

Научные сообщения

УДК 551.435.3 (571.642)

© 2019 г. В.В. АФАНАСЬЕВ

МОРФОЛИТОДИНАМИКА ЛАГУННЫХ ПРОЛИВОВ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия*
E-mail: vvasand@mail.ru

Поступила в редакцию 20.05.2018

После доработки 20.08.2018

Принята к печати 18.12.2018

Представлены результаты анализа геопространственной и геологической информации о строении и динамике лагунного побережья Северо-Восточного Сахалина. На основе определенных параметров абразионно-аккумулятивных процессов и миграции лагунных проливов за период 1927–2014 гг. рассмотрена морфолитодинамическая система Северо-Восточного Сахалина. Объемы наносов, перемещаемых при миграции проливов, установлены при помощи трехмерных моделей, где, наряду с осредненными за многолетний период характеристиками площади размыва и аккумуляции, использованы данные о глубинах пролива и прилегающей акватории, параметры рельефа барьерных форм и геологическая информация, полученная в результате георадарной съемки и бурения. Георадарные данные в комплексе с данными дистанционного зондирования позволили создать модель осадконакопления, которая легла в основу анализа истории развития побережья за пределами периода, обеспеченного наблюдениями. В настоящее время мы можем проследить ситуацию до середины XIX в.

Ключевые слова: Сахалин, Лагунные проливы, палеопроливы, георадар, барьерные косы, морфодинамика.

<https://doi.org/10.31857/S0435-42812019279-94>

MORPHOLITHODYNAMICS OF LAGOONAL STRAITS
OF THE NORTH-EASTERN SAKHALIN

V.V. AFANASEV

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

Received 20.05.2018

Revised 20.08.2018

Accepted 18.12.2018

The results of the analysis of geospatial and geological information on the structure and dynamics of the lagoon coast of the North-Eastern Sakhalin are presented. On the basis of a number of parameters of the coastal erosion-accumulation processes and migration of lagoon straits during the period 1927–2014, the morpholithodynamics system of the North-Eastern Sakhalin was considered. The volume of sediments transported during the migration of the straits, was estimated with the help of three-dimensional models, in which, parallel with time-averaged areas of erosion and accumulation, additional data were used, namely: bathymetry of the straits and adjacent water area, characteristics of the relief of the barrier forms and geological information obtained as a result of georadar survey and drilling. Georadar data, together with remote sensing data, have made it possible to create a model of sedimentation, which formed the basis for the analysis of the history of the coast formation beyond the period of observations. Currently, we can trace the situation as long as to the middle of the XIXth century.

Keywords: Sakhalin, inlet migration, paleo-inlet, ground penetrating radar, barrier spit, morphodynamics.

Введение

Лагуны (заливы) северо-восточного Сахалина (Пильтун, Чайво, Ныйво, Набиль, Лунский), соединены проливами с Охотским морем. Все эти проливы (за исключением пролива лагуны Набиль) рассекают песчаные аккумулятивные формы типа берегового барьера на южный и северный сегменты (косы).

По материалам дистанционного зондирования и топосъемки м-ба 1:10 000 прослежены миграции лагунных проливов за период 1927–2014 гг. Причем для последних пятнадцати лет проанализированы ежегодные данные. Объемы наносов, перемещаемых при миграции проливов, установлены при помощи трехмерных моделей, где, наряду с характеристиками площади размыва и аккумуляции, использованы данные о глубинах пролива и прилегающей акватории, параметры рельефа барьерных форм и геологическая информация, полученная в результате георадарной съемки и бурения.

Наблюдаемые изменения береговой линии и миграция проливов объясняются особенностями строения берегов, прибрежной циркуляции и вдольберегового потока наносов. На основании анализа результатов георадарной съемки и данных бурения пересыпи рассмотрены механизмы перемещения дистальных окончаний кос системы пролива.

Обзор проблемы

Первое геоморфологическое описание лагунного побережья северо-восточного Сахалина составили Н. Н. Тихонович и П. И. Полевой [1]. Уже эти авторы отмечали сложный характер строения и динамики лагунных проливов. Однако первым, настоящему полному и детальному исследованию, посвященным геоморфологическому строению и динамике берегов северо-восточного Сахалина, по праву считается работа А. Т. Владимирова, опубликованная в 1961 г. [2]. Им сделан ряд выводов о строении и динамике берегов, которые не потеряли актуальности до настоящего времени. Кроме того, изучая строение устьевых зон лагунных проливов и материалов аэрофотосъемки (АФС) он выявил структуру вдольбереговых перемещений наносов и отметил, что устьевые зоны проливов являются особыми морфолитодинамическими образованиями с максимальной концентрацией наносов в пределах верхних элементов береговой зоны. Более поздние исследования показали, что в области конвергенции вдольбереговых потоков наносов в районе пересыпи лагуны Ныйво отсутствуют активные аккумулятивные донные формы [3].

Группа исследователей Дальневосточного государственного университета, используя новые массивы дистанционной информации, а также морфодинамические наблюдения на пересыпи лагуны Чайво, установила, что в ее пределах объемы осадконакопления превышают объемы размыва примерно в 6 раз, в системе же лагунного пролива, напротив, объемы размыва в три раза выше объемов аккумуляции [4]. Было также определено, что объем конуса выноса, созданного отливными течениями системы пролива лагуны Чайво (пролив Клейе), составляет 12 млн. м³ [5]. Однако, следует отметить, что информация о величинах и направлениях смещения лагунных проливов, установленных по результатам дешифрирования АФС ограничена периодом наблюдений с 1952 по 1986 гг. и представлена, в основном, линейными измерениями на нескольких участках [6, 7]. Таким образом, несмотря на высокую степень освоения рассматриваемого побережья объектами и транспортной инфраструктурой нефтегазового комплекса, до настоящего времени информация о морфодинамике побережья северо-восточного Сахалина носит обзорный, описательный характер. Исключением являются результаты морфолитодинамического анализа системы Ныйского залива и косы Пластун, а также пересыпи лагун Чайво и Набиль [10, 11]. Южнее пересыпи лагуны Набиль по нашим данным расчетные значения потока наносов результирующего — но уже северного — направления составляют 240 тыс. м³/год, при значительно меньших значениях размаха миграций.

