

Научные сообщения

УДК 551.435.31(571.642)

© 2018 г. В.В. АФАНАСЬЕВ*, А.В. УБА**

РАЗМЫВ МОРСКИХ БЕРЕГОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия***E-mail: vvasand@mail.ru, **E-mail: lueshaubah@mail.ru*

Поступила в редакцию 21.08.2017

На основе обработки аэрофото- (залеты 1952, 1974 гг.) и космодатированной информации (2014 и 2015 гг.) с использованием ГИС с последующим анализом графиков спектральной плотности интенсивности размыва определены параметры и охарактеризована пространственная структура размыва берегов СВ Сахалина. Основные закономерности пространственной структуры разрушения берегов данной территории определяются явлениями ритмичности в проявлении процессов размыва. Установлены ритмы размыва с длиной волны 1.3, 2.0, 4.0, 5.6, 8.5, 11.6, 25.6, 64 км. Среднегодовое количество скорости размыва нигде не превышает 2 м/год. Максимальные скорости размыва отмечены на участках, которые представляют собой высокие (14–28 м) плейстоценовые террасовые уровни. Для этих же участков характерны максимальные объемы наносов, поступающих ежегодно в береговую зону при размыве берегового уступа протяженностью один метр (5.6–7.7 м³). Высокопорядковая ритмичность процессов размыва (в нашем случае ≈30–60 км) на выровненных берегах СВ Сахалина связана с устойчивыми зонами дивергенции потоков наносов, характеризующимися пониженным объемом пляжевых отложений. Ритмичность размыва 1.3 км соответствует размерности крупных мегафестонных структур пляжа.

Многолетние исследования строения и морфометрии пляжа для целей практического проектирования на берегах о-ва Сахалин позволили сделать вывод о формировании полностью волногасящего профиля на песчано-гравийных пляжах при объеме отложений 70–90 м³ на 1 м протяженности берега. На большей части аккумулятивных берегов о. Сахалин нет дефицита наносов, тем не менее, размыв наблюдается даже при средних значениях объема пляжевых наносов в пределах литодинамических ячеек в 140–150 м³/м. Как показано на примере трех участков со значительными запасами наносов на верхних элементах берегового профиля, размыв таких берегов обусловлен неравномерным распределением пляжевого материала вдоль берега в результате формирования мегафестонов и их систем.

Ключевые слова: северо-восточный Сахалин, пространственная структура размыва, ритмы эрозии, морфометрия пляжа, мегафестоны.

DOI: 10.7868/S043542811804003X

COASTAL EROSION IN THE NORTH-EASTERN SAKHALIN ISLAND

V.V. AFANASEV*, A.V. UBA**

*Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia***E-mail: vvasand@mail.ru, **E-mail: lueshaubah@mail.ru*

Summary

Based on the GIS processing of aerial (1952, 1974) and satellite (2014, 2015) images and subsequent analysis of the spectral density graphs of erosion intensity, erosion rates were assessed on the shores of north-eastern Sakhalin. Spatial pattern of coastal erosion demonstrated rhythmic regularities. The erosion rhythms with

a wavelength of 1.3, 2.0, 4.0, 5.6, 8.5, 11.6, 25.6, 64 km were established. Average erosion rates nowhere exceed 2 m per year. Maximum erosion rates were noted in the shores occupied by high (14–28 m) Pleistocene terraces. For these areas, typical sediment supply due to the bank erosion was estimated at 5.6–7.7 m³ per 1 m of a coastline per year. The longest (wavelength 30–60 km) rhythms of erosion rate on the aligned shores of north-eastern Sakhalin are associated with stable zones of divergence of sediment flows characterized by a reduced volume of beach sediments. The erosion rhythm with the wavelength of 1.3 km corresponds to the dimension of the large megacusp structures of the beaches.

Long-term studies of the structure and morphometry of the beaches allowed to do a conclusion about the formation of a completely wave-reducing profile on sandy-gravel beaches with the volume of deposits of 70–90 m³ per 1 meter of the extension of the shore. On the most of the aggrading shores there is no deficit of sediment, but erosion is observed even at the average values of the volume of beach sediments of 140–150 m³/m. As was shown on the example of three study sites with significant sediment reserves on the upper elements of the shore profile, the erosion of such shores is caused by the uneven distribution of beach material along the coast as a result of the formation of megacusps and their systems.

Keywords: north-eastern Sakhalin, spatial structure of the erosion, erosion rhythms, morphometry of the beach, megacusps.

Введение

Изучение картографической информации и геологических описаний Сахалина позволило установить, что наблюдаемая пространственная структура размыва морских террас и пересыпей в основных чертах существует, по меньшей мере, с 30-х годов XX в. [1, 2]. При анализе пространственной структуры разрушения низких морских голоцен-плейстоценовых равнин Ю и СЗ Сахалина были выявлены ритмы размыва с длиной волны 4–5, 11–12, ≈30 и ≈60 км [3]. Полученная в форме уравнений множественной регрессии модель взаимосвязи измеренных и расчетных характеристик береговой зоны с активностью абразии показала, что на активность размыва наиболее существенно влияет результирующая вдольбереговая составляющая потока волновой энергии [4]. Представлением материалов по размыву берегов лагунного побережья СВ Сахалина мы завершаем наши исследования по определению параметров современного размыва берегов о-ва Сахалин, сложенных плейстоцен-голоценовыми отложениями (рис. 1).

