

Экология. Environmental Science

УДК 551.1/4(571.65)

Специфика формирования рельефа и рыхлых отложений в экосистеме береговой зоны приливных ледовитых морей (на примере Северного Охотоморья)

Specific character of relief and loose sediments forming in the coastal zone of tidal icy seas (in the context of the northern part of the Sea of Okhotsk) ecosystem



© **Важенин** Борис Павлович, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ДВО РАН, г. Магадан. Контактный телефон: +7-914-8565819. E-mail: vazhenin@neisri.ru

© **Vazhenin** Boris Pavlovich, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, researcher at the North-Eastern Interdisciplinary Scientific Research Institute of the Far East Branch of the RAS, Magadan. Contact phone: +7-914-8565819. E-mail: vazhenin@neisri.ru

Аннотация. С использованием полевых и дистанционных методов исследований определены некоторые специфические черты процессов формирования рельефа и рыхлых отложений в экосистеме береговой зоны моря под совместным действием приливных сил и ледового покрова.

Ключевые слова: экосистема, приливные моря, береговая зона, ледовый припай, ледовое торошение, ледовый разнос, Охотское море

Abstract. The results of field studies and remote sensing data are used to describe some peculiar features of forming land surface and loose rocks processes as due to a combined action of sea tides and ice cover in the sea coastal zone ecosystem.

Keywords: ecosystem, tidal seas, coastal zone, fast ice, ice hummocks, ice hummocking, ice transposition, Sea of Okhotsk

Введение

Примагаданская часть Северного Охотоморья — от п-ова Хмитевского до п-ова Пьягина — отличается от обширных участков, прилегающих с запада и северо-востока, значительно большей изрезанностью береговой линии со многими заливами, бухтами, полуостровами и островами (рис. 1). Изолированность заливов и бухт от прямого воздействия длиннопериодных волн открытого моря придаёт некоторую специфику проявлению процессов форми-

рования рельефа и рыхлых отложений в береговой зоне¹. Это же определяет несколько иной характер участия в таких процессах ледового покрова. И вдобавок ко всему, на динамику как чисто волновых процессов формирования рельефа и рыхлых отложений, так и с участием ледового покрова накладываются периодические изменения уровня моря вследствие действия приливо-отливных сил. Здесь преобладают неправильные полусуточные (в Тауйской губе) и неправильные суточные (у п-ова Кони) приливы с максимальной амплитудой до 5 м и более [2]. Специфика морфолитогенеза в береговой зоне приливных ледовитых морей очень слабо отражена в фундаментальных трудах, посвящённых рельефу морских берегов [1, 3, 4].