Для побережья северо-восточного Сахалина характерна сезонная смена направления потоков волновой энергии и, соответственно, вдольбереговых перемещений наносов [3, 8, 9]. В летний период доминируют ветра юго-восточной четверти, в осенне-зимний период господствуют ветра северо-восточной четверти. Расчетные значения вдольберегового потока наносов результирующего — южного — направления достигают максимума 300 тыс. м³/год в средней части пересыпи лагуны Чайво и затем уменьшаются к югу [10]. При этом поток южного направления доходит до 800 тыс. м³/год, а поток северного направления — до 500 тыс. м³/год.

Южнее пересыпи лагуны Набиль расчетные значения потока наносов результирующего — но уже северного — направления составляют 240 тыс. м³/год, при значительно меньших значениях размаха миграций.

Район пересыпи лагуны Ныйво — зона конвергенции результирующих потоков наносов южного и северного направлений. По расчетным данным о волновом климате северо-восточного Сахалина последних 20 лет, результирующий поток здесь в настоящее время действует в южном направлении [11]. К северу от пролива Анучина его величина около 100 тыс. м³/год, а южнее пролива — вдоль косы Пластун — уменьшается до 40 тыс. м³/год. Поток на север составляет более 200 тыс. м³/год, а поток на юг превышает 300 тыс. м³/год. В районе пролива он колеблется, а на косе Пластун уменьшается до 240 тыс. м³/год.

В ГИС-среде с использованием стандартных процедур анализа материалов дистанционного зондирования и топосъемки м-ба 1:10 000 нами была проведена реконструкция миграции с 1927 по 2014 гг. лагунных проливов. Дополненная материалами гидрографических исследований и наземной георадарной съемкой, эта информация позволила определить объемы размыва и аккумуляции в системах проливов. Балансовая модель наносов береговой зоны построена в соответствии с пространственной структурой вдольбереговых перемещений, установленных предшественниками [2, 17], и дополнена рассмотренными выше расчетными данными. Северной границей морфолитодинамической системы является область дивергенции потоков, расположенная в нескольких километрах к северу от лагуны Пильтун, а южной — мыс Делиль-де-ля-Кройера. Модель включает объемы наносов, мобилизуемых и аккумулялируемых при перемещении проливов, и наносов, вовлекаемых во вдольбереговые миграции при размыве высоких береговых уступов, сложенных плейстоценовыми осадками (в основном неконсолидированными, песчано-пелитовых фракций), а также отложениями голоценовых пересыпей и низких террас. Среднемноголетние

значения величин размыва береговых уступов, учитываемые в этой модели, определены нами ранее [18]. Комплексное использование материалов дистанционного зондирования и георадарной съемки дало возможность не только определить объемы мобилизации и аккумуляции наносов, но и стратиграфически обосновать механизмы перемещения элементов лагунного пролива. Подобный подход был ранее успешно применен для реконструкции эволюции барьеров, расположенных на северо-западе Испании и юго-востоке Северного моря [19, 20]. Вопросы водообмена в системе “лагуна–море” и гидродинамика лагунных проливов в рамках данной работы не рассматриваются. Среднегодовое значение речного и твердого стока в лагуны представлены в таблице 1 [12–16]. Отметим также, что величина приливов от максимума в районе лагуны Чайво уменьшается в южном и северном направлениях.

Таблица 1

Сток в лагуны Северо-Восточного Сахалина и изменение величины приливов на устьевом взморье по материалам [12–16]

Лагуна	Площадь водного зеркала, км ²	Объем речного стока, км ³ /год	Сток наносов, тыс. т/год	Величина максимального прилива
Пильтун	434.7	1.18	34.0	2.13
Чайво	126.0	1.65	27.0	2.68
Ныйво	63.6	4.94	560.0	1.94
Набиль	164.7	0.8	19.0	1.92
Лунская	53.9	0.1	7.2	1.66

Методы исследований

В представленной работе реализована методика морфолитодинамических исследований, основанная как на традиционных геоморфологических, так и современных методах получения и анализа геопространственной и геологической информации. В едином методологическом ключе впервые выполнен анализ морфодинамики лагунных проливов побережья протяженностью более 300 км.

На первом этапе обработки массивов аэрофотоинформации созданы электронные варианты полос АФС залётов за период 1952–1985 гг. Затем осуществлена координатная привязка растровой топокарты масштаба 1:100 000 в свободной кроссплатформенной геоинформационной системе QGIS (Quantum GIS) и координатная привязка всех полос АФС по характерным точкам. После реализации процедур трансформирования проводилась проверка степени контурного совпадения географических объектов наиболее качественной полосы АФС с рисунком на топокарте. Выбирался наиболее адекватный вариант. Остальные полосы АФС привязывались к нему практически по тем же реперным точкам.

Топокарта 1927 г. крупного масштаба лагун Чайво и Ныйво достаточно точно (с учетом разрешения растрового варианта карты) была привязана к основному массиву данных. С 1999 по 2014 гг. динамика барьерных образований анализировалась на основе дешифрирования КС в среде ГИС. В результате получены значения изменений площади кос при смещении проливов, как за различные этапы, так и за весь период.

Объемы наносов, перемещаемых при миграции проливов, установлены при помощи трехмерных моделей, где, наряду с характеристиками площади размыва и аккумуляции, использованы данные о глубинах пролива и прилегающей акватории, а также параметры рельефа барьерных форм и данные их геологического строения,

полученные в результате георадарной съемки. Опыт предшествующих исследований показал, что георадарные данные позволяют охарактеризовать внутреннюю структуру береговых песчано-галечных образований и определить какие осадочные процессы их сформировали [21–23].