Геоморфологические описания лагунного побережья СВ Сахалина представлены в работе Н.Н. Тихоновича и П.И. Полевого [5], которые отметили сложный характер строения берегов. Однако первым по-настоящему полным и детальным исследованием, посвященным геоморфологическому строению и динамике берегов СВ Сахалина, по праву считается работа А.Т. Владимирова [6]. В ней наряду с целым рядом выводов о строении и динамике берегов, которые не потеряли актуальности до настоящего времени, на основании данных морфологического анализа

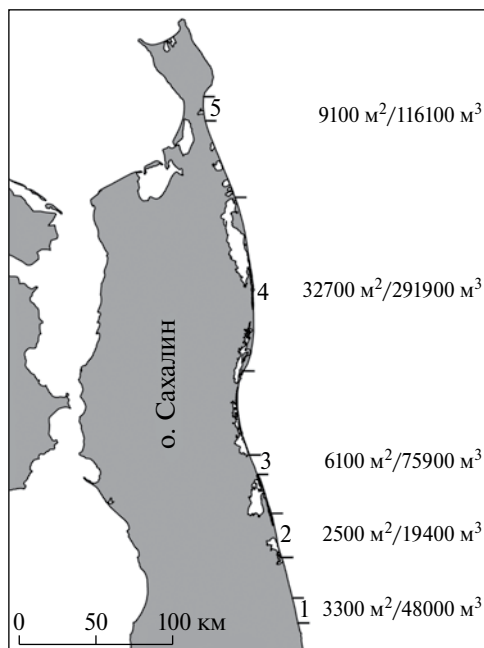


Рис. 1. Обзорная схема района исследований
Участки: 1 – Нампи-Кириинский, 2 – Лунско-Набильский, 3 – Набиль-Ныйвенский, 4 – Пильтун-Чайвинский, 5 – Тропто-Шмидтовский. Показатели: 3300м²/48000м³ – площадь размыва за год/объем размыва за год

строения устьевых зон лагунных проливов и материалов аэрофотосъемки (АФС) 1952 г. была установлена структура вдольбереговых перемещений наносов. По результатам дешифрирования АФС 1952–1986 гг. на нескольких участках побережья были определены параметры размыва берегов [7, 8]. Кроме того, морфодинамические наблюдения на пересыпи лагуны Чайво позволили группе исследователей Дальневосточного университета установить, что в пределах собственно песчаной пересыпи, объемы осадконакопления превышают объемы размыва примерно в 6 раз [9].

Наши исследования охватывают все побережье СВ Сахалина, при этом существенно увеличен временной интервал анализируемых морфодинамических изменений, использованы современные методы обработки дистанционной информации. Установлено, что среднесуточные скорости размыва нигде не превышают 2 м/год. Максимальные, осредненные на все протяжении береговой линии скорости размыва (0.4–0.6 м/год) отмечены на участках № 3 и № 5 (см. рис. 1), которые представляют собой высокие (14–28 м) террасовые уровни, сложенные плейстоценовыми отложениями (в основном неконсолированными песчано-пелитовыми). Для этих же участков характерны максимальные объемы наносов, поступающих ежегодно в береговую зону при размыве берегового уступа протяженностью один метр (5.6–7.7 м³). При техногенном вмешательстве формируются локальные зоны размыва, где скорости отступления берегового уступа превышают 10–15 м/год, как, например, при обустройстве выхода подводного трубопровода на сушу на участке № 2.

Пространственная структура и интенсивность размыва

Для трех из пяти крупных заливов (по сути – лагун) и для практически всех более мелких лагун СВ Сахалина характерны сложно построенные береговые барьерные формы, отчленяющие их от Охотского моря. Участки с высокими береговыми уступами, сложенными плейстоценовыми осадками, чередуются здесь с собственно голоценовыми пересыпями. В зоне позднеголоценовых миграций проливов высоких террасовых уровней нет – они уничтожены здесь в первые фазы прибрежно-морской аккумуляции [10].

Данные об интенсивности и активности размыва были получены при анализе аэрофото- (залеты 1952, 1974 гг.) и космфотоинформации (2014 и 2015 гг.). Обработка массивов данных проводилась с использованием ГИС. После реализации процедур трансформирования по стометровым интервалам определялись площади потери земель. В результате были получены значения среднесуточных скоростей размыва берегов за период 60 лет. Участки, для которых значения деформаций береговой зоны меньше разрешения снимка, отнесены к категории стабильных. На следующем этапе посредством сглаживания периодограммы, полученной при быстром преобразовании Фурье, окном Хамминга были построены графики спектральной плотности интенсивности размыва [11]. Графики отображают вклад процессов размыва определенной периодичности в общий объем разрушения берегов, при этом по горизонтальной оси отложена пространственная периодичность размыва вдоль берега, а по вертикальной – относительная спектральная плотность мощности размыва, определяемая как квадрат амплитуды изменчивости скорости размыва вдоль берега.

На рис. 2 представлены значения среднесуточных площадей размыва на участках максимальной протяженности: Пильгун-Чайвинском (120 км) и Лунско-Набильском (30 км). Следует отметить, что в первую фазу голоценовой прибрежно-морской аккумуляции лагуны Пильгун и Чайво были связаны между собой. Обособление водоемов, вероятно, произошло во вторую фазу прибрежно-морского осадконакопления [11, 13]. При анализе интенсивности размыва этого сложно построенного барьерного аккумулятивного голоцен-плейстоценового образования протяженностью около 120 км были получены значения длины волны ритма размыва равные 4.0, 5.6, 8.5, 11.6, 25.6, 64 км (рис. 3а).