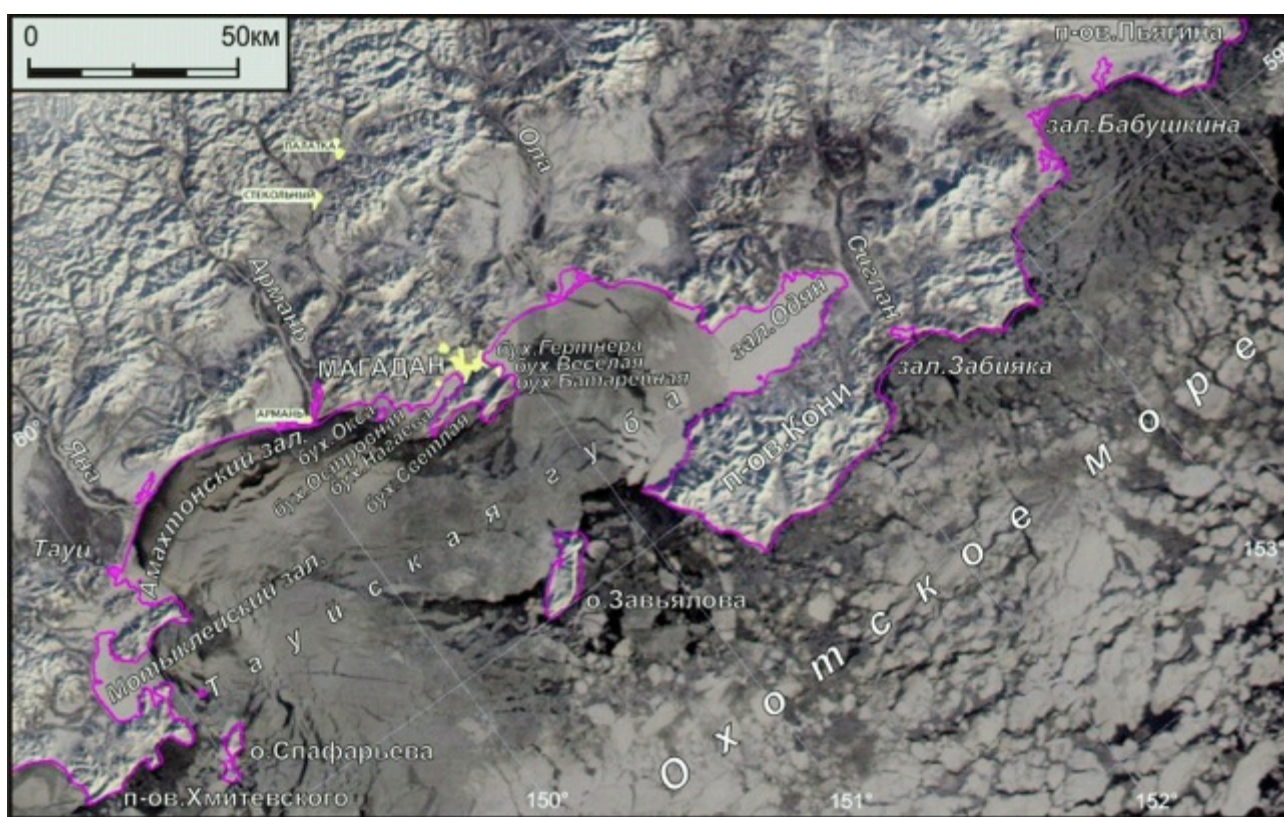


Рис. 1. Типичная для середины зимы ледовая обстановка в Северном Охотском море (снимок 31 января 2007 г.). Наблюдается: битый лёд, дрейфующий к западу в открытом море; оторвавшиеся от берега крупные ледовые поля в Тауйской губе; стационарный припай в заливах Мотыклейский, Одян, в бухтах Гертнера, Нагаева, Окса и в западной части Амахтонского залива вблизи устья р. Тауй

Как показали многолетние полевые и дистанционные исследования с использованием аэроснимков и космоснимков с разрешением около 1 м из интернет-сервисов Google Earth и SASPlanet, формирование рельефа и рыхлых отложений (морфолитогенез) в береговой зоне Примагаданья происходит под действием абразионной волноприбойной деятель-

¹ Под береговой зоной понимается совокупность берега и подводного берегового склона в представлении В. П. Зенковича, О. К. Леонтьева, В. В. Лонгинова [1].

ности моря; береговых склоновых процессов с участием криогенеза, провоцируемых абразией; ледового торошения и ледового разноса обломочного материала; тектонических движений; сейсмичности, цунами и др. В данной статье из-за лимита её объема рассмотрены преимущественно процессы морфолитогенеза с участием подвижного, вследствие действия приливных сил, ледового покрова. Другим их вариантам посвящены иные публикации: готовые [5-9] и планируемые.