Работы проводились георадаром серии “ОКО-2М” (ООО “Логис”) с антенным блоком АБ-400 (центральная частота антенны 400 МГц), обеспечивающим глубину исследования до 5 м и с антенным блоком АБ-150 (центральная частота 150 МГц) — глубина исследования до 12 м. В настоящее время наиболее детально обследованы барьерные формы лагун Лунская, Набиль и Ныйво. Георадиолокационные наблюдения проводились в режиме “по перемещению” с автоматическим замером длины профиля датчиком перемещения ИД-32, работающим по типу одометра. Привязка конечных точек профилей наблюдения осуществлялась при помощи спутникового приемника индикатора. Результатом георадиолокационной съемки являются временные разрезы, записанные методом переменной плотности, на которых по горизонтали указано расстояние в метрах, а по вертикали — время прихода волн, отраженных от границ раздела сред, в наносекундах [24]. По данным бурения и шурфования выделенные отражающие поверхности скоррелированы со слоями, установленными в скважинах, шурфах или канавах, для пересчета временного разреза в глубинный по всему профилю. При анализе и интерпретации данных использованы понятия и термины георадарной стратиграфии, такие как радарная фация (Rf) и поверхности радарных отражений, связанные с первичной структурой осадения [25, 26].

Интерпретация георадарных данных по профилям общей протяженностью около 20 км в полной мере включала геоморфологический контент, основанный на морфодинамических наблюдениях.

Результаты

Первый этап исследования динамики лагунных проливов завершился построением карт переформирования берегов и определением на этой основе площадей размыва и нарастания кос при перемещении проливов (рис. 1).

Средние за многолетний период значения скоростей перемещения мысов в направлении смещения пролива, а также площади размыва и аккумуляции представлены в таблице 2. На рисунке 2 показаны осредненные значения площадей размываемых и нарастающих кос за соответствующие расчетные временные интервалы.

Таблица 2

Динамика проливов за период 1929–2014 гг.

Лагуна	Направление смещения пролива	Продолжительность наблюдений, годы	Смещение нарастающей косы, м	Среднегодовые скорости нарастания кос, м/год	Нарастание площади аккумулятивных форм в системе пролива, тыс. м ² /год	Размыв в системе пролива, тыс. м ² /год
Пильгун	юг	62	1963	31.7	16.61	5.4
Чайво	юг	87	2338	26.9	21.61	43.55
Ныйво	север	87	2210	26.4	12.14	8.19
Набиль	север	62	800	12.9	11.97	13.67
Луньский	север	62	1779	28.7	5.71	2.81

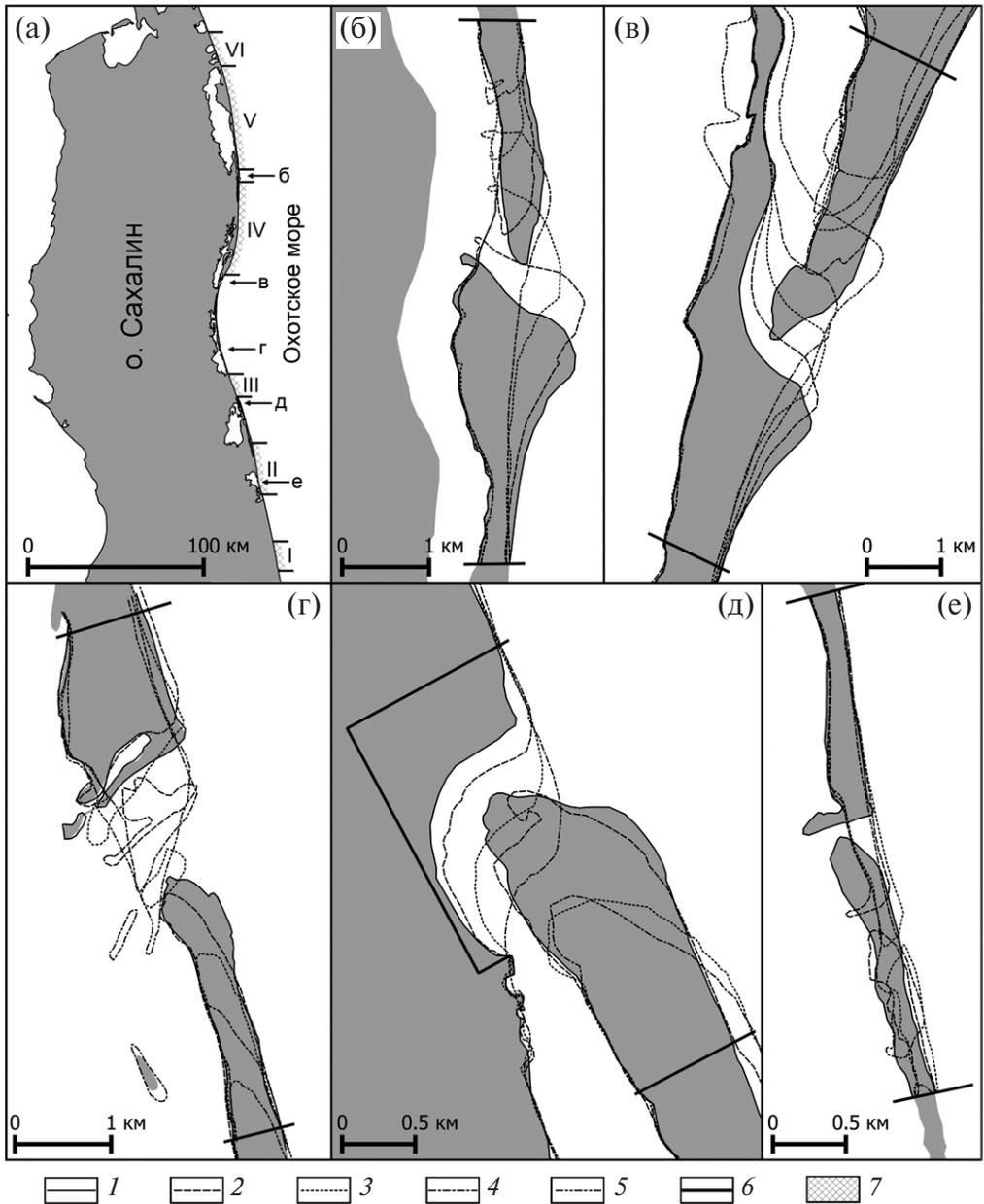


Рис. 1. Изменение контура береговой линии северо-восточного Сахалина в районе проливов соединяющих Охотское море и лагуны

