которых были впоследствии

собраны в крупных селениях [4]. Одной из основных причин переселения, наряду со сменой системы жизнеобеспечения, называется деградация голоценовых береговых аккумулятивных образований, на которых располагались эти поселения [8].

Проблема защиты берегов не обозначена в нормативно-правовых актах Камчатской области. Тем не менее, она существует. В связи со сменой технологий обработки рыбы часть посёлков, созданных при рыбных базах, была закрыта уже в 60–70-е годы XX века. Затем последовала волна укрупнений населённых пунктов, затронувшая преимущественно национальные села. После землетрясения 2007 г. был расселён п. Корф, расположенный на одноименной косе. Таким образом, проблема берегозащиты потеряла свою остроту. Но в настоящее время жители сёл Ильпырское, Ивашка, Апука и Пахачи на северо-востоке Камчатки общей численностью 1260 человек защищают свои дома подручными средствами, главным образом, старыми баржами и рыболовными судами. Такие населённые пункты как п. Оссора, п. Карага, с. Вывенка, с. Кострома, с. Тиличики, расположенные на закрытых от волнения низких аккумулятивных террасах и косах с устойчивым питанием наносами, проблем с размывом берегов в настоящее время не имеют.

Более известна проблема с размывом и защитой берегов на Западно-Камчатском побережье [9]. И если небольшие посёлки и рыбные базы здесь уже давно прекратили своё существование, то п. Октябрьский с населением 1600 человек, расположенный на Октябрьской косе, до сих пор борется с морской стихией.

На южных берегах Охотского моря, также относимых нами к субарктическому типу, и на Сахалинском побережье Татарского пролива в настоящее время вполне морфолитодинамическое обоснование и проектирование более 30 км берегозащитных сооружений, из которых около 17 км уже построено [10]. Тем не менее, и здесь приходят в упадок и поглощаются морем прибрежные города и посёлки, разрушаются портовые сооружения и даже имеющиеся проекты защиты г. Красногорск, г. Углегорск, п. Взморье не реализуются десятилетиями.

Проблемы защиты восточных берегов Чукотского и Берингова морей

Изменения окружающей среды, с которыми связываются ускоренные темпы эро-

зии и наводнения, угрожающие общинам в прибрежных районах на Аляске находятся под пристальным вниманием [11]. В 2006 г. из 7 населённых пунктов, требующих первоочередного внимания, 4 находились непосредственно в береговой зоне. Национальные посёлки Шишмарев и Кивалина (общей численностью населения 997 человек) были рекомендованы к переселению, оцененному в 250–305 млн долларов, а для поселков Кактовик и Уналаклит (общая численность населения в 2016 г. составляла 949 человек) предполагалась берегозащита стоимостью около 70 млн долларов [12]. В 2009 г. первоочередного решения требовали проблемы уже 10 береговых населённых пунктов [13]. Общая протяжённость берегозащиты на восточных берегах Чукотского моря в настоящее время составляет около 2,8 км волногасящих конструкций откосного типа и сэндбэгов, а также около 2 км каменной наброски. На восточных берегах Берингова моря построено чуть более 3 км берегозащиты. Берегозащитные конструкции на восточных берегах Чукотского и Берингова морей прошли эволюционный путь от деревянных волноотбойных стенок и бочек, заполненных песком, до габионных стенок, сэндбэгов, геотуб, бетонных матов и волногасящих откосных сооружений. Город Барроу пытались защищать искусственным пляжем из морских наносов, полученных при дноуглублении. Используются также песчаная обваловка и стабилизация дюн. На самых проблемных участках, расположенных на барьерных формах и косах, в настоящее время построены именно волногасящие сооружения откосного типа; национальное село Уналаклит (400 м), национальное село Кивалина (730 м), национальное село Шишмарев (800 м).

Геоморфологические аспекты решения проблемы берегозащиты

Как показывает обзор проблемы, берегозащита необходима в первую очередь населённым пунктам, расположенным на голоценовых песчано-галечных аккумулятивных образованиях (барьерных островах и косах). Только два защищаемых населённых пункта – Барроу и Уэйнрайт – расположены на 5–15 м террасах побережья с высоким содержанием в отложениях берегового уступа подземного льда. Без сомнения, из-за наличия вечной мерзлоты, сезонно-мёрзлых пород в зоне пляжа и контакта припайных льдов со льдом, специфики гидродинамического режима, эрозия берего-

вых линий в умеренных, субарктических и арктических регионах имеет существенные различия [14, 15]. Однако, несмотря на определённую разницу в действующих механизмах, количественное различие в интенсивности и активности абразионных и термоабразионных арктических побережий может быть менее значительным, чем принято считать [16].