Динамика ледового покрова

Бухты Примагаданья — Нагаева, Гертнера, Веселая, Батарейная, Светлая, Островная, Окса и др. — до 6-7 месяцев в году (с ноября-декабря по апрель-май) покрыты ледовым припаем, достигающим к концу зимы толщины 1-1,5 м (рис. 1). При этом на акваториях Тауйской губы и всего Охотского моря ледовая обстановка более динамична. Там преобладает дрейф крупных (размерами в десятки и первые сотни километров) ледовых полей, сменяющийся в суровые зимы на некоторое время (месяц-два) их остановками, смерзанием в единый массив и примерзанием к берегам [2]. Под действием штормов, особенно в начале и в конце зимы, дрейф возобновляется. Разрушение припая в бухтах происходит обычно не за счёт его таяния на месте, как в закрытых водоёмах, а посредством отрыва от берега и выноса в открытое море. Это случается — без экстремальных ветровых и иных воздействий — чаще всего в первой, второй, а иногда и в третьей декадах мая, когда толщина льда становится меньше 1 м, а приливные трещины-шарниры перестают смерзаться даже ночью.

Ветро-волновые воздействия на припай существенно более эффективны — вплоть до его частого разрушения и выноса — в более открытых бухтах: Гертнера, Батарейной, Островной, чем в почти бутылковидной в плане бух. Нагаева. При этом ветровые волны в бух. Нагаева имеют меньший период, нежели в бух. Гертнера. Роль фильтра, не пропускающего длиннопериодные волны, играет зауженный вход в бух. Нагаева. Вдоль кромки припая всех бухт — на контакте его с дрейфующими льдами — возникают ветро-волновые трещины, разводья и зоны торосов.

В мелководной бух. Гертнера на литорали, шириной до 1,5 км, припай разбит системой приливных трещин, исполняющих роль шарниров при приливно-отливных колебаниях уровня моря с переменной в течение лунного цикла амплитудой с максимумом до 5 м. Они периодически подновляются и вновь залечиваются молодым вертикальнополосчатым льдом (рис. 2). Число трещин-шарниров на литорали возрастает — с ростом толщины припая и его жёсткости — до 10 и более штук. В бух. Нагаева этот процесс менее выражен из-за

бóльших глубин и меньшей ширины литорали; а также из-за заклинивания припая причалами, 300-метровым каменным молотом, затонувшими судами и узким входом в бухту.



Рис. 2. Приливно-отливная шарнирная трещина в бух. Нагаева (17 февраля 2008 г.), залечивающаяся вертикальнополосчатым льдом в промежутках между высокоамплитудными вертикальными ледовыми подвижками

Ледовое торошение

Зимой на урезе воды образуется береговая ледовая терраса с толщиной льда приближающейся к максимальной амплитуде приливных колебаний (рис. 3, 4). Она отличается от остальной части припая (который находится на плаву и имеет толщину до 1-1,5 м) тем, что примерзает к берегу и совершенно неподвижна, в отличие от примыкающей к ней динамичной части припая, испытывающей регулярные перемещения по вертикали вследствие приливных колебаний и эпизодические — по горизонтали — под действием торошения, и отделена от неё системой трещин, регулярно подновляемых и вновь смерзающихся.



Рис. 3 Береговые торосы и береговая ледовая терраса в бух. Нагаева: 1 — низкая на отлогом пляже восточного берега; 2 — более высокая на приглубом северном берегу (4 марта 2010 г.)

Больше толщина береговой ледовой террасы на приглубых берегах, как на склоне волнолома в бух. Нагаева (рис. 4 б), меньше — на отмелях, как на пляже её восточного берега (рис. 3, 4 а). Береговая терраса защищает пляж от торошения подвижным вследствие приливных колебаний и волновых воздействий ледовым припаем (рис. 3, 5 в) и принимает на свою поверхность весь склоновый обломочный материал, смещающийся с берега, как это видно на рис. 4 а.



Рис. 4. Разрушающаяся весной береговая ледовая терраса: **а** — на отлогом пляже восточного берега бух. Нагаева (11 мая 2008 г.); **б** — на склоне волнолома у южного берега той же бухты (13 мая 2007 г.)

