ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ, 2023, том 54, № 2, с. 26–35

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ

УДК 551.435.33(571.65)

МОРФОДИНАМИКА СКЛОНОВ И БЕРЕГОВ БУХТЫ НАГАЕВА (ОХОТСКОЕ МОРЕ)[#]

© 2023 г. В. Н. Смирнов[1,*], Н. А. Горячев[1], О. Ю. Глушкова[1], А. Ю. Пахомов[1]

[1] *Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Магадан, Россия*

******E-mail: smirnovvn@yandex.ru*

Поступила в редакцию 11.12.2021 г.
После доработки 03.05.2022 г.
Принята к публикации 22.12.2022 г.

Изложены результаты изучения морфодинамики денудационных склонов и надводной части береговой зоны бухты Нагаева, а также расстояний и скоростей продвижения восточной береговой линии в сторону суши в период с 1939 по 2016 г. Основные методы работы – морфографический и морфометрический с использованием аэрофотоснимков разных лет залета, современных орбитальных изображений и снимков. Установлено, что морфоструктура южного и северного берегов бухты Нагаева определяется активными разломами субширотного простирания, которые обрамляют бухту. Примыкающие к берегам полигенетические горные склоны различаются длиной и углом наклона поверхности. Склоны покрыты активными курумами, которые сползают в сторону бухты. В нижней части северного склона проходит зона Нагаевского активного разлома, которая обусловила высокую динамику склоновых процессов с преобладанием активных курумов и поверхностных оползней. Северный склон подрезан дорожными и строительными работами при сооружении морского порта и прокладке Портового шоссе. Вследствие этого здесь широко распространены техногенно возбужденные поверхностные оползни, горные обвалы и осыпи, часто нарушающие движение по шоссе. Таким образом, территория морского торгового порта и Портовое шоссе находятся в зоне риска внезапного схода с горных склонов крупнообъемных масс обломочного материала. Восточная береговая зона образована береговым уступом, сложенным рыхлыми отложениями нагаевской толщи, пляжем неполного профиля, литоралью, ширина которой в максимум отлива достигает 200–250 м. Морская граница зоны проходит на расстоянии около 500 м от берегового уступа. Восточный берег активно продвигается в сторону г. Магадана. За период с 1939 по 2016 г. он сместился на 56 м со средней скоростью 0.73 м/год. В течение первого этапа (1939–1974 гг.) он продвинулся на 29.0 м со средней скоростью около 0.83 м/год. В течение второго этапа (1974–2016 гг.) наблюдается замедление смещения берега, составившее около 27.0 м при средней скорости 0.64 м/год. В последние годы на восточном берегу бухты Нагаева ведутся крупномасштабные работы по укреплению берега и защите его от абразии путем возведения волноотбойной стены. В связи с этим происходит нарушение сложившегося динамического равновесия береговых процессов, что в конечном счете приведет к полному исчезновению пляжа, а на оставшихся не защищенными участках берега – к усилению абразии и более быстрому продвижению береговой линии в сторону города.

Ключевые слова: абразия, пляж, береговой уступ, типы морских берегов, эрозия, денудация, разлом, поверхностный оползень

DOI: 10.31857/S2949178923020093, **EDN:** FOIDSD

ВВЕДЕНИЕ

Изучение динамики морских берегов имеет большое значение как в теоретическом, так и в практическом отношении. Морская абразия, отодвигая береговую линию в сторону суши, представляет неотвратимую угрозу для городской инфраструктуры, размещенной на прибрежной территории. Выполненные исследования актуальны для г. Магадана, так как на южном и северном берегах бухты Нагаева расположены торговый и рыбный порты, а к восточному берегу вплотную подступают городские застройки. До последнего времени специальных работ по изучению динамики берегов бухты Нагаева за длительный период времени не проводилось. Выполнялись только эпизодические визуальные наблюдения за образованием обвальных и оползневых форм на поверхности берегового обрыва после

[#] *Ссылка для цитирования*: Смирнов В.Н., Горячев Н.А., Глушкова О.Ю., Пахомов А.Ю. (2023). Морфодинамика склонов и берегов бухты Нагаева (Охотское море) // Геоморфология и палеогеография. Т. 54. № 2. С. 26–35. https://doi.org/10.31857/S2949178923020093; https://elibrary.ru/FOIDSD

сильных дождей и штормовых нагонов (Важенин, 2017).

Нами проведены исследования с целью изучения происхождения, морфологии, морфометрии и динамики рельефа берегов и денудационных склонов бухты Нагаева. Работы выполнялись на основе дешифрирования аэрофотоснимков залетов 1939 и 1974 г., а также орбитальных снимков из интернет-ресурса ГУГЛ "Планета Земля" (2016 г.) и крупномасштабных аэрофотоснимков, полученных с помощью квадрокоптера "DJI Phantom 3 Professional". В методическом смысле особое значение имеет выявление на восточном побережье бухты Нагаева объектов береговой инфраструктуры – портовых пакгаузов, которые отражены на всех указанных выше дистанционных материалах. Известная длина пакгаузов (80 м) позволила использовать их в качестве "масштабной линейки" при изучении морфометрических параметров различных объектов, изображенных на аэрофотоснимках и спутниковых снимках разных лет, и определения с высокой точностью расстояний между различными объектами береговой инфраструктуры, существовавшей в прошлом.

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БУХТЫ

Бухта Нагаева является затопленной морем частью Магаданской неотектонической впадины, выполненной слабо диагенезированными песчано-галечными отложениями миоцен-плиоценового возраста (нагаевская толща и горизонт "наднагаевские галечники") (Гриненко и др., 1998). Ее морская граница определена по линии, соединяющей мыс Чирикова и мыс Серый. Впадина врезана в Магаданский интрузивный массив, сложенный гранитоидами раннемелового возраста, который рассечен неотектоническими разломами субширотного и северо-восточного простирания. Впадина и ограничивающие ее разломы принадлежат крайнему юго-западному звену системы межгорных впадин миоценового возраста, связанных с Ланково-Омолонской зоной кайнозойских правосторонних сдвигов. (Смирнов, 1996, 2011). Она располагается между двумя асимметричными неотектоническими блоками, у которых короткие склоны южных экспозиций образованы плоскостями новейших разломов, а относительно пологие склоны северных экспозиций представляют собой наклонные вершинные поверхности блоков с реликтами кор выветривания плиоценового возраста (рис. 1). В Примагаданье широко распространены многообразные формы рельефа и отложения склонового ряда, происхождение которых обусловлено процессами гравитационного расседания междуречий (Пахомов, Смирнов, 2002). Выделяются различные морфологические типы указанных структур: трещины и рвы отседания, обвалы, оползни чехла, скальные оползни. Они широко распространены в полосе, примыкающей к абразионным береговым обрывам Тауйской губы и бухты Нагаева. Во многих случаях установлена их связь с активными разломами.