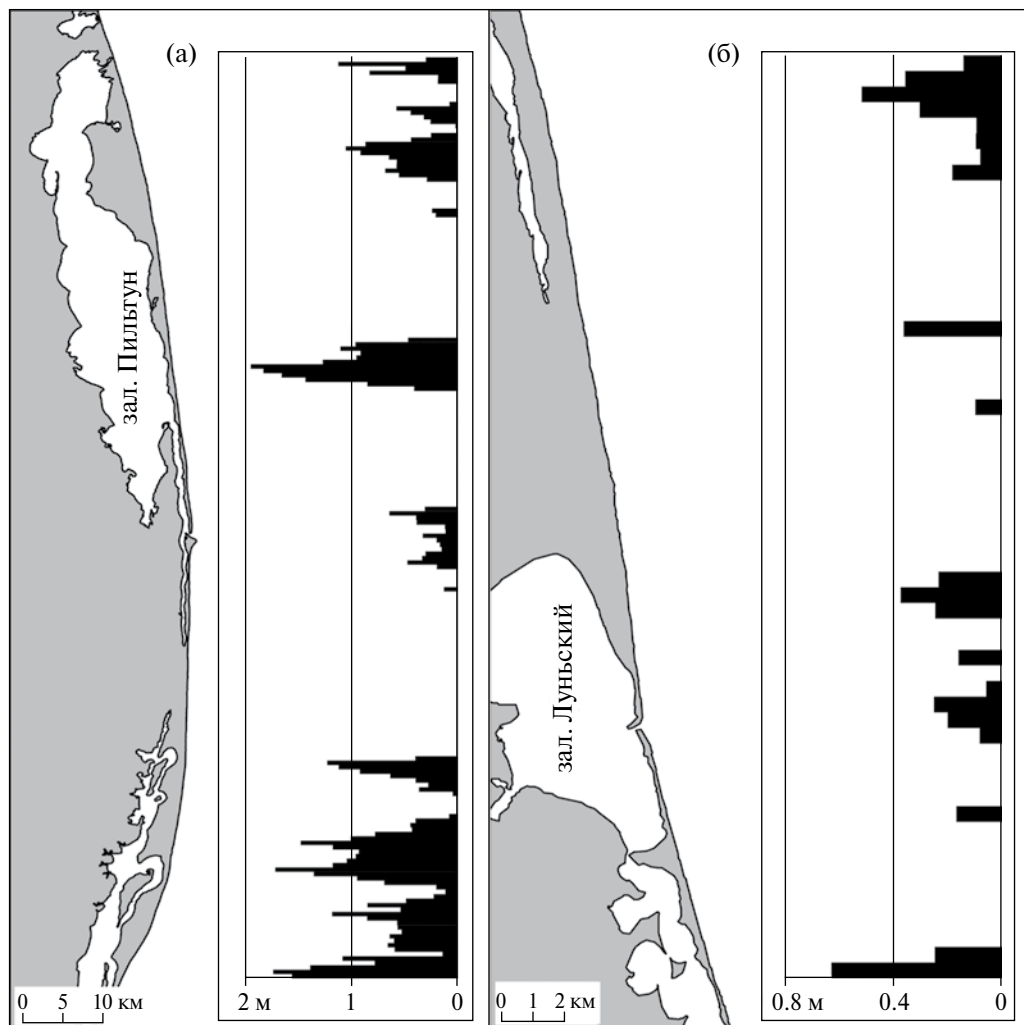


Рис. 2. Среднеголетние скорости размыва берегов СВ Сахалина за период 1952–2014 гг. (осреднение по 500-метровым интервалам)
 Участки: (а) – Пильтун-Чайвинский, (б) – Лунско-Набильский

Эти значения в целом соответствуют установленной ранее пространственной структуре разрушения низких морских плейстоцен-голоценовых равнин Ю и СЗ Сахалина [1, 3].

Лунско-Набильский участок протяженностью 30 км представляет собой фрагмент берега, включающий барьерные образования лагуны Лунская, южную размываемую часть пересыпи зал. Старый Набиль и расположенную между ними средне-позднеголоценовую морскую террасу протяженностью около четырех километров и шириной 900–1100 м. Практически на всем участке террасы наблюдается авандюна, мощность гравийно-песчаных отложений в зоне береговых валов, согласно данным выполненного нами бурения, составляет 11–15 м. Подстилаются наносы волнового поля, перекрытые эоловыми отложениями, тяжелыми серыми суглинками лагунных фаций. Абсолютная отметка кровли лагунных отложений в зоне авандюны составляет –11 м (здесь и далее используется Балтийская система высот – БС 1977). Вероятно, подобное строение берега на Лунско-Набильском участке обусловило отсутствие на графике спектральной