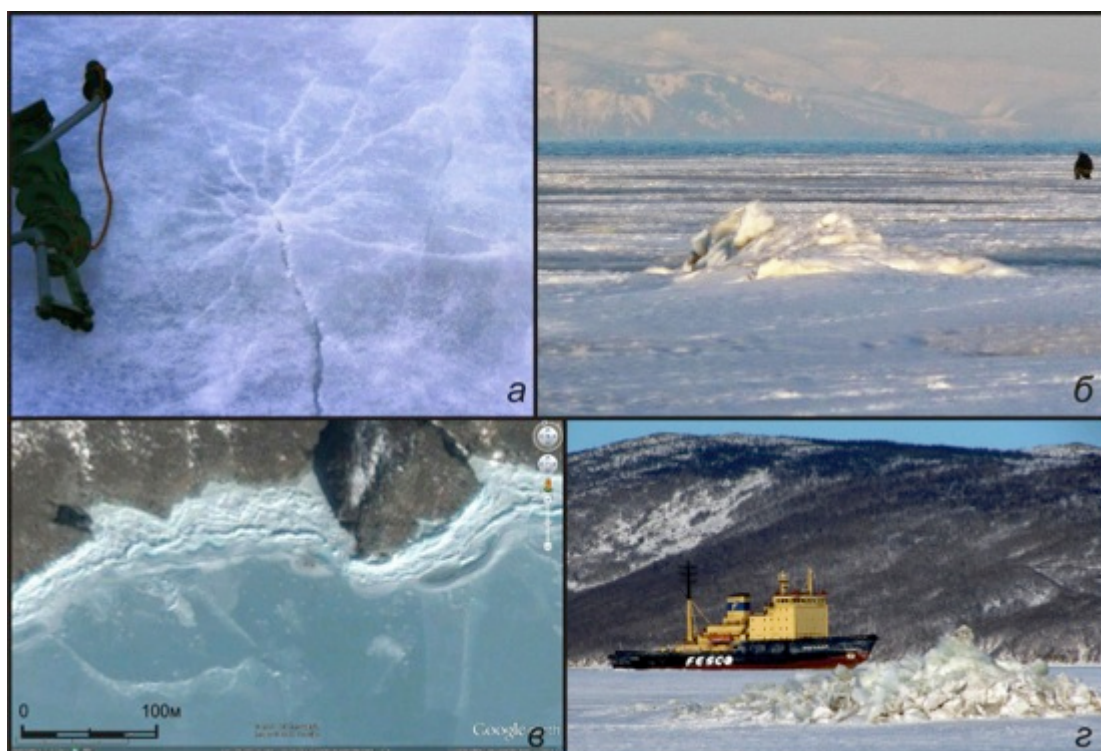


Рис. 5. Одна из многочисленных звёздчатых трещин (**а**), возникающих на поверхности припая в литоральной зоне при его «насаживании» в отливы на выступающие над поверхностью морского дна камни (снимок 21 декабря 2003 г.); «звёздчатый» торос (**б**), выросший из звёздчатой трещины над крупным камнем при увеличении к концу зимы толщины льда (25 апреля 2009 г.); многочисленные звёздчатые торосы (мелкие точки), береговые торосы и береговая ледовая терраса у входного мыса в зал. Одян в начале зимы (**в**); крупный звёздчатый торос (**г**), образующийся над взорвавшимся в 1947 г. и затонувшим в бух. Нагаева пароходом «Выборг»

В большей мере ледовое торошение воздействует на берега открытых акваторий и особенно на мысах, чем в закрытых от ветров бухтах. Результат торошения подвижными ледовыми полями хорошо выражен в виде высокой степени окатанности глыб на фронтальном уступе палеосейсмообвала Восточный-0,3 (мыс Восточный, рис. 6).