Северный и южный берега бухты приурочены к неотектоническим разломам субширотного и северо-восточного простирания, которые в виде кулис прослеживаются вдоль морского побережья. Эти берега большей частью относятся к категории первично-тектонических и абразионно-денудационных (Мысливец и др., 2018). Северо-восточные части берегов преобразованы техногенными процессами.

Восточный берег образован под действием волно-прибойных процессов на толщу слабо сцементированных песчано-галечных отложений миоцен-плиоценового возраста. Здесь сформировалась сложная береговая зона, которая включает в себя абразионный уступ, пляж неполного профиля и обширную литораль (Сафьянов, 1978). Таким образом, берега бухты Нагаева имеют различное морфологическое выражение.

ЮЖНЫЙ И СЕВЕРНЫЙ СКЛОНЫ И БЕРЕГА

К южному берегу бухты примыкает длинный (до 3.9 км) и относительно пологий горный склон п-ова Старицкого. Он имеет северную экспозицию и образован наклонной вершинной поверхностью неотектонического блока, на которой отдельными пятнами отмечаются курумы (рис. 2). В верхней части склона это малоактивные потоковые фации, в средней части склона на поверхности тектонической ступени, зажатой между кулисами Марчеканского разлома, отмечается курумовый покров "распученной скалы" (Курумы..., 1989). Поверхность дренируется горными ручьями длиной до нескольких км, по которым стекает пролювиальный материал. Иногда в виде маломощных водокаменных потоков он выплескивается далеко в береговую зону, образуя характерные пролювиальные конусы. Южный берег на всем протяжении от мыса Чирикова до Марчеканского рыбного порта относится к категории первично-тектонических и абразионно-денудационных берегов. Строение прилегающего к нему склона определяется Марчеканским активным разломом, который представляет собой зону малоамплитудных сбросо-сдвигов в виде нескольких кулис, и серией сбросов, оконтуривающих п-ов Старицкого. Этими разрывными структурами обусловлены выраженная в рельефе ступенчатость горного склона и обрывистый берег бухты (рис. 2). На всем протяжении южный берег представлен линией контакта водной поверхности с абразионными уступами или с крутыми обвально-осыпными горными склонами. Этот уча-

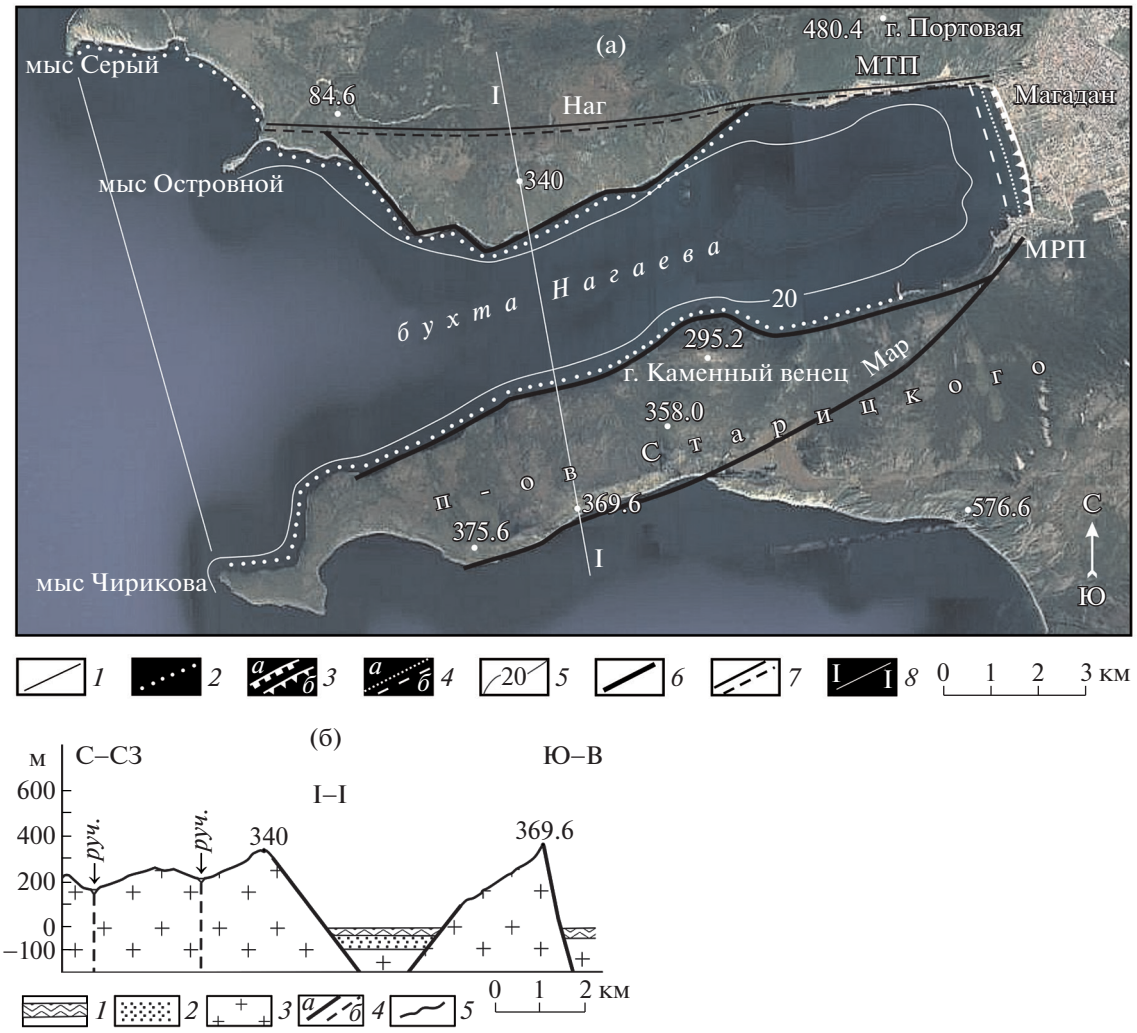

Рис. 1. Геоморфология бухты Нагаева. (а) – общий вид бухты (снимок из интернет-ресурса Google earth): *1* – морская граница бухты; *типы морских берегов: 2* – первично-тектонический и абразионно-денудационный, *3* – абразионный (а) и абразионно-оползневой (б); *4* – граница литорали (а) и морская граница береговой зоны (б); *5* – изобата 20 м; *6* – активные разломы; *7* – зона дробления Нагаевского активного разлома; *8* – линия геоморфологического профиля. *Буквенные обозначения:* МТП – Магаданский торговый порт, МРП – Магаданский рыбный порт, Наг – Нагаевский активный разлом, Мар – Марчеканский активный разлом. (б) – поперечный профиль через бухту: *1* – морская акватория; *2* – миоцен-плиоценовые осадки; *3* – гранитоиды Магаданского интрузивного массива; *4* – активные разломы (а) и зона дробления Нагаевского активного разлома (б); *5* – вершинная поверхность неотектонических блоков.