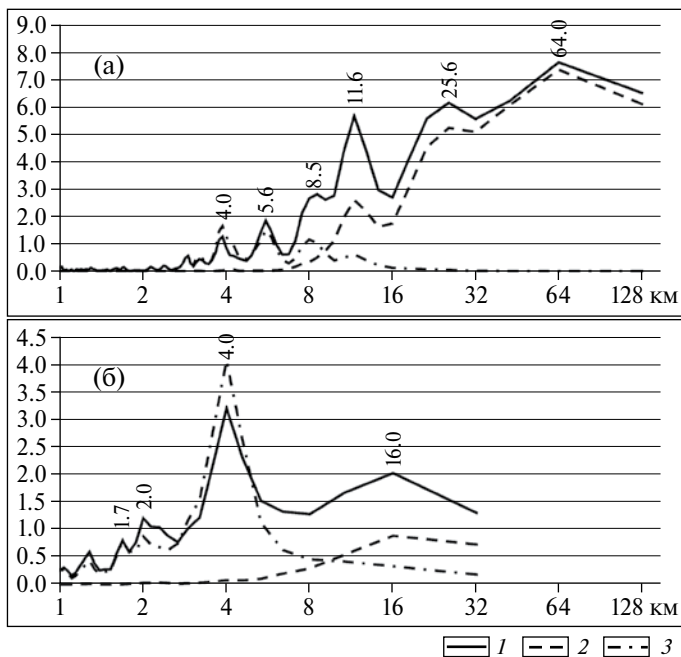


Рис. 3. Графики спектральной плотности интенсивности размыва
 Участки: (а) – Пильгун-Чайвинский, (б) – Лунско-Набильский. 1 – исходные данные, 2 – низкочастотная составляющая, 3 – высокочастотная составляющая. По оси X – пространственная периодичность вдоль берега, по оси Y – относительная спектральная плотность мощности

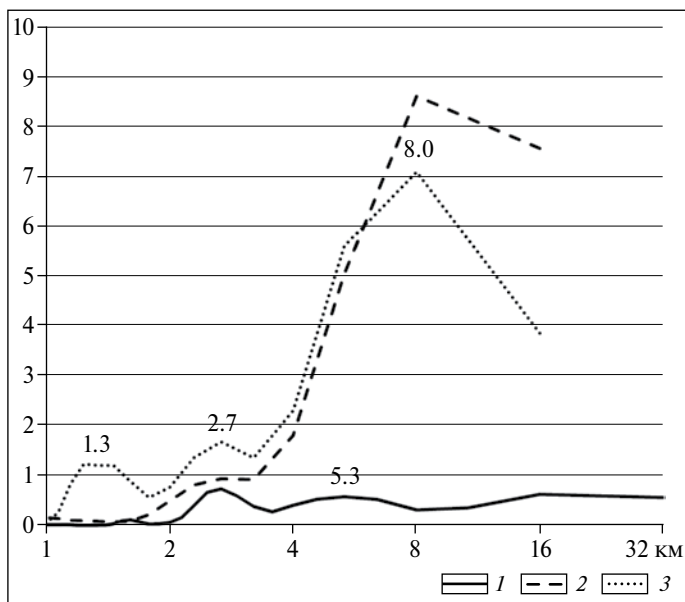


Рис. 4. Графики спектральной плотности интенсивности размыва (исходные данные)
 Участки: 1 – Нампи-Кириинский, 2 – Набиль-Ныйвенский, 3 – Тропто-Шмидтовский. По оси X – пространственная периодичность вдоль берега, по оси Y – относительная спектральная плотность мощности

плотности увеличения интенсивности размыва в интервале 8.0–8.5 км (рис. 36). Указанный ритм размыва характерен как для самого протяженного участка, так и для участков размыва наименьшей протяженности (рис. 4).

Самая низкопорядковая ритмичность размыва, устанавливаемая при анализе графиков спектральной плотности интенсивности размыва, при осреднении по пятисотметровым интервалам составляет 1.3 км. Именно в этой размерности нами описаны самые крупные мегафестонные структуры пляжа.

Обсуждение результатов

В результате полевых наблюдений нами установлено, что для всех типов побережий о-ва Сахалин характерно неравномерное распределение пляжевого материала вдоль берега – мегафестоны и песчаные волны [1]. Первые характерны для открытых морских берегов с преобладанием волн зыби и инфрагравитационных волн, вторые – для сахалинского побережья Амурского лимана, где наблюдается только собственно ветровое волнение [13]. Указанные структуры имеют период от 200–300 до 1000–1400 м, в зоне пляжевых “мысов” ширина пляжа составляет 65–100 м. Размыва террас и авандюн на этих участках не наблюдается. Зоны размыва приурочены к “вогнутостям” мегафестонов, где ширина пляжа в фазу прилива составляет 3–8 м.

Незначительный вклад процессов размыва данной периодичности в общий объем разрушения берегов на графиках спектральной плотности интенсивности размыва при повсеместном распространении песчаных волн и мегафестонов объясняется пространственно-временными особенностями процессов размыва. То есть в данном временном интервале (60 лет) проявились лишь мегафестоны, устойчиво существующие длительное время. Пример такой системы в районе пос. Взморье приведен ниже.