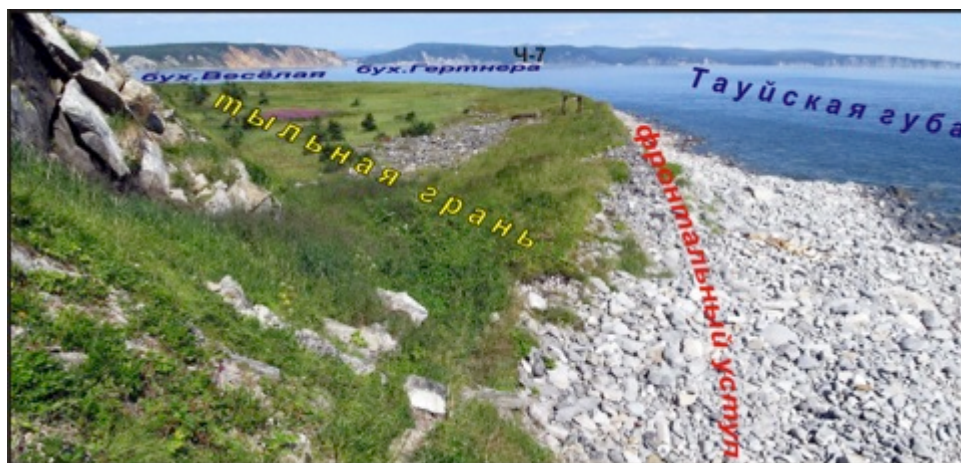


Рис. 6. Окатанные в результате волноприбойной деятельности и ледового торошения глыбы на фронтальном уступе палеосейсмообвала Восточный-0,3 (возрастом более 2 тыс. лет [9]), сложенного остроугольными глыбами и щебнем. Ч-7 — палеосейсмообвал Чёрный-7 на северном берегу бух. Гертнера

Весной при разрушении ледовой террасы образуются большей частью изометричные по форме «микроайсберги» высотой на примагаданском участке до 5 м. Нередко в мае и июне в очистившиеся уже ото льда магаданские бухты ветры и течения заносят «чужой» битый лед, источник которого — север Охотского моря (рис. 7). Там в Гижигинской и Пенжинской губах амплитуда приливных колебаний достигает наибольшей величины для Тихого океана — 9,6-и 12,9 м. Соответственно этому и высота пенжинских «микроайсбергов» может превышать 12 м.



Рис. 7. Очень крупные «микроайсберги» на отмели бух. Нагаева — фрагменты разрушившейся весной береговой ледовой террасы, занесенные с севера Охотского моря (снято 12 мая 2013 г.)

Ледовый «пресс»

При низких отливах припайный лед на литорали ложится на подводные камни, и на его поверхности образуются многолучевые звездчатые трещины, которые по мере роста толщины льда (до 1,3-1,5 м) и его тяжести раскрываются, увеличиваются в ширину и длину, и превращаются (на наиболее крупных камнях) в сравнительно хорошо выраженные в рельефе ледовой поверхности звездчатые торосы (рис. 5).

Силу воздействия припая на дно может демонстрировать пример быстрого (за два года) погружения затонувшего в 2006 г. и опрокинувшегося БМРТ² «Профессор Моисеев» (рис. 8) в донный ил под собственным весом и давлением припайного льда. Теперь киль судна не заметен над водой при самых низких отливах, а раньше он возвышался более чем на 2 м. Также, по-видимому, погружаются в рыхлые отложения литорали и крупные глыбы и валуны.



Рис. 8. Затонувший в бух. Нагаева. БМРТ «Профессор Моисеев» (снято 18 мая 2006 г.)

Когда ледовый припай на литорали в отливы ложится на дно, к его нижней поверхности примерзают песок и гальки. С ростом толщины льда снизу такие песчано-галечные линзовидные прослои оказываются к концу зимы в верхних его слоях. В результате весеннего таяния льда сверху, к маю они выходят на поверхность припая при толщине его около 1 м. Из-за прогрева солнцем более тёмных, чем лёд, песчано-галечных линз, вокруг них образуются ванны талой воды глубиной около 0,5 м, размером до 10 м и более (рис. 9 а). Причём они начинают протавить уже тогда, когда линзы ещё находятся под слоем льда в первые дециметры.