Fig. 1. Geomorphology of Nagaev Bay. (а) – General view of the bay (image from the Google Earth Internet resource): *1* – sea boundary of the bay; *types of seashores: 2* – primary tectonic and abrasion-denudation, *3* – abrasion (а) and abrasion-landslide (б); *4* – littoral boundary (а) and sea boundary of the coastal zone (б); *5* – 20 m isobath; *6* – active faults; *7* – crushing zone of the Nagaev active fault; *8* – line of geomorphological profile. *Letter designations:* МТП – Magadan commercial port, МРП – Magadan fishing port, Наг – Nagaev active fault, Мар – Marchekan active fault. (б) – transverse profile through the bay: *1* – marine area; *2* – Miocene-Pliocene sediments; *3* – granitoids of the Magadan intrusive massif; *4* – active faults (а) and crushing zone of the Nagaev active fault (б); *5* – summit surface of neotectonic blocks.

сток морского побережья слабо затронут техногенным воздействием и в целом представляется относительно стабильным в сравнении с северным и восточным берегами.

Северный берег бухты также имеет тектоническое происхождение. Он приурочен к Нагаевскому активному разлому, который имеет широтное простирание и протягивается на 45 км от мыса Островного на западе до р. Ола – на востоке (Смирнов и др., 2000). Активность разлома отчетливо проявлена в западной части северного побережья бухты, не нарушенного техногенным воздействием. Здесь с разломом связан высокий береговой обрыв, рассеченный множеством эрозионных рытвин, по которым коллювиальные массы стекают в береговую зону. В коренных породах разлом вы-

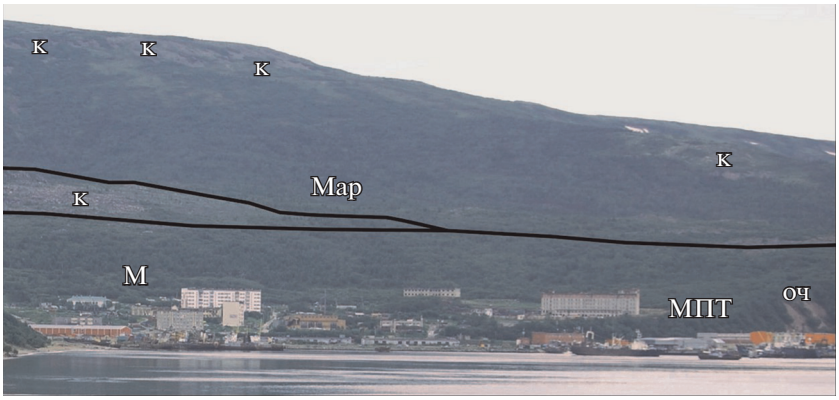

Рис. 2. Южный берег бухты Нагаева (вид с севера, со стороны Портового шоссе). к – курумовые потоки, Мар – Марчеканский разлом, оч – оползень чехла, М – городской квартал Марчекан, МРП – Магаданский рыбный порт.
Fig. 2. Southern coast of the Nagaev Bay (view from the north, from the side of the Portovoye Highway). к – stone stream, Мар – Marchekan fault, оч – cover landslide, М – Marchekan city quarter, МРП – Magadan fishing port.

ражен мощной зоной катаклаза в виде рассланцевания и будинажа гранодиоритов Магаданского интрузивного массива (рис. 3). Тектониты представлены круглыми, эллипсоидальными, линзовидными "валунами", заключенными в рассланцованном и раздробленном субстрате гранодиоритового состава. В зоне тектонитов, имеющей ширину в десятки метров, часто наблюдаются плоскости разрывов также субширотного простирания, имеющие пологое падение на юг и маркирующиеся обширными зеркалами скольжения (рис. 3, (а)). Изучение искусственного обнажения (каменный карьер) на северном берегу бухты Нагаева показало, что Нагаевский разлом представляет собой правосторонний сбросо-сдвиг с пологим (около 30°) падением на юг, по которому опущена впадина бухты. С разломом связаны линейно ориентированные тектонические трещины и уступы, береговые обрывы, а также многочисленные структуры гравитационного расседания склонов.

Восточная часть северного берега на протяжении 3.5 км образована линией контакта водной поверхности с техногенной зоной, на которой размещена вся инфраструктура Магаданского торгового порта. Над нею возвышаются крутые коллювиальные и курумовые склоны, подрезанные территорией порта и полотном Портового шоссе (рис. 3, (б)). Здесь происходит наиболее активное образование поверхностных оползней, которые регулярно выходят на дорожное полотно. Поверхности оползней часто представляют собой перемещенные вниз фрагменты склонов, на которых часто бывает сохранена древесная растительность. В связи с тем, что массы обломочного материала, которые регулярно обрушиваются на Портовое шоссе, удаляются за пределы портовой инфраструктуры, основание склона подрезается снова и снова, чем создаются благоприятные условия для схода очередного оползня.

На всем горном склоне, примыкающем к бухте Нагаева с севера, выделяются различные фации курумообразования: в верхней части – покров крупнообломочного и глыбового материала разрушенных коренных пород (гранодиоритов), в средней – потоковые фации с различной степенью закурумленности, в нижней – шлейфовидные покровные курумы (Курумы..., 1989). Наиболее значительные из них – это расположенные в северо-восточном обрамлении бухты Нагаева курумы, образующие в нижней части склона курумо-оползневые шлейфы, а также поверхностные оползни. Оползни выражены на крутых склонах в виде более пологих ступеней с характерной бугристой поверхностью, ограниченных с тыльной стороны стенками отрыва, которые отчетливо выделяются увеличением крутизны склона на коротком расстоянии. Специфика развития оползневых и курумо-оползневых структур заключается в том, что они формируются на горном склоне, сложенном сильно дезинтегрированными в зоне разлома коренными породами (гранодиоритами), а разгружаются на поверхность, образованную слабо диагенезированными, в известной мере "пластичными" отложениями нагаевской толщи. В связи с этим нижняя часть склона сильно осложнена различными оползневыми процессами, захватывающими и вышележащие курумовые накопления.