На основе анализа данных дистанционного зондирования многие авторы отмечают, что, начиная с середины прошлого века и до настоящего времени, происходит увеличение скорости размыва берегов [17, 18]. Но, следует отметить, что буквально в последних работах при анализе динамики арктических побережий начали учитываться морфогенетические типы берегов. При этом выяснилось, что минимальные перемещения отмечены для кос и баров, а максимальные скорости размыва наблюдаются для береговых уступов равнин, сформированных при спуске озёр [19, 20]. Интересно, что песчаные и гравийно-галечные барьерные острова на дельтовых побережьях также стабильны либо нарастают [21, 22].

Увеличение накопления наносов в областях унаследованной аккумуляции при усилении размыва берегов, наблюдаемого с 40-х годов прошлого века, установлено нами при анализе изменений морфометрических показателей аккумулятивных образований Охотоморского побережья [23]. Аккумулятивные формы, морфодинамический облик которых сформировался в период последнего ритма позднеголоценовой прибрежно-морской аккумуляции, связанного с подъёмом уровня океана, перестраиваются, но в условиях незначительных, менее 1 метра, приливов и короткого периода волнового воздействия достаточно стабильны. В частности, это относится к барам лагуны Элсон и барам в районе п. Биллингс. Скорости разрушения берегов лагун здесь существенно выше скоростей перемещения баров, кроме того площадь лагун увеличивается также за счёт присоединения термокарстовых озёр.

В качестве основного результата дистанционных исследований берегов можно принять выводы о том, что наблюдаемая пространственная структура размыва в основных чертах существует, по меньшей мере, с 30-х годов XX века. Плановые перестройки барьерных форм и кос (уменьшение, увеличение площади) в значительной мере связаны именно с механизмами развития этих форм, обусловленными параметрами вдольбереговых перемещений наносов, тенденциями смеще-

ния лагунных проливов, сезонными особенностями строения берегового профиля [24]. Штормовые переливы и эрозия, без сомнения, представляют опасность на берегах этого типа. Вместе с тем риски многократно увеличиваются при игнорировании естественных механизмов и тенденций развития аккумулятивных образований. Именно по этой причине берегозащита в п. Шишмарев в период между 1983 и 2003 гг. привела к низовым размывам и скорости эрозии, вдвое превышающей уровень незащищаемых берегов. А вот построенное недавно волногасящее сооружение откосного типа из рваного камня, которое обеспечило устойчивость аккумулятивного образования в системе сезонной морфолитодинамики, защитило поселок от эрозии даже при аномально сильных южных ветрах «Великой бури 2011 года» [3].

Заключение

Можно утверждать, что поселения, имеющие продолжительную историю, расположены на участках унаследованной аккумуляции, в прикорневых зонах баров и кос, а также на аккумулятивных образованиях типа томболо в волновой тени участков суши, сложенных коренными породами. Именно эти участки были относительно стабильны на протяжении всех ритмов аккумуляции и размыва, обусловленных изменениями уровня моря в последние 6,5 тыс. лет с амплитудой 2–4 м. Прибрежные болотистые равнины в большинстве случаев вообще не пригодны для постоянных поселений. Таким образом, наряду с биопродуктивностью прибрежных акваторий рельеф сформировал экологический каркас среды жизни человека в высоких широтах.

Изменения интенсивности размыва берегов в XX–XXI веках отмечены на всех рассматриваемых морях. Обострение ситуации в последние десятилетия, скорее всего, не является чем-то из ряда вон выходящим. Однако уровень комфорта и требований безопасности населения сейчас куда выше, чем сто лет назад. Населённые пункты, наиболее страдающие в настоящее время от переформирования берегов – Шишмарев, Кивалина, Уналаклит, расположены непосредственно на дистальных окончаниях кос системы лагунного пролива. Соответственно берегозащитные решения должны иметь в своей основе анализ миграций пролива, возможностей изменений направления роста, формы и морфометрических параметров дистальных окончаний кос, модификации приливной призмы. Следует

отметить, что на данных участках побережья достаточно наносов для любых инженерных решений в этом направлении.