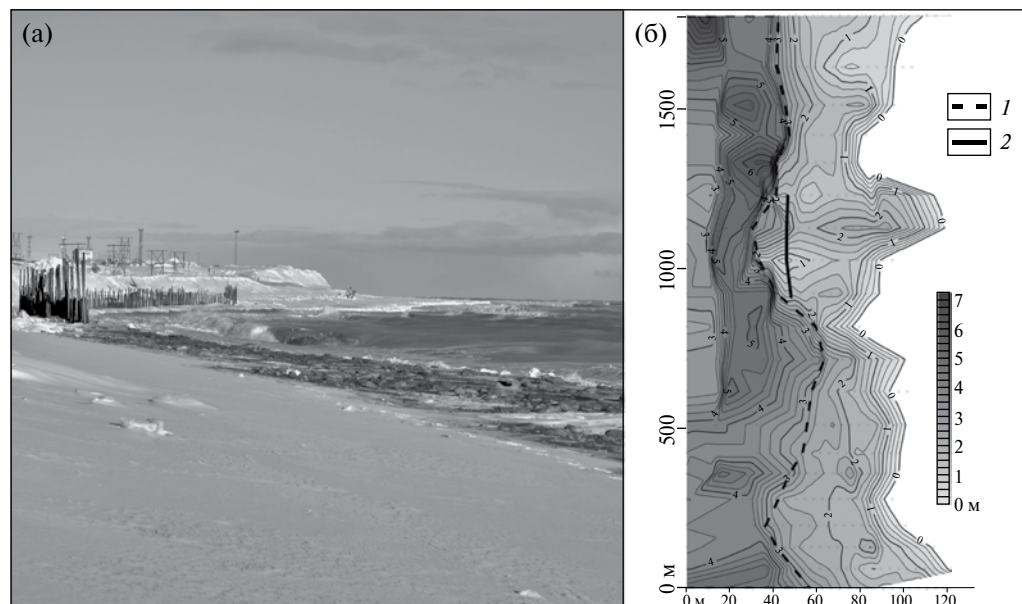


Рис. 5. Морфолитодинамическая ситуация на участке размыва, произошедшего 22 октября 2015 г. (а) – защита берегового уступа в вершине мегафестона (здесь и далее фото В.В. Афанасьева), (б) – строение пляжа в районе размыва (28.07.2016). 1 – мегафестонная структура, сложившаяся в октябре–ноябре 2015 г., 2 – временная берегозащитная стенка

Как показали наши исследования, мегафестонные структуры береговой зоны в общем случае нестабильны: они могут перемещаться либо полностью разрушаться. Так, например, в конце октября 2015 г. в результате двух интенсивных штормов на одном из участков косы Пильтун сформировалась мегафестонная структура распределения отложений пляжа вдоль берега, и в зоне с минимальным объемом пляжевого материала произошел размыв современной береговой террасы. Для защиты автодороги была установлена аварийная защитная стенка (рис. 5а).

Следует отметить, что проблемный участок голоценовой террасы протяженностью 1800 м между двумя плейстоценовыми участками барьерной формы косы Пильтун размывается со среднемноголетними скоростями от 2.0 м/год на южном фрагменте до 0.5 м/год на северном. В основании пляжевых отложений на уровне около –2 м (БС 77) залегают мелкозернистые пески лагунных фаций. Наблюдения, проведенные в конце июля 2016 г., показали следующую картину распределения пляжевого материала вдоль берега (рис. 5б). Мощность пляжевых отложений у подножия берегового уступа достигает 5 м. Запасы пляжевых наносов в береговой зоне составляют около 250 000 м³, или, при равномерном распределении вдоль берега, около 140 м³/м.

На верхних элементах профиля пляжа еще сохраняется мегафестонная структура (показана пунктирной линией), сложившаяся в октябре–ноябре 2015 г., в то время как на нижних элементах профиля пляжа к июлю 2016 г. в районе волноотбойной стенки (показана сплошной линией) сформировался аккумулятивный выступ шириной около 80 м. Однако в начале сентября 2016 г. снова начала формироваться мегафестонная структура распределения пляжевых отложений, аналогичная той, при которой произошел размыв дороги. В рамках проведения натурного эксперимента нами было рекомендовано



Рис. 6. Восстановленный в результате проведенного в сентябре 2016 г. искусственного разрушения мегафестонной структуры распределения береговых наносов пляж на участке размыва, произошедшего 22 октября 2015 г. Состояние после разрушения припая (31.05.2017)