Один из таких сложных курумо-оползневых шлейфов вытянут с запада на восток на 650 м, максимальная ширина его достигает 250 м. Поверхность шлейфа в нижней части сильно техногенно изменена: на ней находятся жилые дома, вдоль его подножья проложено шоссе, а в верхней части – полки для ЛЭП и топливопровода. Абсолютная высота верхней границы шлейфа изменя-

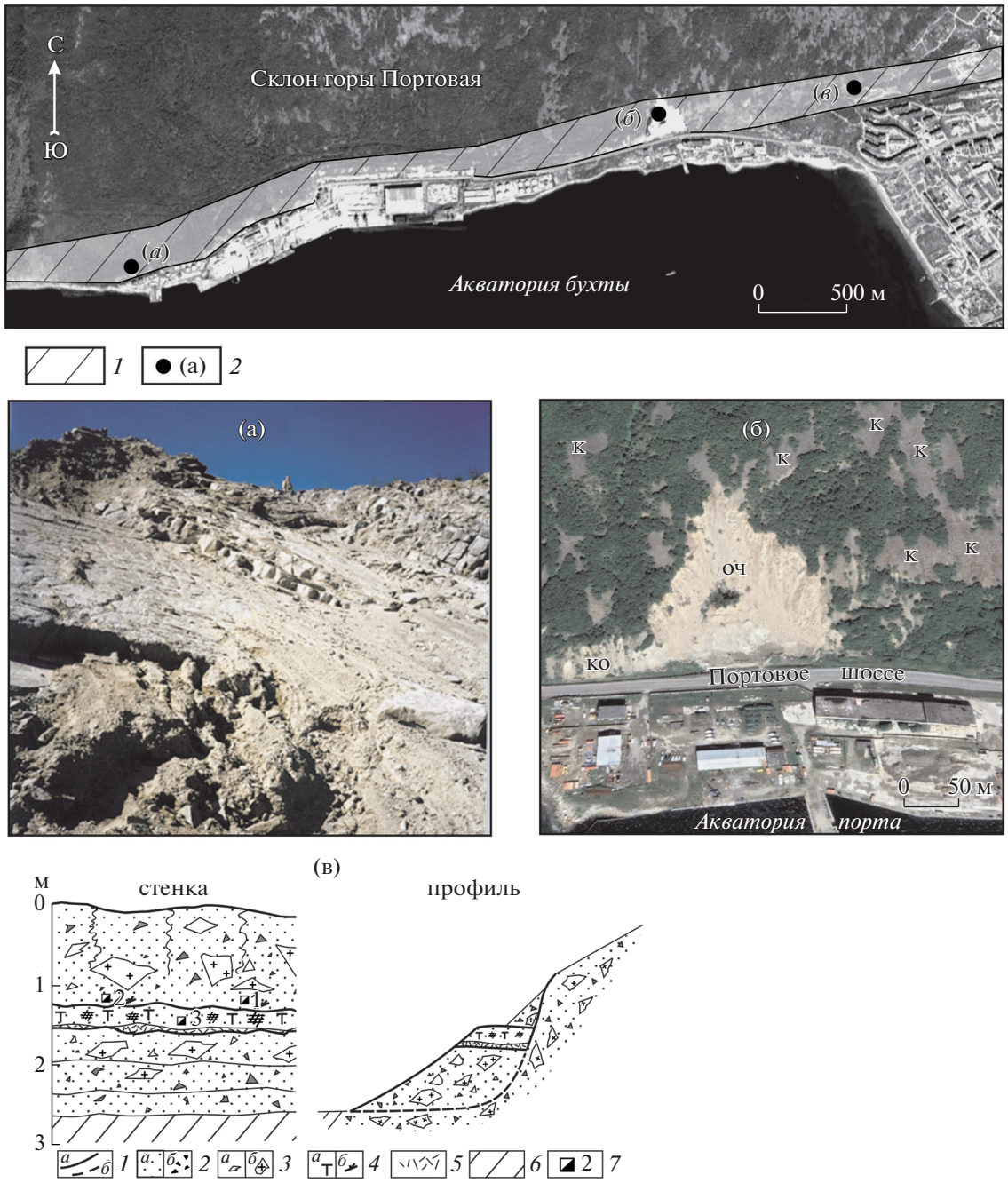

Рис. 3. Северный склон бухты Нагаева. *1* – зона дробления Нагаевского разлома; *2* – изученные объекты. (а) – зеркало скольжения плоскости сместителя Нагаевского разлома; (б) – курумово-оползневой склон горы Портовой (к – курумовые потоки, оч – оползень чехла, ко – обвально-осыпные формы); (в) – строение курумового оползня (*1* – гранулометрические и литологические границы (*а* – наблюдаемые, *б* – предполагаемые); *гранулометрический и литологический состав: 2* – песок (*а*) и дресва (*б*), *3* – щебень (*а*) и глыбы гранодиоритов (*б*), *4* – торфянистые осадки (*а*) и древесный детрит (*б*), *5* – вулканический пепел переотложенный; *6* – отвал; *7* – точки отбора проб на радиоуглеродный анализ и их номера).

Fig. 3. Northslop of the Nagaev Bay1 – crushing zone of the Nagaevsky fault; 2 – studied objects.(а) – sliding mirror in the plane of the Nagaevsky fault displacer; (б) – stone stream-landslide Slope of the Portovaya Mountain (к – stone stream, оч – cover landslide, ко – landslide-talus forms); (в) – the structure of the stone stream landslide (*1* – granulometric and lithological boundaries observed (*а*) and assumed (*б*); *granulometric and lithological composition: 2* – sand (*а*) and gruss (*б*), *3* – crushed stone (*а*) and lumps of granodiorites (*б*), *4* – peaty sediments (*а*) and woody detritus (*б*), *5* – volcanic re-deposited ash; *6* – blade; *7* – points of sampling for radiocarbon analysis and their numbers).