Ледовый и иной разнос обломочного материала

Процесс ледового разноса обломочного материала представляют обычно следующим образом. Поступающий с крутых берегов на лед обломочный материал попадает на ледовый припай (рис. 4 а), после разрушения которого весной уносится от берегового уступа льдинами и по мере их таяния оседает на морском дне. Однако в приливных ледовитых морях действуют ещё два иных, и, пожалуй, более эффективных механизма ледового разноса.



Рис. 9. Ледовый разнос обломочного материала в результате его примерзания к нижней поверхности ледового припая, лежащего на дне в литоральной зоне бух. Гертнера при низких отливных уров-

² Большой морозильный рыболовный траулер.

нях: **а** — выход песка и мелких валунов на поверхность припая за счёт его весеннего таяния сверху (10 мая 2013 г.); **б** — отложенные на литораль валуны и гальки, диссоциирующие с типичными для данного места отложениями существенно более мелкого гранулометрического состава

Примерзающий снизу и выходящий весной на поверхность (рис. 9 а) обломочный материал после разрушения ледового припая и береговой ледовой террасы уносится на льдинах на разные расстояния, в том числе и в южные части Охотского моря, где лёд окончательно тает и сгружает обломочный материал на дно (рис. 9 б).

В период весеннего разрушения ледовой террасы ее фрагменты, вследствие приливных колебаний, раскачивают — как клéщи — и удаляют с уреза вмороженные в лед крупные (до 1 м и более) камни и разносят их по побережью большей частью на небольшие расстояния — метры и сотни метров, которые ограничиваются значительным весом крупных обломков (рис. 4 б). Топографическое положение крупных приметных глыб на урезе обвальноссыпных берегов под таким ледовым воздействием меняется из года в год на протяжении многих лет наблюдения.

Особенно нагляден результат действия вдольберегового ледового разноса в примыгаданской бухте Окса (рис. 10), в которой количество и размер валунов на пляже постепенно уменьшаются от подножий скальных прижимов (с крупноглыбовыми осыпями) на ее западном и восточном берегах к вершине бухты.

Вследствие дрейфа «микроайсбергов» (рис. 7) с севера Охотского моря возможен разнос ими по всему морю экзотичных для региона обломков горных пород, например, докембрийских кристаллических сланцев, кварцитов, известняков, гнейсов, залегающих в бассейне Охотского моря только на п-ове Тайгонос. Обнаружение их где-нибудь на юге Охотского моря может поставить в тупик исследователей литологии и петрографии морских отложений.

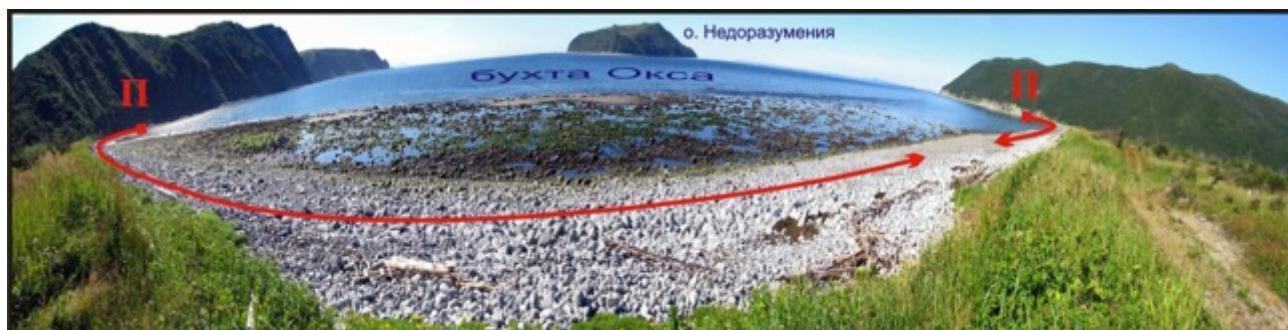


Рис. 10. Направления (показаны стрелками) уменьшения количества и крупности валунов на бенче от осыпей у подножий скальных прижимов (П) к вершине бухты Окса вследствие ледового разноса

Биогенный разнос обломочного материала осуществляется в небольших масштабах за счет прикрепления водорослей, например, ламинарии (морской капусты) к мелким камням на дне в литоральной зоне. Сильными приливными течениями камни с ламинарией в роли паруса волокутся по дну в большей мере в сторону отступающего моря (рис. 11 а).