(а) — обзорная схема района исследований: I–VI — участки проливов лагун, для которых установлены объемы размыва и аккумуляции для расчета бюджета вдольбереговых перемещений наносов; (б) — Пильтун, (в) — Чайво, (г) — Ныйво, (д) — Набиль, (е) — Лунская.

Положение береговой линии: 1 — в 2014 г., 2 — в 1999 г., 3 — в 1977 г., 4 — в 1952 г., 5 — в 1927 г.; 6 — границы расчетных площадей; 7 — участки расчета размыва и аккумуляции за пределами лагунных проливов

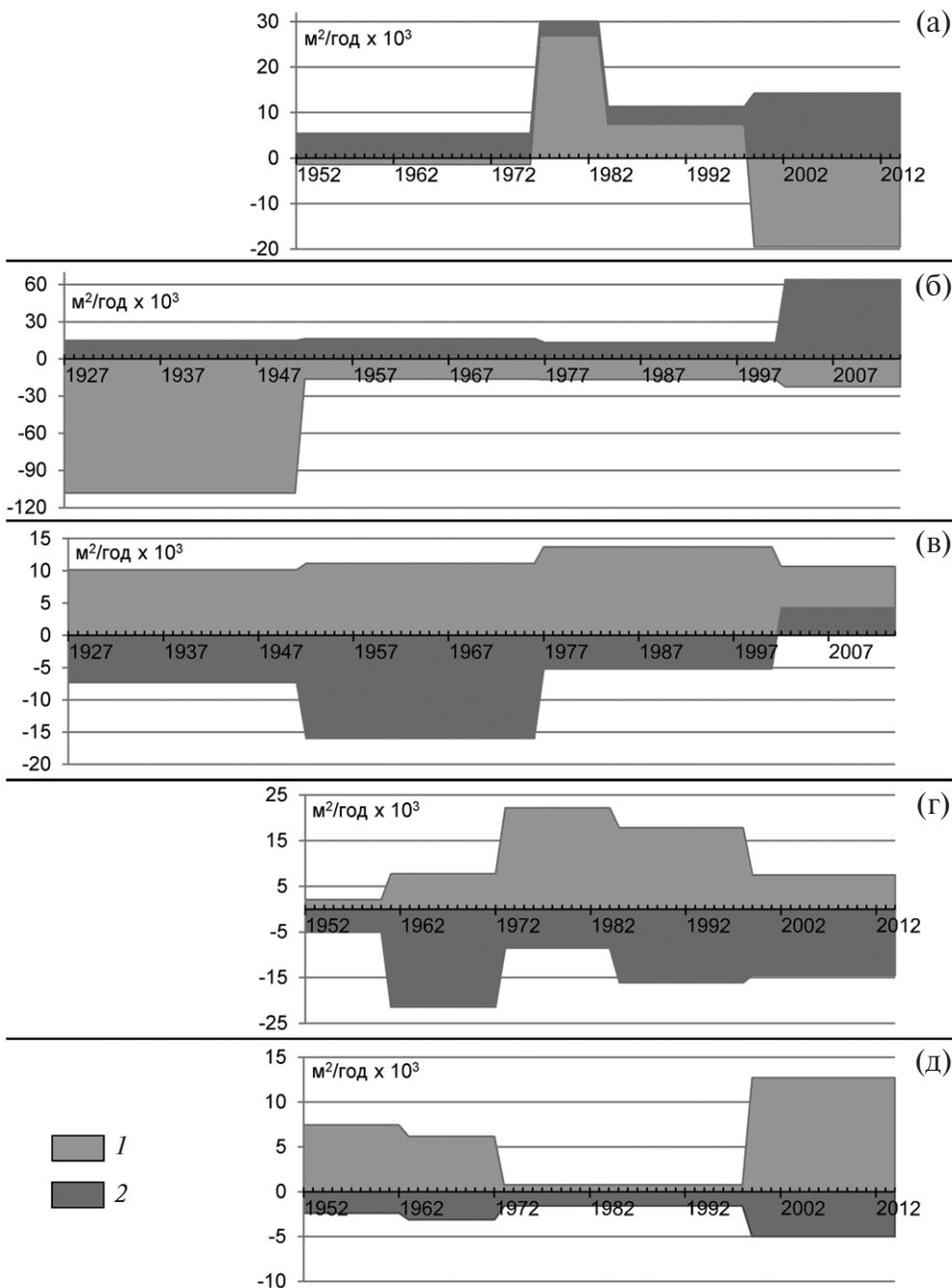


Рис. 2. Площади деформаций северных и южных берегов проливов соединяющих Охотское море и лагуны (1927, 1952–2012 гг.): (а) — Пильтун, (б) — Чайво, (в) — Ныйво, (г) — Набиль, (д) — Лунская Коса: 1 — южная, 2 — северная

Представленная информация позволяет охарактеризовать основные черты развития проливных систем северо-восточного Сахалина за период наблюдений. Среднеголетние скорости перемещения мысов нарастающих кос практически одинаковы для всех проливов, за исключением пролива лагуны Набиль, где при перемещении пролива размывается низкая морская терраса, сложенная торфами и лагунными илами. Перемещение проливов лагун Пильтун и Чайво, наряду со смещением в южном направлении, сопровождалось изменением формы дистальных окончаний кос. Поэтому, несмотря на смещение пролива лагуны Пильтун в южном направлении в 1977–1999 гг. примерно на 870 м, увеличивались площади, как нарастающей северной косы, так и отступающей южной. Ситуация изменилась в последние двадцать лет, когда площадь отступающей южной косы стала ежегодно уменьшаться примерно на 2 га. Максимальные с начала 1950-х гг. скорости размыва отступающей косы — около 2.2 га/год — характерны в последнее двадцатилетие и для пролива лагуны Чайво. А скорости нарастания в этот период наступающей косы — 6.4 га/год — максимальны для всего интервала наблюдений с 1927 по 2014 гг.