ется с запада на восток от 40 до 90 м. Объемы отдельных его частей различны: наибольшие на западе, где ими заполнен угол между склоном и берегом, занятым Портовым шоссе и морским портом, и наименьшие – на востоке. В нижней части шлейфа на покрытом крупнообломочным материалом крутом (до 35°) склоне наблюдаются террасовидные ступени шириной от 10–20 до 35–40 м с характерным холмисто-грядово-западинным микрорельефом поверхности.

На восточном фланге шлейфа на абс. высоте около 90 м наблюдается слабо наклонная террасовидная площадка, сочленяющаяся с валообразным краем курума и подрезанная искусственным обнажением в виде крутого (60–70°) уступа, в котором вскрывается толща курумового потока, состоящего из глыб размером до 50–70 см и разноразмерных обломков в песчано-дресвяном заполнителе (рис. 3, (в)). В курумовую толщу врезан оползень с образованием небольшой террасовидной площадки, на которой накопилась буро-коричневая супесь с растительным детритом, линзами торфянистого материала и спрессованного листового опада бурого цвета. Горизонт подстилается курумом и простирается вдоль склона на расстояние более 15 м. Он имеет наклон вниз по склону около 10º и перекрывается более поздними подвижками курумового потока. Из слоя супеси были отобраны образцы обломков древесины и торфа на радиоуглеродный анализ. Получены следующие даты: 875 ± 10 МАГ-1536 (древесный детрит); 565 ± 10 МАГ-1537 (древесный детрит); 295 ± 10 МАГ-1535 (торф) (Смирнов и др., 2000). Учитывая специфику склоновых образований, из которых взяты пробы для радиоуглеродного датирования, можно полагать, что образование оползня произошло около 300 л. н. Более древние даты, полученные по древесному детриту, скорее всего, объясняются попаданием на поверхность почвенного горизонта более древних древесных обломков из подвижных горизонтов курумов, в которые врезан изученный оползень.

Изложенные данные показывают, что территория морского порта и Портовое шоссе находятся в зоне риска, связанного с внезапным сходом оползней со склона г. Портовая.

ВОСТОЧНАЯ БЕРЕГОВАЯ ЗОНА

С востока бухта Нагаева ограничена абразионным уступом, выработанным в слабо сцементированных песчано-галечных и песчано-глинистых отложениях нагаевской толщи миоценового возраста и частично в горизонте наднагаевских галечников плиоценового возраста (Гриненко и др., 1998). Восточная береговая зона оказывает большое влияние на формирование городской инфраструктуры. В некоторых местах береговая черта вплотную приблизилась к городским кварталам, в связи с чем в некоторых местах потребовалось укрепление берега для защиты от абразии. Но все предпринятые ранее попытки предотвратить размыв берегового уступа были безуспешны, в отдельных случаях пришлось отступить от бровки активно размываемого берегового уступа, чтобы избежать разрушения возведенных строений.

Сложенный рыхлыми, легко размываемыми породами восточный берег бухты Нагаева, имеющий длину около 2.5 км, опирается флангами (южным и северным) на берега, которые образованы в прочных коренных породах – гранитоидах Магаданского интрузивного массива. Береговой уступ имеет дугообразную в плане форму, выпуклую к востоку с максимальной величиной прогиба до 150 м в средней части.

Северная и южная границы восточной береговой зоны бухты определяются по точкам резкого изменения простирания береговой линии с север-северо-западного на субширотное у Портового шоссе и на восток-северо-восточное (70°) – у Марчеканского шоссе. К уступу прислонен пляж неполного профиля (см. рис. 1, (а)), к которому примыкает полоса осушки. Ее ширина в фазе полного отлива достигает 200–250 м. Поверхность литорали плавно смыкается с прибрежной отмелью глубиной 0.4–1.0 м, нижний край которой является морской границей береговой зоны. На расстоянии около 0.5 км от берегового обрыва глубина резко увеличивается до 7–12 м. Извилистая изобата 20 м проходит на расстоянии около 2.5 км от восточного берегового обрыва и почти вплотную подходит южному и северному берегам. На выходе из бухты, на траверзах мысов Чирикова и Серого (около 18 км от восточного берегового уступа) глубина бухты равняется 34 м. Здесь дно бухты плавно смыкается с поверхностью Примагаданского шельфа, который на расстоянии 50 км к юго-западу от восточного берега бухты имеет глубину 50 м (Смирнов и др., 2019).

С востока к берегу примыкает всхолмленная поверхность Магаданской межгорной впадины. Наибольшая высота поверхности – 115 м над у. м. зафиксирована примерно на равном расстоянии (1160–1200 м) от северного и южного флангов берегового уступа. От этой точки, находящейся в 550 м к северо-востоку от бровки берегового уступа, поверхность межгорной впадины постепенно снижается на юг к Марчеканскому шоссе и на север – к Портовому. В центральной и южной частях поверхность снижается в сторону берега, образуя крутой склон, который в нижней части подрезан абразионным уступом высотой до 20 м. Этот склон на протяжении 1000 м наиболее сильно поражен эрозионными процессами, создавшими большое число рытвин, промоин, оврагов, которые захватывают вдольбереговую полосу су-