Кроме того, при решении проблемы защиты и планировании деятельности на побережье холодных морей следует обратить самое пристальное внимание на специфику эрозионного берегового процесса субарктического и арктического типа. Перспективы в этом направлении открывают выявленные нами деформации подводного рельефа под припайными льдами и увеличение крутизны верхней части берегового профиля при формировании наледи, а также установленный нами факт существенного ухудшения волногасящих свойств пляжевых отложений при их промерзании [25].

Литература

1. Крупник И.И. Арктическая этноэкология (модели традиционного природопользования морских охотников и оленеводов Северной Евразии). М.: Наука, 1989. 272 с.
2. Mason O.K., Salmon D.K., Ludvig S.L. The periodicity of storm surges in the Bering Sea from 1898 to 1993, based on newspapers accounts // *Journal of Climatic Change*. 1996. No. 34. P. 109–123.
3. Mason O.K., Jordan J.W., Lestak L., Manley W.F. Narratives of shoreline erosion and protection at Shishmaref, Alaska: The anecdotal and the analytical // *Pitfalls of Shoreline Stabilization*. Dordrecht: Springer, 2012. P. 73–92.
4. Markon C.J., Trainor S.F., Chapin III F.S. The United States national climate assessment – Alaska technical regional report U.S. Geological Survey. Reston: VA, 2012. No. 1379. 148 p.
5. Polyak L., Alley R.B., Andrews J.T., Brigham-Grette J., Cronin T.M., Darby D.A., Jennings A.E. History of sea ice in the Arctic // *Journal of Quaternary Science Reviews*. 2010. No. 29. No. 15–16. P. 1757–1778.
6. Ионин А.С., Каплин П.А., Леонтьев О.К., Медведев В.С., Никифоров Л.Г., Павлидис Ю.А., Щербачев Ф.А. Особенности формирования рельефа и современных осадков в прибрежной зоне дальневосточных морей СССР. М.: Наука, 1971. 184 с.
7. Молчанов В.П., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Риски чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. 300 с.
8. Каплин П.А., Поротов А.В. Особенности развития пересыпей Восточной Чукотки в условиях повышения уровня моря // *Геоморфология*. 2002. № 1. С. 74–82.
9. Зенкович В. П., Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г., Лукьянова С.А. К геоморфологии западного побережья Камчатки // *Геоморфология и литология береговой зоны морей и других крупных водоёмов*. М.: Изд-во Наука, 1971. С. 3–8.
10. Афанасьев В.В. Геоморфологические аспекты проблемы защиты берегов острова Сахалин // *Геоморфология*. 2015. № 2 (182). С. 28–37.
11. Villages A.N. Most are affected by flooding and erosion, but few qualify for federal assistance. Washington, DC: Government Accountability Office, 2003. 85 p.
12. Alaska village erosion technical assistance program: An examination of erosion issues in the communities of Bethel, Dillingham, Kaktovik, Kivalina, Newtok, Shishmaref, and Unalakleet. USACE: US Army Corps of Engineers, Alaska District, 2006. 44 p.
13. Alaska baseline erosion assessment: Study findings and technical report. USACE: US Army Corps of Engineers, Alaska District, 2009. 65 p.
14. Are F.E., Grigoriev M.N., Hubberten H.W., Rachold V., Razumov S.O., Schneider W. Comparative shore face evolution along the Laptev Sea coast // *Polarforschung*. 2002. No. 70. P. 135–150.
15. Совершаев В.А., Воскресенский К.С., Камалов А.М., Романенко Ф.А. Развитие береговых аккумулятивных форм в условиях криолитозоны // *Динамика арктических побережий России*. М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 80–92.
16. Leont'yev I.O. Coastal profile modeling along the Russian Arctic coast // *Coastal Engineering*. 2004. V. 51. No. 8–9. P. 779–794.
17. Brown J., Jorgenson M.T., Smith O.P., Lee W. Long-term rates of coastal erosion and carbon input, Elson Lagoon, Barrow, Alaska // *Permafrost: Proceedings of the 8th Intern. conf. on Permafrost*. Zürich, 2003. P. 101–106.
18. Overeem I., Anderson R. S., Wobus C.W., Clow G.D., Urban F. E., Matell N. Sea ice loss enhances wave action at the Arctic coast // *Geophysical Research Letters*. 2011. V. 38. No. 17. P. L17503.
19. Jones B.M., Arp C.D., Jorgenson M.T., Hinkel K.M., Schmutz J.A., Flint P.L. Increase in the rate and uniformity of coastline erosion in Arctic Alaska // *Geophysical Research Letters*. 2009. V. 36. No. 3. P. L03503.
20. Gibbs A.E., Richmond B.M. National assessment of shoreline change – Summary statistics for updated vector shorelines and associated shoreline change data for the north coast of Alaska, U.S. – Canadian border to Icy Cape. U.S. Geological Survey Open-File Report 2017–1107, 2017. 24 p.
21. Grigoriev M.N., Are F.E., Hubberten H.-W., Razumov S.O., Rachold V. Shore dynamics on the northwest coast of the Lena Delta, Laptev Sea, Siberia // *Proceedings of the International conf. on Arctic Coastal Dynamics*. Potsdam (Germany), 2001. P. 17.
22. Jorgenson M.T., Brown J. Classification of the Alaskan Beaufort Sea coast and estimation of carbon and sediment inputs from coastal erosion // *Geo-Marine Letters*. 2005. V. 25. No. 2–3. P. 69–80.
23. Афанасьев В.В., Уба А.В. Средне-позднеголоценовые аккумулятивные образования северо-западного побережья острова Сахалин: происхождение, история и современная динамика // *Вестник ДВО РАН*. 2017. № 1. С. 12–17.