Перемещение проливов лагун Лунская и Набиль в северном направлении происходило более или менее равномерно, но, в период минимальных скоростей нарастания косы лагуны Лунская, коса лагуны Набиль нарастала с максимальными скоростями и наоборот. При этом в период с 1973 по 1999 гг. среднегодовые значения прироста косы Набиль примерно в 26 раз превышали значения прироста косы Лунская, при среднеголетних значениях 12000 м²/год и 5700 м²/год соответственно.

Что касается зоны конвергенции потоков наносов в районе пересыпи лагуны Ныйской, то за период с 1927 по 2014 гг. дистальный конец косы сместился более чем на 2200 м в ССЗ направлении. При этом на период до 1977 г. приходится около 1360 м прироста косы в указанном направлении, т.е. 27 м/год; на период с 1977 по 1985 гг. — около 490 м, или 61 м/год; на период с 1985 по 2014 гг. — около 360 м, т.е. 12 м/год. Судя по положению береговую линию северной стороны пролива, основные гидроморфные параметры пролива практически неизменны с конца 70-х гг. XX в. С 1999 г. ранее размываемая северная коса увеличивает свою площадь.

Определение объемов наносов, мобилизуемых и аккумулируемых при перемещении проливов, проведенное с помощью несложных расчетов по трехмерным моделям, позволяет перейти к анализу бюджета наносов рассматриваемой морфолитодинамической системы. Наносы, вовлекаемые во вдольбереговые миграции при размыве высоких береговых уступов, сложенных плейстоценовыми осадками, голоценовых пересыпей и низких террас рассмотрены нами ранее [18]. Среднеголетние значения приходных и расходных частей бюджета наносов представлены в таблице 3. Учитывая, что твердый речной сток пляжеформирующих фракций незначителен (около 10% от общего твердого стока, представленного в таблице 1) и практически полностью расходуется на заполнение лагунных бассейнов, на данной стадии развития берегов параметры бюджета наносов определяют процессы собственно береговой зоны. В среднем за многолетний период в зону конвергенции потоков наносов поступает около 13 тыс. м³/год наносов с севера и около 106 тыс. м³/год с юга. В зоне пролива аккумулируется около 23 тыс. м³ осадков пляжеформирующих фракций.

Очевидно, что у потока наносов южного направления приходная часть бюджета формируется за счет размыва, главным образом, низких песчаных берегов. Этим она отличается от приходной части бюджета наносов северного направления, где размываются высокие террасы, в отложениях которых алевритопелитовые фракции составляют более 70%.

Бюджет наносов морфолитодинамической системы Северо-Восточного Сахалина

Участок на берегах (1–6), лагунные проливы (а–д)	Размыв	Аккумуляция	Бюджет наносов
Расчетный участок VI	46.00	0	+46.00
Расчетный участок V	211.75	117.73	+94.02
Пролив лагуны Пильтун (а)	74.52	196.00	-121.48
Расчетный участок IV	80.15	392.52	-312.37
Пролив лагуны Чайво (б)	522.60	216.10	+306.50
Общая на участке с перемещением проливов в южном направлении	935.02	922.35	+12.67
Пролив лагуны Ныйво (в), зона конвергенции потоков наносов	98.30	121.40	-23.10
Расчетный участок III	75.92	0	+75.92
Пролив лагуны Набиль (г)	164.04	143.60	+20.44
Расчетный участок II	19.41	34.55	-15.14
Пролив лагуны Лунская (д)	22.48	45.68	-23.20
Расчетный участок I	48.00	0	+48.00
Общая на участке с перемещением проливов в северном направлении	329.85	223.83	+106.03

Таким образом, получаемые в зоне схождения вдольбереговых потоков наносов “излишки” в виде 95 тыс. м³ примерно на 70% являются наносами открытого моря, что составляет около 65–70 тыс. м³ отложений алеврито-пелитовых фракций. Именно с этим связано преобладание здесь на подводном береговом склоне мелкозернистых размерностей осадков, препятствующее формированию контрастных донных аккумулятивных форм, широко представленных к югу и к северу от зоны конвергенции потоков наносов.

Обсуждение

К сожалению, очень многие составляющие данной морфолитодинамической системы остаются пока без рассмотрения. Однако впервые в России с единых методических позиций мы получили представление о динамике лагунного побережья протяженностью около 300 км. Вероятно, не стоит обольщаться полученными цифрами, но новые данные об объемах размыва и аккумуляции наносов и направлениях их перемещения не противоречат имеющимся расчетам мощности вдольбереговых потоков наносов [10, 11].