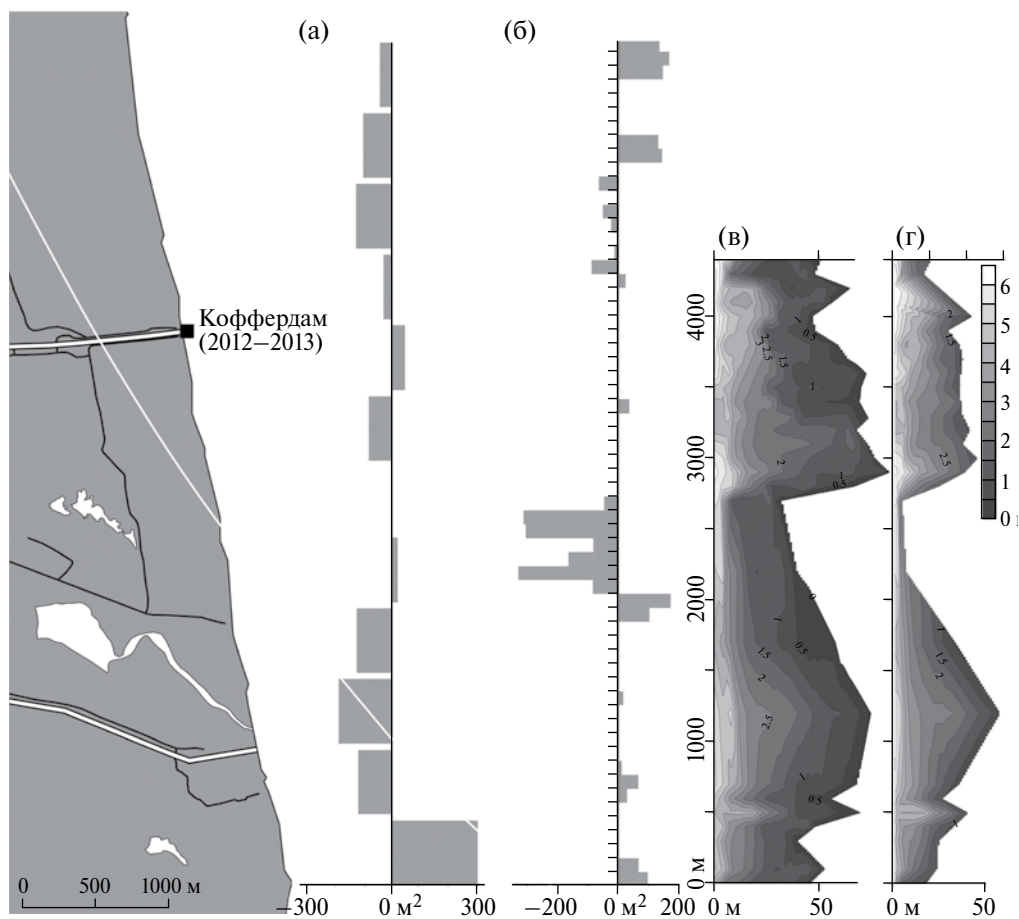


Рис. 7. Особенности размыва голоценовой морской террасы в районе выхода котфердама (а) – среднемноголетние значения площадей размыва и аккумуляции по 500-метровым интервалам за период 1952–2014 гг., (б) – среднегодовые значения площадей размыва и аккумуляции по 100-метровым интервалам за период 2013–2015 гг. Параметры пляжа: (в) – в летний гидродинамический режим, (г) – в осенний гидродинамический режим (2014–2015 гг.)

переместить пляжевый материал с южного мыса мегафестона в зону размыва террасы. Эксперимент по изменению структуры распределения пляжевых отложений вдоль берега полностью удался. Буквально с первых дней перемещения наносов в пределах литодинамической ячейки начал формироваться равномерно широкий пляж без выступов и врезов, который сохранился до начала лета 2017 г. (рис. 6).

На рис. 7 представлен пример, иллюстрирующий формирование мегафестонного распределения пляжевых наносов в результате строительства шпунтового котфердама на участке выхода трубопровода с морского газового месторождения на средне-позднеголоценовую террасу в 2012 г. В результате чего ранее стабильный 400-метровый участок берега стал размываться со скоростью более 3 м/год (рис. 7а, б). Через год котфердам был демонтирован, но сложившаяся мегафестонная структура распределения пляжевых отложений сохраняется до настоящего времени. Запасы пляжевых отложений здесь изменяются от $20 \text{ м}^3/\text{м}$ в вогнутостях до $140 \text{ м}^3/\text{м}$ на выступах мегафестонов при среднем значении для участка (данные съемок 2015 и 2016 гг.) 79 и $83 \text{ м}^3/\text{м}$.

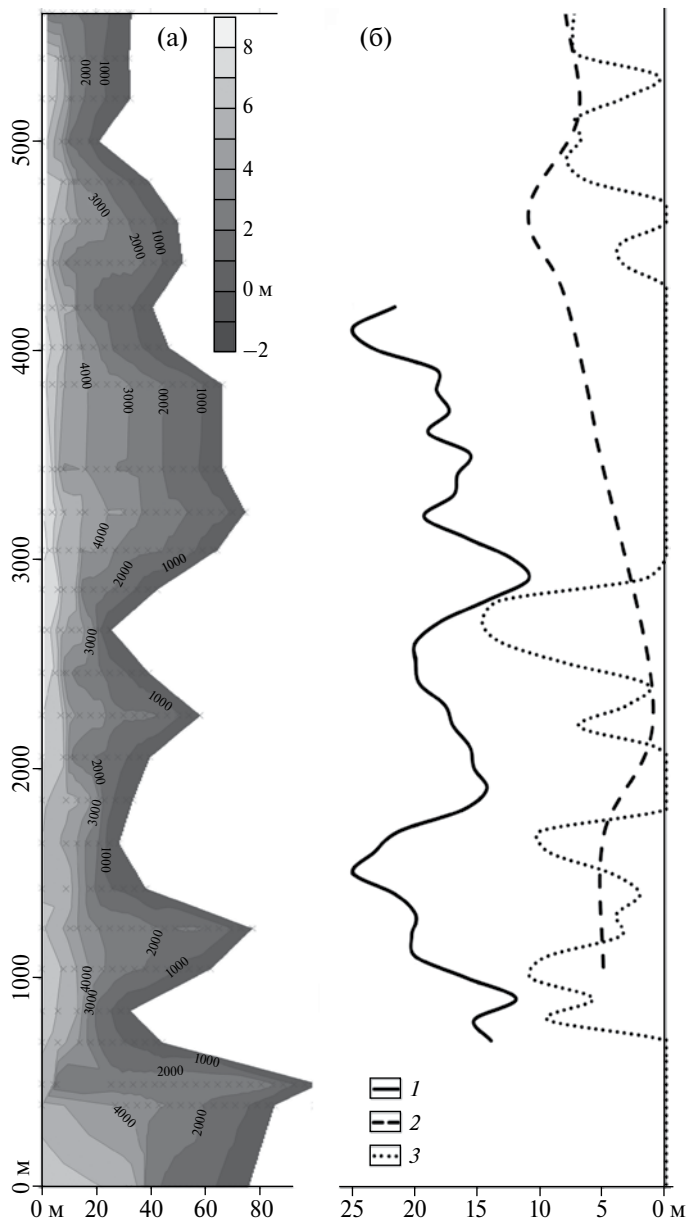


Рис. 8. Динамика берегов с устойчивыми мегафестонами на участке с берегозащитой (а) – параметры пляжа 2014 г., (б) – отступление берегового уступа. Периоды: 1 – 1952–1991 гг., 2 – 1991–2005 гг., 3 – 2005–2013 гг.