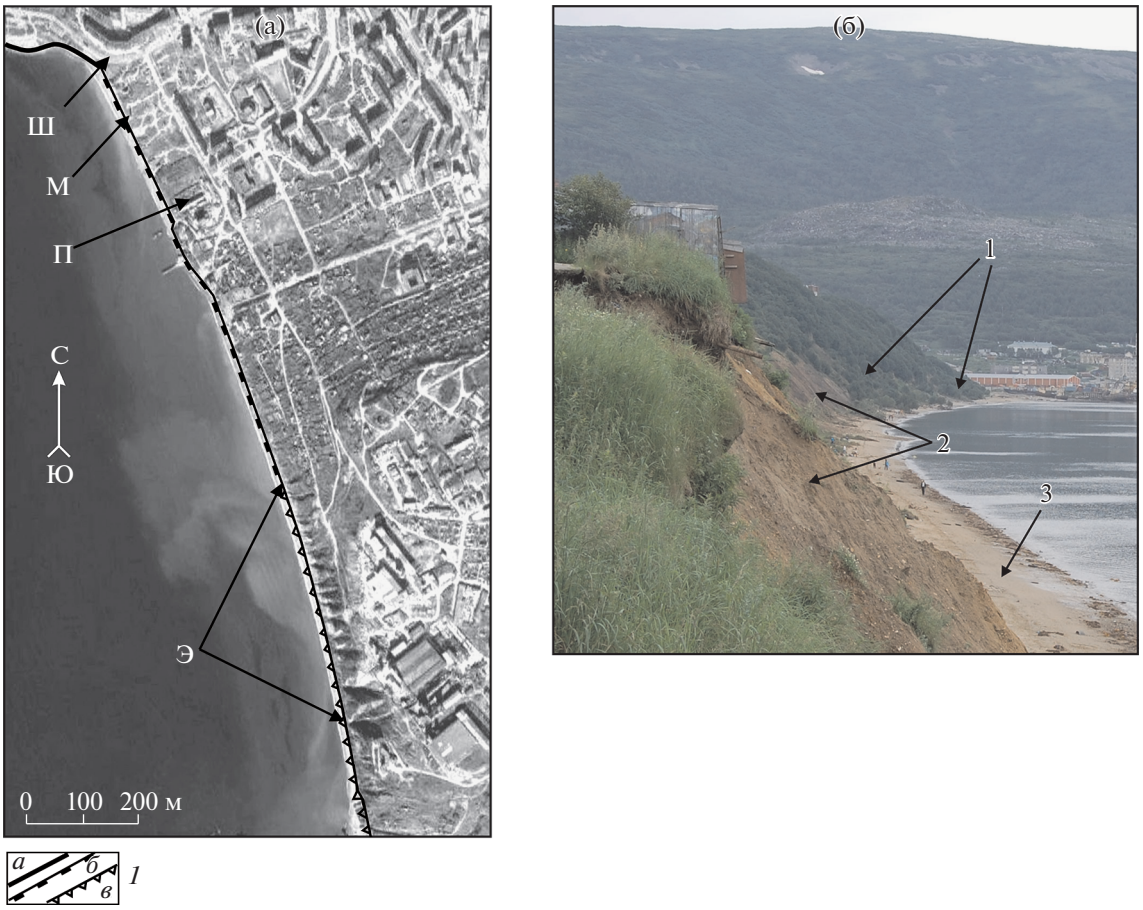

Рис. 4. Восточный берег бухты Нагаева (снимок из интернет-ресурса Google Earth). (а) – *1* – типы берегов: техногенный (*а*), абразионный (*б*), абразионно-оползневой (*в*). *Буквенные обозначения:* Ш – Портовое шоссе, М – Маяк, П – пакгауз, Э – примыкающий к берегу участок, осложненный эрозионными формами с интенсивным выносом пролювиального материала в береговую зону. (б) – абразионно-оползневые формы (1, 2) и полоса осушки (3) в южной части берега.

Fig. 4. Eastern shore of Nagaev Bay (image from Google Earth). (а) – *1* – types of coasts: technogenic (*а*), abrasion (*б*), abrasion-landslide (*в*). *Letter designations:* Ш – Highway Portovoe, М – Lighthouse, П – warehouse, Э – adjacent to the shore area, complicated by erosional forms with intensive removal of proluvial material to the coastal zone. (б) – abrasion-landslide forms (1, 2) and a drying strip (3) in the southern part of the coast.

ши шириной до 150 м (рис. 4, (а)). По мере подрезания склона абразией в волно-прибойную зону сходят оползни чехла вместе с растительным покровом. Они образуют шлейф, который в течение некоторого времени предохраняет склон от абразии (рис. 4, (б)).

С целью определения динамики продвижения восточного берега в сторону Магадана за длительный период времени нами выполнено морфологическое и морфометрическое изучение аэрофотоснимков и орбитальных снимков разного времени залета – с 1939 по 2016 г.

На крупномасштабных (1 : 8000) аэрофотоснимках залета 1939 г. достаточно отчетливо изображено восточное побережье бухты Нагаева. На нем дешифрируется инфраструктура прибрежных кварталов Магадана, Портовое шоссе шириной до 19.7 м, а также автомобильный проезд шириной от 13 до 27 м к береговым складским помещениям (пакгаузам) вдоль бровки берегового уступа. В 1939 г. в береговой зоне полностью отсутствовал пляж. В связи с этим морская абразия была особенно интенсивной и, ввиду интенсивного техногенного воздействия – движения тяжелого автотранспорта к портовым складам, она сопровождалась крупными оползнями берегового уступа (рис. 5, (а)). На снимках также установлено, что на берегу стоят только что построенные и продолжающие строиться пакгаузы морского порта. Эти пакгаузы отражены и на более поздних аэрофотоснимках 1974 г. (рис. 5, (б)). Один из них сохранился до настоящего времени, он изображен на орбитальных снимках, сделанных в 2016 г., и на аэрофотоснимке с квадрокоптера (рис. 5, (в)). Имеющиеся снимки позволили с опорой на известную длину пакгауза, равную

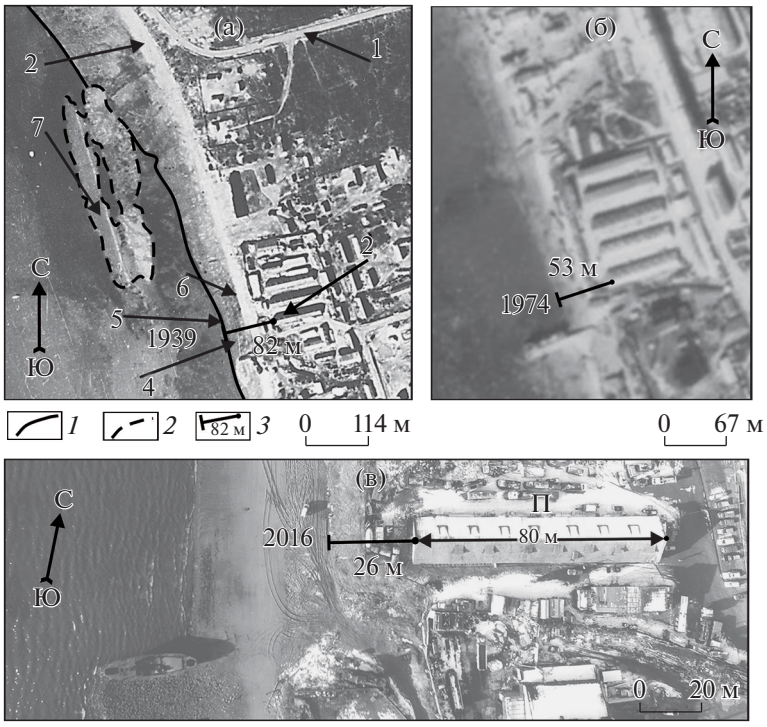

Рис. 5. Динамика восточного берега бухты Нагаева в период с 1939 по 2016 г. (а) – восточный берег бухты в 1939 г.: *1* – береговая линия, *2* – контуры техногенного оползня, *3* – расстояние от береговой линии до конька пакгауза в метрах (для всех рисунков). *Стрелками показаны:* 1 – Портовое шоссе, 2 – проезд к пакгаузам; 3 – пакгауз; абразионный уступ (4 – склон, 5 – подножье, 6 – бровка); 7 – тело техногенного оползня. (б) – берег бухты в 1974 г.; (в) – берег бухты в 2016 г. (снимок сделан с квадрокоптера). П – пакгауз и его длина.