24. Леонтьев И.О., Афанасьев В.В. Динамика лагунного берега северо-восточного Сахалина на примере системы Ныйского залива и косы Пластун // *Океанология*. 2016. Т. 56. С. 556–571.

25. Afanasiev V.V. Development of the coastal zone of the subarctic seas in the transition of average daily temperatures to the freezing values // 9th International Conference on Geomorphology. New Delhi, 2017. P. 149.

References

1. Krupnik I.I. Arctic ethnoecology (models of traditional nature management of sea hunters and reindeer herders of Northern Eurasia. Moskva: Nauka, 1989. 272 p. (in Russian).

2. Mason O.K., Salmon D.K., Ludvig S.L. The periodicity of storm surges in the Bering Sea from 1898 to 1993, based on newspapers accounts // *Journal of Climatic Change*. 1996. No. 34. P. 109–123. doi: 10.1007/bf00139256

3. Mason O.K., Jordan J.W., Lestak L., Manley W.F. Narratives of shoreline erosion and protection at Shishmaref, Alaska: The anecdotal and the analytical // *Pitfalls of Shoreline Stabilization*. Dordrecht: Springer, 2012. P. 73–92. doi: 10.1007/978-94-007-4123-2_5

4. Markon C.J., Trainor S.F., Chapin III F.S. The United States national climate assessment – Alaska technical regional report U.S. Geological Survey. Reston: VA. 2012. No. 1379. 148 p.

5. Polyak L., Alley R. B., Andrews J.T., Brigham-Grette J., Cronin T. M., Darby D.A., Jennings A.E. History of sea ice in the Arctic // *Journal of Quaternary Science Reviews*. 2010. No. 29. No. 15–16. P. 1757–1778. doi: 10.1016/j.quascirev.2010.02.010

6. Ionin A.S., Kaplin P.A., Leontyev O.K., Medvedev V.S., Nikiforov L.G., Pavlidis Yu.A., Shcherbakov F.A. Features of the formation of relief and modern sediments in the coastal zone of the Far Eastern seas of the USSR. Moskva: Nauka, 1971. 181 p. (in Russian).

7. Molchanov V.P., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. Risks of emergencies in the Arctic zone of the Russian Federation. Moskva: FGBU VNII GOChS (FC), 2011. 300 p. (in Russian).

8. Kaplin P.A., Porotov A.V. Peculiarities of development of the East Siberian Chukotka overgrasses in conditions of rising sea level // *Geomorfologiya*. 2002. No. 1. P. 74–82 (in Russian).

9. Zenkovich V.P., Leontyev O.K., Nikiforov L.G., Lukyanova S.A. To the geomorphology of the western coast of Kamchatka // *Geomorfologiya i litologiya beregovoy zony morej i drugih krupnyh vodoemov*. Moskva: Nauka, 1971. P. 3–8 (in Russian).