Наше исследование показало, что анализ георадарных данных с высокоточной привязкой профилей и радарных фаций — весьма перспективное направление изучения миграций лагунных проливов и динамики барьерных островов. Уже на данном этапе исследования георадарные данные позволили установить общую схему перемещения нарастающих дистальных элементов аккумулятивных форм в зоне пролива (рис. 3). На всех растущих косах выделяются фации приустьевых баров. По мере развития пролива в соответствии с приливно-отливным режимом к ним причленяются фации пляжа верхней части берегового склона. Эоловая переработка отложений, вышедших в зону действия субаэральных процессов, с одной стороны — повыша-

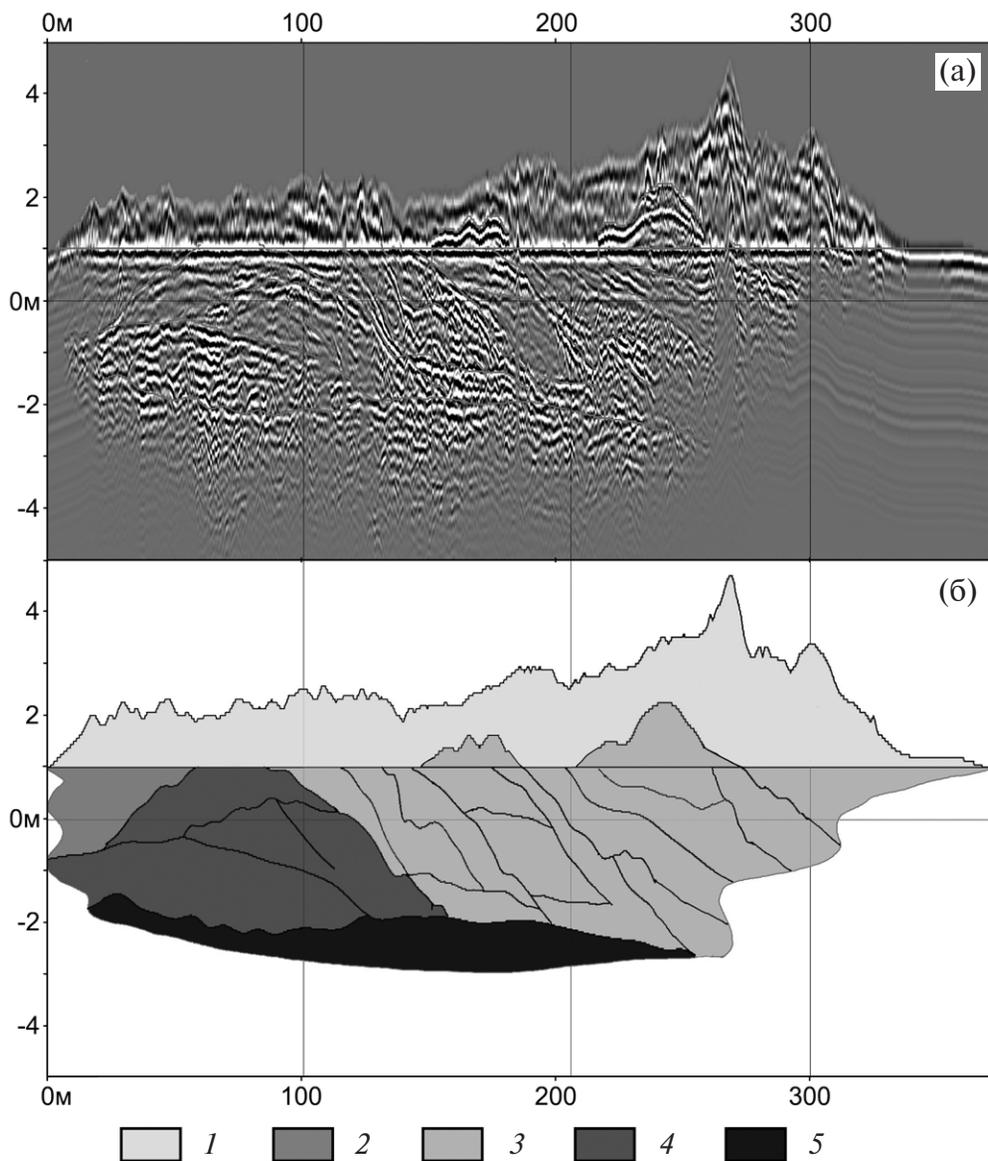


Рис. 3. Типичный поперечный разрез дистального окончания нарастающей косы: (а) — георадарный профиль; (б) — результаты интерпретации по данным ручного бурения

1 — нерасчлененные эоловые и пляжевые отложения; осадки; 2 — современные алеврито-пелитовые лагунные, 3 — песчано-галечные верхней части берегового склона и штормовых валов, 4 — песчано-гравийные приустьевого бара, 5 — грубозернистые гравийно-галечные дна пролива

ет контрастность рельефа за счет формирования авантюн, а с другой — сглаживает неровности, засыпая первичный рельеф. Таким образом, морфолитодинамические особенности смещения пролива в направлении результирующего потока вдольбереговых наносов соответствуют условиям берегов со значительным литоральным транспортом при возможности интенсивного сезонного волнения [27].

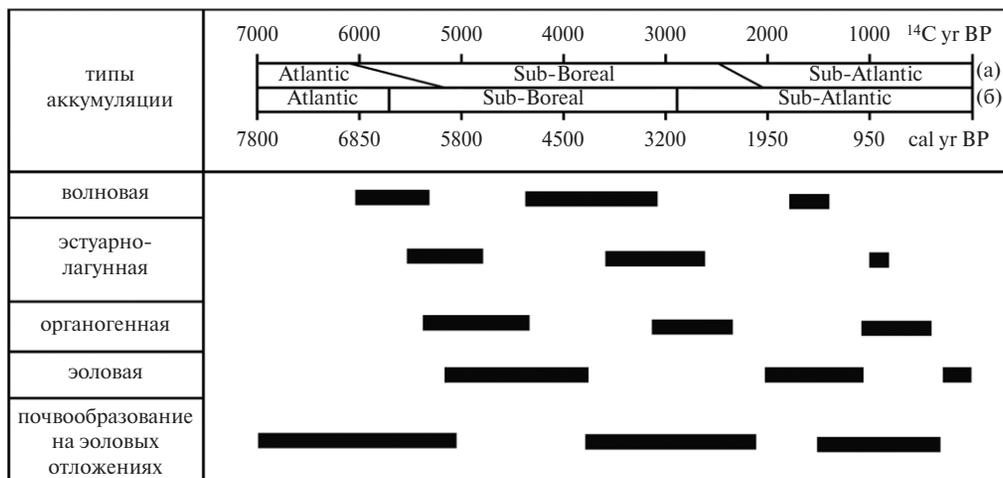


Рис. 4. Временные интервалы прибрежного осадконакопления в голоцене на берегах Дальневосточных морей по данным ¹⁴C [28]
(а) — радиоуглеродный возраст, (б) — калиброванный календарный возраст