Fig. 5. Dynamics of the eastern coast of Nagaeva Bay in the period from 1939 to 2016. (a) – Eastern shore of the bay in 1939: *1* – coastline, *2* – contours of man-caused landslide, *3* – distance from the coastline to the warehouse ridge in meters (for all figures). *Arrows show:* 1 – Portovoe highway, 2 – entrance to warehouses; 3 – warehouse; abrasion ledge (4 – slope, 5 – foot, 6 – edge); 7 – body of technogtnic landslide). (б) – coast of the bay in 1974; (в) – Coast of Bay in 2016 (picture taken from a quadcopter). П – warehouse and its length.

80 м, с высокой точностью определить метрические данные береговой зоны, а также прибрежной городской инфраструктуры в 1939 и 1974 г. (Смирнов и др., 2019).

В 1939 г. расстояние от береговой линии до конька пакгауза составляло 82 м, а в 1974 г. оно сократилось до 53 м. На снимке 2016 г. расстояние от конька пакгауза до подножья абразионного уступа равно 26 м. Таким образом, за весь доступный изучению период с 1939 по 2016 г. береговая линия продвинулась в сторону суши на 56 м со средней скоростью 0.73 м/год. В течение первого этапа, ограниченного временем аэрофотосъемки в 1939 и 1974 г., она сместилась на 29.0 м со средней скоростью около 0.83 м/год. В течение второго этапа с 1974 по 2016 г. наблюдается замедление смещения береговой линии: оно составило 27.0 м при средней скорости 0.64 м/год.

На основе полученных данных сделан прогноз смещения береговой линии с 2016 до 2040 г., которое составит около 12 м при средней скорости около 0.5 м/год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Берега бухты Нагаева и примыкающие к ним склоны имеют существенные морфодинамические различия, обусловленные особенностями их новейшей структуры и составом горных пород. Южный и северный берега на всем протяжении, за исключением техногенно преобразованных участков, относятся к категории первично-тектонических и абразионно-денудационных берегов. Для южного денудационного склона характерны сравнительно небольшой наклон поверхности и малая активность склоновых процессов. Северный склон бухты приурочен к зоне рассланцевания и дробления Нагаевского разлома, чем обусловлена высокая активность склоновых процессов с преобладанием активных курумов и поверхностных оползней. К тому же он подрезан дорожными и строительными работами при сооружении морского порта и прокладке Портового шоссе, вследствие чего здесь широко распространены техногенно возбужденные поверхностные оползни, горные обвалы и осыпи, часто нарушающие движение по шоссе. В связи с этим терри-

тория морского торгового порта и Портовое шоссе находятся в зоне риска внезапного схода с горных склонов крупных масс обломочного материала.

Восточный берег бухты Нагаева относится к типу абразионных и абразионно-оползневых. Он активно смещается в сторону города. С 1939 по 2016 г. он продвинулся к востоку на 56 м. До 2040 г. прогнозируется перемещение береговой линии еще на 12 м.

После 2016 г. на восточном берегу бухты Нагаева производится укрепление берега путем возведения волноотбойной стены. В связи с этим происходит нарушение сложившегося динамического равновесия береговых процессов, что в конечном счете приведет к полному исчезновению пляжа, усилению абразии на не защищенных участках берега и более быстрому продвижению береговой линии в сторону города.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по теме госзадания АААА-А17-117022850034-3 “Эволюция природной среды Арктики и Северной Пацифики в кайнозое”.

Исследования выполнялись в соответствии с разделами 1.510.2. Геоморфология и 1.5.10.6. Оценка рисков опасных природных процессов и экстремальных природных явлений Программы фундаментальных исследований РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Важенин Б.П. (2017). Активизация обвально-оползневой деятельности в Магадане и его окрестностях в начале XXI века // Чтения памяти академика К.В. Симакова / Мат-лы докл. Всерос. науч. конф. (Магадан, 22–24 ноября 2017 г.). Магадан: ИП Жарикова Т.В., С. 23–26.

Гриненко О.В., Сергеенко А.И., Белолюбский И.Н. (1998). Палеоген и неоген Северо-Востока России. Часть I. Региональная стратиграфическая схема палеогеновых и неогеновых отложений Северо-Востока России и Объяснительная записка к ней. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 68 с.

Курумы гольцового пояса гор / Н.Н. Романовский, А.И. Тюрин, Д.О. Сергеев и др. / Отв. ред. А.П. Горбунов. (1989). Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 147 с.

Мысливец В.И., Бредихин А.В., Сафьянов Г.А. и др. (2018). Проблемы прогноза развития морских берегов европейской России (ст. 2 Морфодинамика берегов и принципы прогноза их развития) // Геоморфология. № 1. С. 54–65.

Пахомов А.Ю., Смирнов В.Н. (2002). Скальные оползни в горах Примагаданья // Геоморфология. № 3. С. 95–109.

Сафьянов Г.А. (1978). Береговая зона океана в XX веке. М.: Мысль, 264 с.

Смирнов В.Н. (2011). Кайнозойские структуры и активные разломы Северного Приохотья // Современное состояние наук о Земле / Мат-лы междунар. конф., посвящ. памяти В.Е. Хаина. М.: Геологический факультет МГУ, С. 1740–1743.

Смирнов В.Н. (1996). Ланково-Омолонская неотектоническая зона разломов // Геофизические модели геологических процессов на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, С. 135–147.

Смирнов В.Н., Глушкова О.Ю., Пахомов А.Ю. (2000). Оползневые процессы в зоне Нагаевского активного разлома (район г. Магадана) // Геоморфология на рубеже XXI века. IV Щукинские чтения. М.: Изд-во МГУ, С. 88–92.