Единственный участок побережья о-ва Сахалин, где мегафестоны в течение длительного времени практически не меняют своего местоположения, установлен нами в районе пос. Взморье. Запасы пляжевых отложений составляют здесь от $50 \text{ м}^3/\text{м}$ в вогнутостях до $290 \text{ м}^3/\text{м}$ на выступах мегафестонов. В среднем по участку на один метр береговой линии в период 2006–2014 гг. приходилось $133\text{--}152 \text{ м}^3/\text{м}$ пляжевых наносов. При этом сезонные изменения параметров пляжа составляли $15\text{--}30 \text{ м}^3/\text{м}$, что превышает межгодовую изменчивость [14].

Имеющиеся материалы дистанционного зондирования и наши натурные наблюдения позволили выделить здесь три периода, различающиеся по интенсивности разрушения берегов (рис. 8). Пространственный план размыва за период 1952–1991 гг. практически полностью соответствует мегафестонной картине, наблюдаемой последние 15 лет, что позволяет сделать вывод об устойчивости структур неравномерного распределения пляжевых отложений здесь уже более 60 лет, по крайней мере, с начала усиления размыва берегов зал. Терпения [1]. Строительство деревянных волноотбойных стенок в 1980-е годы практически остановило процессы размыва берегов в период с 1991 по 2005 г. Однако к середине прошлого десятилетия берегозащитные сооружения были разрушены, что привело к восстановлению структуры размыва, наблюдаемой до берегозащитных мероприятий.

Заключение

Основные закономерности пространственной структуры разрушения берегов СВ Сахалина определяет ритмичность в проявлении процессов размыва. Установлены ритмы размыва с длиной волны 1.3, 2.0, 4.0, 5.6, 8.5, 11.6, 25.6, 64 км.

Анализ особенностей морфолитодинамики сложно построенных, с фрагментами древних террас и “классических” песчаных пересыпей, отчленяющих лагуны от открытого моря, показал, что для сложно построенных барьерных форм характерна более высокая вариативность деформаций морского края голоценовых участков, чем для полностью голоценовых пересыпей. Для барьерных форм с фрагментами древних террас характерно и большее разнообразие морфометрических параметров верхней части берегового профиля. Наиболее низкая вариабельность морфолитодинамических параметров характерна для голоценовых морских террас, причлененных к древним береговым уступам. Эти участки, расположенные между лагунными пересыпями, наименее подвержены размыву.

Высокопорядковая ритмичность процессов размыва, в нашем случае ≈ 30 –60 км, на выровненных берегах СВ Сахалина, так же как и на берегах его СЗ сектора, связана с устойчивыми зонами дивергенции результирующих и сезонных вдольбереговых потоков наносов с пониженным объемом пляжевых отложений. Ритмы размыва более низкого порядка, по нашему мнению, с одной стороны связаны с процессами самоорганизации берегового рельефа при сезонных сменах направлений перемещения наносов, а с другой стороны – с особенностями локализации и строения областей питания литодинамических систем. Ритмичность размыва 1.3 км соответствует размерности крупных мегафестонных структур пляжа.

Многолетние исследования строения и морфометрии пляжа для целей практического проектирования на берегах о-ва Сахалин позволили сделать вывод о формировании полностью волногасящего профиля на песчано-гравийных пляжах при объеме отложений 70 – 90 м³/м (т.е. такой пляж предотвращает волновое воздействие на береговой уступ [1]). На большей части аккумулятивных берегов о-ва Сахалин нет дефицита наносов, тем не менее, размыв наблюдается даже при средних значениях объема пляжевых наносов в пределах литодинамических ячеек в 140 – 150 м³ на 1 м протяженности берега. По нашему мнению, размыв таких берегов связан с неравномерным распределением пляжевого материала вдоль берега в результате формирования мегафестонов и их систем. Это показано на примере трех участков побережья о-ва Сахалин с наблюдаемым разрушением берегового уступа, где при равномерном распределении пляжевого материала в пределах литодинамической ячейки возможность размыва морских террас практически исключена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В.В.* Геоморфологические аспекты проблемы защиты берегов острова Сахалин // Геоморфология. 2015. № 2. С. 28–37.
2. *Полунин Г.В., Бузлаев В.А., Коноваленко В.А.* Данные о скорости абразионных процессов на берегах Сахалина // Вопросы географии побережий и шельфа дальневосточных морей. Владивосток: Изд. ДВГУ, 1977. С. 134–144.