На размываемых, отступающих косах в основании разреза встречаются лагунные илы. Это не противоречит представлениям о надвиге барьерных форм в период последней фазы голоценовой прибрежно-морской аккумуляции на голоценовые лагунные отложения первых фаз аккумуляции (рис. 4). Они, вероятно, могут являться одним из признаков формирования нового пролива за счет прорыва отступающей косы и причленения образовавшегося фрагмента к наступающей косе.

Положение проливов достаточно уверенно устанавливается при анализе георадарных данных. В основу положен структурно-геологический критерий — направление падения наклонных отражений радарных фаций. Для более уверенной интерпретации результатов поверхности радарных отражений, связанные с первичной структурой осаднения, сравнивались с морфометрическими характеристиками проливов (табл. 4). Сочетание стратиграфических исследований и материалов дистанционного зондирования позволило получить ценную информацию о современной и исторической динамике аккумулятивных форм. Например, с максимальной за период исследования скоростью — около 80 м/г смешался на юг с 1952 по 1963 гг. пролив лагуны Лунская. Это подтверждается положением судна, выброшенного на берег южной косы пролива в 1949 г., которое находится в 250 м к югу от береговой линии южной косы 1952 г.

Таблица 4

Уклоны дна проливов и поверхности радарных отражений

Лагуна	Уклоны дна пролива, град.		Уклоны слоев георадарные, град.	
	растущая коса	размываемая коса	по направлению роста косы	обратные направлению роста устьевой зоны косы
Пильтун	1.7–5.1	2.6–8.0		–
Чайво	0.7–3.0	1.1–9.9		
Ныйво	5.4–6.8	6.8–8.0	1.0–4.6	6.2–13.0
Набиль	1.4–4.6	2.8–3.2	2.9–9.7	12.5–15.9
Лунская	3.2	5.3	2.0–4.7	–

Средние скорости перемещения дистального окончания барьерной формы лагуны Ныйво — косы Пластун на север составляли в периоды: с 1927 по 1952 г. — 33.3 м/год, с 1952 по 1977 г. — 21.3 м/год, с 1977 по 2002 г. — 35.2 м/год. С 2002 по 2014 г. положение косы не изменилось. В 277 м к югу от положения косы в 1927 г., установлена георадарная зона протяженностью 485 м с падением слоев на юг, т. е. в направлении противоположном росту косы.

Расчеты показывают, что в интервале с 1915 по 1919 г. закончились активные перестройки устьевой зоны пролива лагуны Ныйво. К сожалению, время начала перестроек путем интерполяции установить невозможно. Это могло быть как одномоментное событие, в результате прорыва северной косы, так и продолжительный период, аналогичный периоду стабилизации пролива, наблюдаемому здесь с конца двадцатого века до настоящего времени. Глубина залегания отложений с падением слоев в южном направлении делает более предпочтительной вторую точку зрения.

Гораздо более глубокое залегание, до 10 м, пачек с противоположным растущей косе падением слоев установлено при георадарном исследовании косы Набиль (рис. 5). Кроме этого, в разрезе здесь мы наблюдаем уменьшение глубин, и сдвиг фарватерной зоны пролива в сторону суши. Отложения с противоположным росту падением слоев в интервале глубин 2–5 м, вероятно, соответствуют приустьевому бару с северной стороны, причлененному к косе при перемещении пролива. Следует отметить, что с 1952 по 1973 г. положение дистального окончания косы Набиль было практически неизменным, с 1973 по 1985 г. среднегодовая скорость роста косы составляла около 45 м/год, а последние тридцать лет коса нарастала со скоростью 10 м/год. Таким образом, зафиксированное историческое положение пролива, ось которого согласно георадограммам располагается в 934 м, а южный берег в 1110 м от дистального окончания косы в 1952 г. (в случае сохранения среднеголетних скоростей перемещения за последние 62 года), соответствует началу второй половины XIX в.

В настоящее время георадарными исследованиями охвачены, преимущественно, нарастающие косы. Целью исследований ближайшего времени является 3D-стратиграфия как растущих, так и отступающих аккумулятивных образований.

Заключение

Наибольшие морфолитодинамические изменения береговой зоны северо-восточного Сахалина происходят именно в системах проливов. Максимальный объем наносов деятельного слоя берегового профиля также наблюдается в проливах.

На данной стадии развития побережья бюджет наносов определяют абразия и аккумуляция. Анализ данных переформирования берегов показал, что в среднем за многолетний период в зону конвергенции потоков наносов в районе пролива лагуны Ныйво с севера поступает около 13 тыс. м³/год наносов. Около 106 тыс. м³/год из них (примерно 65–70 тыс. м³) — осадки открытого моря (алеврито-пелитовые фракции), поступает с юга.

В зоне пролива лагуны Ныйво, согласно анализу карт переформирования берегов, аккумулируется около 23 тыс. м³/год осадков пляжеформирующих фракций, что практически уравнивает приходную и расходную части наносов построенной балансовой модели литодинамической системы северо-восточного Сахалина.

Скорости миграции проливов сильно варьируют по годам, однако, среднеголетние скорости перемещения практически одинаковы для всех проливов, за исключением пролива лагуны Набиль, где при перемещении пролива размывается низкая морская терраса, сложенная торфами и лагунными илами.