Смирнов В.Н., Горячев Н.А., Глушкова О.Ю. (2019). Новые данные о морфологии и динамике береговой зоны Бухты Нагаева (Охотское море) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. № 4. С. 47–54.

SLOPES AND SHORE MORPHODYNAMICS OF THE NAGAEV BAY (SEA OF OKHOTSK)[1]

V. N. Smirnov[a,#], N. A. Goryachev[a], O. Yu. Glushkova[a], and A. Yu. Pakhomov[a]

[a] North-Eastern Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far Eastern Branch RAS, Magadan, Russia

[#] E-mail: smirnovvn@yandex.ru

The results of the morphodynamics analysis of denudation slopes and the coastal zone of Nagaev Bay, as well as estimated distances and rate of the eastern coastline retreat for the period from 1939 to 2016 are presented. The main methods of the work are morphographic and morphometric using aerial photographs of different years of flight, modern satellite images and snapshots. It is established that the morphostructure of the southern and northern shores of Nagaev Bay is determined by active faults striking in sub-latitudinal direction and framing the bay. The polygenetic mountain slopes adjacent to the coastline differ in length and angle of inclination. The slopes are covered with active kurums (stone runs) that slide towards the bay. In the lower part of the northern slope there is a zone of the Nagaevsky active fault, which causes a high dynamics of slope processes with a predominance of active kurums and landslides. The northern slope has been cut by a road built

[1] *For citation*: Smirnov V.N., Goryachev N.A., Glushkova O.Yu., Pakhomov A.Yu. (2023). Slopes and shore morphodynamics of the Nagaev Bay (Sea of Okhotsk). *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. Vol. 54. No. 2. P. 26–35 (in Russian). https://doi.org/10.31857/S2949178923020093; https://elibrary.ru/FOIDSD

during the construction of the seaport and the Port Highway. As a result, widespread technogenically triggered landslides, rock falls and scree are often disrupting traffic on the highway. Thus, the territory of the commercial seaport and the Port Highway are at a risk of a sudden movement of large-volume of detrital material down the mountain slope. The eastern coastal zone is formed by a coastal ledge composed of unconsolidated deposits of the Nagaevskaya strata, an incomplete profile beach, and a littoral, the width of which reaches 200–250 m at low tide. The marine boundary of the zone runs at a distance of about 500 m from the coastal ledge. The eastern shore is actively moving towards the city of Magadan. During the period from 1939 to 2016, it shifted by 56 m with an average speed of 0.73 m/year. During the first stage (1939–1974), it advanced 29.0 m with an average speed of about 0.83 m/year. During the second stage (1974–2016), the coast moved for about 27.0 m with an average speed of 0.64 m/year. In recent years, large-scale work has been carried out on the eastern shore of Nagayev Bay in order to reinforce the shore and protect it from abrasion by erecting a breakwater wall. The engineering structure results in breaking of the established dynamic balance of coastal processes, which will eventually lead to the complete disappearance of the beach, and on the remaining unprotected sections of the coast – to increased abrasion and faster movement of the coastline towards the city.

Keywords: abrasion, beach, coastal ledge, types of seashores, erosion, denudation, fault, surface landslide

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out on the topic of the state task AAAA-A17-117022850034-3 “Evolution of the natural environment of the Arctic and the North Pacific in the Cenozoic”.

The studies were performed in accordance with sections 1.510.2. Geomorphology and 1.5.10.6. Risk Assessment of Natural Hazards and Extreme Natural Events of the Basic Research Program RAS.

REFERENCES

Grinenko O.V., Sergeenko A.I., Belolyubsky I.N. (1998). Paleogene and Neogene of the North-East of Russia. Part I. Regional stratigraphic diagram of Paleogene and Neogene deposits of the North-East of Russia and an explanatory note to it. Yakutsk: Izd-vo YANC SO RAN (Publ.), 68 p. (in Russ.)

Myslivets V.I., Bredikhin A.V., Saf’yanov G.A. et al. (2018). Problems of forecasting the development of the sea coasts of European Russia (Article 2. Morphodynamics of coasts and principles of forecasting their development). *Geomorfologiya*. No. 1. P. 54–65. (in Russ.)

Pakhomov A.Yu., Smirnov V.N. (2002). Rock landslides in the mountains of Primagadanya. *Geomorphologiya*. No. 3. P. 95–109. (in Russ.)

Safyanov G.A. (1978). Coastal zone of the ocean in the XX century. M.: Mysl’ (Publ.), 264 p. (in Russ.)

Smirnov V.N. (2011). Cenozoic structures and active faults of Northern Priokhot’e. *Sovremennoe sostoyanie nauk o Zemle. Materialy mezhdunarodnoi conferentsii, posvyashchennoi pamyati V.E. Khaina*. M.: Geologicheskii facul’tet MGU (Publ.), P. 1740–1743. (in Russ.)

Smirnov V.N. (1996). Lankovo-Omolon neotectonic fault zone. *Geofizicheskie modeli geologicheskikh protsessov na Severo-Vostoke Rossii*. Magadan: SVKNII DVO RAN (Publ.), P. 135–147. (in Russ.)

Smirnov V.N., Glushkova O.Yu., Pakhomov A.Yu. (2000). Landslide processes in the zone of the Nagaev active fault (area of the city of Magadan). *Geomorfologiya na rubezhe XXI veka. IV Shchukinskie Chteniia*. M.: Moskovskii gosudarstvennyi Universitet (Publ.), S. 88–92. (in Russ.)

Smirnov V.N., Goryachev N.A., Glushkova O.Yu. (2019). New data on the morphology and dynamics of the coastal zone of the Nagaev Bay (Sea of Okhotsk). *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo Tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. No. 4. P. 47–54. (in Russ.)

The stone-fields of golets mountain Belts. (1989). Romanovsky N.N., Tyurin A.I., Sergeev D.O. et al. (Eds.). A.P. Gorbunov (Managing Ed.). Novosibirsk: Nauka (Publ.), 147 p. (in Russ.)

Vazhenin B.P. (2017). Activation of landslide and landslide activity in Magadan and its environs at the beginning of the XXI century. *Chteniya pamiati akademika K.V. Simakova. Materialy dokladov Vserossiiskoi konferentsii (Magadan, noyabr’ 22–24, 2017)*. Magadan: IP Zharikova T.V. (Publ.), P. 23–26. (in Russ.)