3. *Афанасьев В.В.* Размыв берегов северо-западного Сахалина // Береговая зона дальневосточных морей. Л.: Изд-во ГО СССР, 1991. С. 98–104.
4. *Афанасьев В.В., Игнатов Е.И., Чистов С.В.* Морфология и динамика берегов и дна пролива Невельского района проектирования постоянного железнодорожного перехода. Смоленск: Маджента, 2008. 128 с.
5. *Тихонович Н.Н., Полевой И.И.* Геоморфологический очерк Русского Сахалина // Тр. Геол. ком. Нов. сер. Вып. 120. Петроград: Тип. М.М. Стасюлевича, 1915. 77 с.
6. *Владимиров А.Т.* Морфология и эволюция лагунного берега острова Сахалин // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. Т. 48. С. 145–171.
7. *Бузлаев В.А.* Новые данные о скоростях переработки берегов Сахалина // Географические исследования шельфа дальневосточных морей. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1993. С. 78–86.
8. *Ременец А.И., Климов И.Н.* Эволюция лагунного побережья залива Пильгун в голоцене // Развитие природной среды в плейстоцене. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 123–126.
9. *Володарский А.Н., Микишин Ю.А., Разова Г.Г.* Эволюция и литодинамика пересыпи Чайво в позднем голоцене // Палеогеография антропогена Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. С. 112–116.
10. *Афанасьев В.В.* Эволюция побережья дальневосточных морей в голоцене // Эволюция берегов в условиях поднятия уровня океана. М.: 1992. С. 166–174.
11. *Рандалл Р.Б.* Частотный анализ. Копенгаген: Брюль и Кьер, 1989. 389 с.
12. *Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г.* Стратиграфия отложений и палеогеография побережья северо-восточного Сахалина в голоцене // Научное обозрение. 2006. № 3. С. 4–15.
13. *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.
14. *Афанасьев В.В., Игнатов Е.И., Сафьянов Г.А., Чистов С.В.* Защита берегов в п. Взморье, остров Сахалин, методом компенсации дефицита наносов // Тр. междунар. конф. “Создание и использование земельных участков на берегах и акватории водоемов”. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. С. 181–187.

REFERENCES

1. Afanasyev V.V. Geomorphological aspects of the problem of protecting the shores of the Sakhalin Island. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2015. No. 2. P. 28–37. (in Russ.). DOI: 10.15356/0435-4281-2015-2-28-37.
2. Polunin G.V., Buzlaev V.A., and Konovalenko V.A. Data on the speed of abrasion processes on the shores of Sakhalin, in *Voprosy geografii poberezhij i shel'fa dal'nevostochnyh morej* (Questions on the geography of the coasts and shelf of the Far Eastern seas). Vladivostok: FEGU (Publ.), 1977. P. 134–144.
3. Afanasyev V.V. Abrasion of the shores of the North-Western Sakhalin, in *Beregovaya zona dal'nevostochnyh morej* (The coastal zone of the Far Eastern seas). Leningrad: GS USSR (Publ.), 1991. P. 98–104.
4. Afanasyev V.V., Ignatov E.I., and Chistov S.V. *Morfologiya i dinamika beregov i dna proliva Nevel'skogo rajona proektirovaniya postojannogo zheleznodorozhnogo perehoda* (Morphology and dynamics of the shores and the bottom of the Nevelskoy strait at design site of a permanent railway crossing). Smolensk: Madzhenta (Publ.), 2008. 128 p.
5. Tikhonovich N.N. and Polevoy I.I. Geomorphological sketch of Russian Sakhalin, in *Tr. geol. kom. nov. ser. Вып. 120*. (Proc. of the Geol. Com., n.s., P. 120). Petrograd: tip. M.M. Stasyulevicha (Publ.), 1915. 77 p.
6. Vladimirov A.T. Morphology and evolution of the lagoon shore of Sakhalin Island, in *Trudy Instituta okeanologii AN SSSR. T. 48 (Proceedings of the Institute of Oceanology. Vol. 48)*. M.: Academy of Sciences of the USSR (Publ.), 1961. P. 145–171.
7. Buzlaev V.A. New data on the rates of processing the shores of Sakhalin, in *Geograficheskiye issledovaniya shel'fa dal'nevostochnyh morej* (Geographical studies of the shelf of the Far Eastern seas). Vladivostok: FEGU (Publ.), 1993. P. 78–86.
8. Remenets A.I. and Klimov I.N. Evolution of the lagoon coast of the Piltun Bay in the Holocene, in *Razvitiye prirodnoy sredy v pleystotsene* (Development of the natural environment in the Pleistocene). Vladivostok: FEC of the Academy of Sciences of the USSR (Publ.), 1981. P. 123–126.
9. Volodarskii A.N., Mikishin Yu.A., and Razova G.G. Evolution and lithodynamics of Chaivo bay-bar in the Late Holocene, in *Paleogeografiya antropogena Dal'nego Vostoka* (Paleogeography of anthropogen of Far East). Vladivostok: FEC of the Academy of Sciences of the USSR (Publ.), 1987. P. 112–116.

10. Afanasyev V.V. Evolution of the coast of the Far Eastern seas in the Holocene, in *Evolyutsiya beregov v usloviyakh podnyatiya urovnya okeana* (Evolution of the shores in conditions of raising the ocean level). 1992. P. 166–174.
11. Randall R.B. *Chastotnyy analiz* (Frequency analysis). Copenhagen: Brüel & Kjer, 1989. 389 p.
12. Mikishin Yu.A. and Gvozdeva I.G. Stratigraphy of sediments and paleogeography of the coast of the north-eastern Sakhalin in the Holocene. *Nauchnoe obozrenie*, 2006. No. 3. P. 4–15. (in Russ.)
13. Afanasyev V.V. and Uba A.V. Middle-Late Holocene accumulative formations of the northwestern coast of Sakhalin Island: origin, history and modern dynamics. *Vest. DVO RAN*. 2017. No. 1. P. 12–17. (in Russ.)
14. Afanasyev V.V., Ignatov E.I., Safyanov G.A., and Chistov S.V. Protection of the coasts in Vzmorie, Sakhalin Island, by the method of compensation of the sediments deficit, in *Trudy mezhdunarodnoj konferencii "Sozdanie i ispolzovanie zemelnyh uchastkov na beregah i akvatorii vodoemov"* (Proceedings of the international conference "Creation and use of land plots on the banks and water area of reservoirs"). Novosibirsk: SB of the Academy of Sciences of Russia (Publ.), 2009. P. 181–187.