10. Afanasiev V.V. Geomorphological aspects of the protection of the coast of Sakhalin Island // *Geomorfologiya*. 2015. No. 2. No. 182. P. 28–37 (in Russian). doi: 10.15356/0435-4281-2015-2-28-37

11. Villages A.N. Most are affected by flooding and erosion, but few qualify for federal assistance. Washington, DC: Government Accountability Office, 2003. 85 p.

12. Alaska village erosion technical assistance program: An examination of erosion issues in the communities of Bethel, Dillingham, Kaktovik, Kivalina, Newtok, Shishmaref, and Unalakleet. USACE: US Army Corps of Engineers, Alaska District, 2006. 44 p.

13. Alaska baseline erosion assessment: Study findings and technical report. USACE: US Army Corps of Engineers, Alaska District, 2009. 65 p.

14. Are F.E., Grigoriev M.N., Hubberten H.W., Rachold V., Razumov S.O., Schneider W. Comparative shoreface evolution along the Laptev Sea coast // *Polarforschung*. 2002. No. 70. P. 135–150. doi: 10.2312/polarforschung.70.135

15. Sovershaev V.A., Voskresensky K.S., Kamalov A.M., Romanenko F.A. Development of coastal accumulative forms under conditions of cryolithozone // *Dinamika arkticheskikh poberezhnykh Rossii*. Moskva: Izd-vo MGU, 1998. P. 80–92 (in Russian).

16. Leont'yev I.O. Coastal profile modeling along the Russian Arctic coast // *Coastal Engineering*. 2004. V. 51. No. 8–9. P. 779–794. doi: 10.1016/j.coastaleng.2004.07.009

17. Brown J., Jorgenson M.T., Smith O.P., Lee W. Long-term rates of coastal erosion and carbon input, Elson Lagoon, Barrow, Alaska // *Permafrost: Proceedings of the 8th Intern. conf. on Permafrost*. Zürich, 2003. P. 101–106.

18. Overeem I., Anderson R. S., Wobus C.W., Clow G.D., Urban F. E., Matell N. Sea ice loss enhances wave action at the Arctic coast // *Geophysical Research Letters*. 2011. V. 38. No. 17. P. L17503. doi: 10.1029/2011gl048681

19. Jones B.M., Arp C.D., Jorgenson M.T., Hinkel K.M., Schmutz J.A., Flint P.L. Increase in the rate and uniformity of coastline erosion in Arctic Alaska // *Geophysical Research Letters*. 2009. V. 36. No. 3. P. L03503. doi: 10.1029/2008gl036205

20. Gibbs A.E., Richmond B.M. National assessment of shoreline change – Summary statistics for updated vector shorelines and associated shoreline change data for the north coast of Alaska, U.S. – Canadian border to Icy Cape. U.S. Geological Survey Open-File Report 2017–1107, 2017. 21 p. doi: 10.3133/ofr20171107

21. Grigoriev M.N., Are F.E., Hubberten H.-W., Razumov S.O., Rachold V. Shore dynamics on the northwest coast of the Lena Delta, Laptev Sea, Siberia // *Proceedings of the International conf. on Arctic Coastal Dynamics*. Potsdam (Germany), 2001. P. 17.

22. Jorgenson M.T., Brown J. Classification of the Alaskan Beaufort Sea coast and estimation of carbon and sediment inputs from coastal erosion // *Geo-Marine Letters*. 2005. V. 25. No. 2–3. P. 69–80. doi: 10.1007/s00367-004-0188-8

23. Afanasiev V.V., Uba A.V. Middle-Late Holocene accumulative formations of the northwestern coast of Sakhalin Island: origin, history and modern dynamics // *Vestnik DVO RAN*. 2017. No. 1. P. 12–17 (in Russian).

24. Leont'yev I.O., Afanasiev V.V. Dynamics of the lagoon coast of northeastern Sakhalin on the example of the Nyisky Bay system and the Plastun spit // *Okeanologiya*. 2016. V. 56. P. 564–571 (in Russian). doi: 10.1134/s0001437016030139

25. Afanasiev V.V. Development of the coastal zone of the subarctic seas in the transition of average daily temperatures to the freezing values // 9th International Conference on Geomorphology. New Delhi, 2017. P. 149.