Заметную роль в перемещении мелкозернистых рыхлых отложений на литорали играют морские черви (нереисы). Сооружаемые ими многочисленные иловато-песчаные кратеры над входами в их норки (рис. 11 б) регулярно размываются волнами, перемещающейся по литорали — вследствие приливов и отливов — волноприбойной зоны, а материал, из которого они строились, сносится на более низкий гипсометрический уровень морского дна.

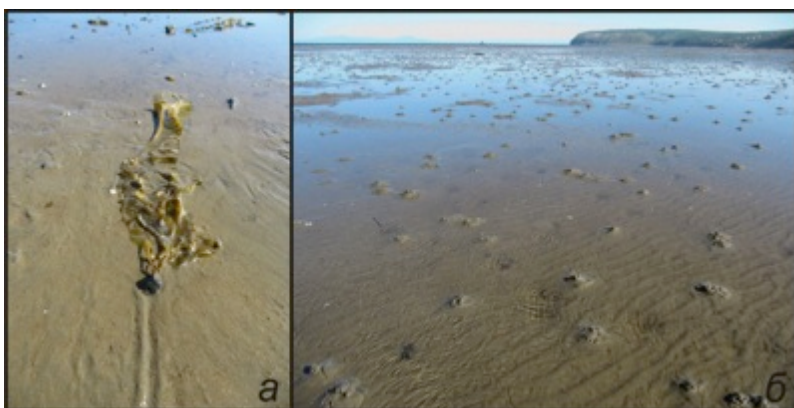


Рис. 11. Борозда на песчаном дне в литоральной зоне бух. Гертнера, возникшая вследствие перемещения отливным течением гальки с прикрепившимся к ней слоевищем ламинарии (а). «Кратеры», создаваемые морскими червями — нереисами — над их норками (б)

Влияние процессов морфолитогенеза на экосистему

Влияние процессов морфолитогенеза в береговой зоне приливных ледовитых морей на биогенную составляющую экосистемы выражается неоднозначно и разнонаправленно. Так, ледовый разнос крупных глыб и валунов по литорали формирует более сложный рельеф прибрежий благоприятный для закрепления там водорослей, моллюсков, нежели на ровном песчано-галечном подножье пляжа, подверженном интенсивной волноприбойной переработке. На крупных валунах, осушающихся в малую воду, любят отдыхать тюлени и морские птицы. Менее интенсивно, но на больших площадях дна усложнение его рельефа проявляется при ледовом разносе песка, гальки и мелких валунов, примерзающих к нижней поверхности припая.

В то же время «ледовый пресс» производит обратную работу по сглаживанию рельефа дна в зоне осушки. Регулярное ледовое «вспахивание» рыхлых отложений береговой зоны за счет приливно-отливных колебаний уровня моря дает пищу таким рыбам как навага, и бельдюга, большую часть зимы питающимся бентосом на литорали. В марте под трещинами между береговой ледовой террасой и подвижным ледовым припаем на каменистых участках побережья в фазу высоких приливов нерестится треска [10]. Сельдь откладывает икру в

конце мая – начале июня преимущественно в зарослях ламинарии, произрастающей большей частью на неровных участках литорали, формирующихся, в том числе и за счет прибрежного ледового разноса крупных глыб и валунов. В таких укрытиях всё лето держится морской ёрш, который в начале лета активно поедает сельдьную икру. Зубатка (собака-рыба) также прячется летом в подобных местах, но кормится моллюсками и крабами. Звездчатая камбала в это время тоже подходит близко к берегу, привлекаемая икрой сельди и мойвы, а крупная охотится и на саму мойву. Большие косяки корюшки, обитающие под припаем вне литорали на глубине 5-25 м почти всю зиму, в конце ее – обычно в начале мая – заходят в зону осушки вместе с навагой под оставшуюся в результате деградации ледового покрова полосу льда шириной до 1-2 км. Крабы и морские звезды, избегая воздействия «ледового пресса», подходят близко к берегу только на приглубых его участках. Тюлени с увеличением толщины льда мигрируют на кромку припая и на плавучие ледовые поля, несмотря на высокую концентрацию корюшки, и наваги зимой именно под прибрежным припаем. Возвращаются они в бухты только после разрушения льда вслед за косяками нерестовой сельди – независимо от наличия или отсутствия плавучих льдин.

Проявляется и обратное влияние биогенной составляющей экосистемы на морфолитодинамическую. Это выражается в отмеченных процессах перемещения небольших камней прикрепляющимися к ним слоевищами ламинарии на более низкий гипсометрический уровень вследствие отливных течений; а также за счет размыва и сноса на бóльшую глубину песка из кратеров над норками нереисов, при размыве их в волноприбойной зоне, мигрирующей под действием приливных колебаний уровня моря.

Заключение

Специфика морфолитогенеза в береговой зоне Северного Охотоморья в целом характерна для всех ледовитых приливных морей. Ей свойственно формирование береговой ледовой террасы, ограничивающей воздействие на берег морских волн только летним периодом (около полугода). Выравниванию морских отложений на литорали способствует давление на них ледового припая с образованием на нем звёздчатых трещин и звёздчатых торов. Примерзанием обломочного материала к нижней поверхности ледового припая осуществляется массовый разнос отложений по всему Охотскому морю. Более локализованный разнос преимущественно в береговой зоне происходит вследствие вмерзания крупных глыб в береговую ледовую террасу и последующего ее разрушения. Заметную роль в морфолитогенезе на литорали северных морей играет, как оказалось, биогенный разнос осадков. Отмечается влияние процессов морфолитогенеза в береговой зоне приливных ледовитых мо-

рей на биогенную составляющую экосистемы и обратное влияние биогенной составляющей экосистемы на морфолитодинамическую.

Литература

1. Берега / П.А. Каплин, О.К. Леонтьев, С.А. Лукьянова, Л.Г. Никифоров. М.: Мысль, 1991. 479 с.
2. Атлас Сахалинской области. М.: ГУГК, 1967. 135 с.
3. Леонтьев О.К. Основы геоморфологии морских берегов. М.: Изд-во МГУ, 1961. 419 с.
4. Щукин И.С. Общая геоморфология. Т. III. М.: Изд-во МГУ, 1974. 382 с.
5. Важенин Б.П. Морфодинамика берегов бухты Нагаева (Охотское море) // Геоморфология, 2012. № 4. С. 45-53.
6. Важенин Б.П. Проблемы исследования цунами в Северном Охотоморье // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды второй региональной научно-технической конференции. 11-17 октября 2009 г. Петропавловск-Камчатский, 2010. С. 312-317.
7. Важенин Б.П. Роль цунами в формировании рельефа морских побережий Дальнего Востока России // Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты. VI Щукинские чтения. Труды (коллектив авторов). М.: Географ. фак-т МГУ, 2010 г. С. 281-283.
8. Важенин Б.П. Природные опасности на территории г. Магадан // Материалы Международной конференции «Город и геологические опасности». 17-21 апреля 2006 г. СПб: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2006. С. 33-40.
9. Важенин Б.П., Лебединцев А.И. Морские береговые обвалы и их значение в древнем освоении Северного Приохотья // Неолит и палеометалл Севера Дальнего Востока. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2006. С. 164-175.
10. Малинин В. Спортивное рыболовство в Магаданской области. Магадан: Кн. изд-во, 1967. 120 с.

Рецензент: Тоскунина Вера Эдуардовна,
доктор экономических наук, кандидат геолого-минералогических наук