Георадарные данные в комплексе с материалами дистанционного зондирования существенно дополнили существующие ранее представления о морфолитодинамике лагунных проливов. Созданная на их основе модель осадконакопления при переме-

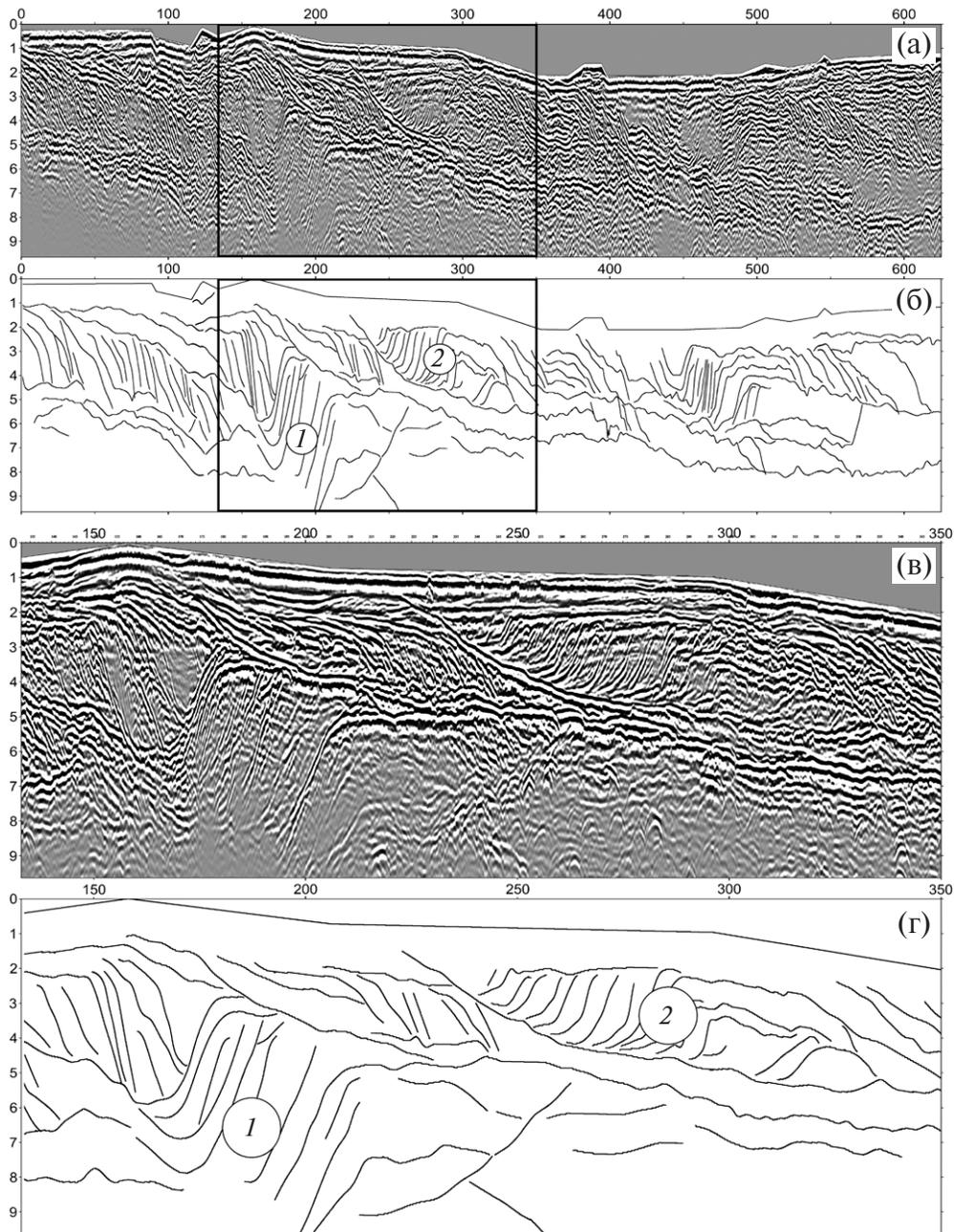


Рис. 5. Фрагмент продольного профиля косы Набиль
 (а) — георадарный профиль; (б) — схема интерпретации с привлечением данных ручного бурения;
 (в, г) — увеличенные фрагменты георадарного профиля и схемы интерпретации.
 Фации: 1 — лагунного пролива, 2 — приустьевое бара

щении дистальных окончаний барьерных форм лагун, легла в основу анализа истории развития побережья за пределами периода, обеспеченного наблюдениями. В настоящее время мы можем проследить ситуацию до середины XIX в.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тихонович Н. Н., Полевой П. И.* Геоморфологический очерк Русского Сахалина // Тр. Геол. ком. Нов. сер. Вып. 120. Пг.: Тип. М. М. Стасюлевича, 1915. 77 с.
2. *Владимиров А. Т.* Морфология и эволюция лагунного берега острова Сахалин // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. Т. 48. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 145–171.
3. *Белошапков А. В., Гордин А. И., Ильин В. В., Путов В. Ф.* Аккумулятивные формы прибрежной зоны и шельфа северо-восточного Сахалина // Человечество и береговая зона Мирового океана в XXI веке. М.: ГЕОС, 2001. С. 126–140.
4. *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.
5. *Володарский А. Н., Микишин Ю. А., Черепанова М. В.* Динамика лагунных берегов Сахалина в районах активного освоения шельфа // Комплексные проблемы изучения, освоения и охраны минеральных ресурсов океана. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. С. 24–25.
6. *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.
7. *Ременец А. И., Климов И. Н.* Эволюция лагунного побережья залива Пильтун в голоцене // Развитие природной среды в плейстоцене. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 123–126.
8. *Земцова А. И.* Климат Сахалина. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 197 с.
9. *Като Э., Савельев В. Ю., Шевченко Г. В.* Режимные характеристики ветра для острова Сахалин, полученные на основе инструментальных данных // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. С. 177–194.
10. *Леонтьев И. О.* Бюджет наносов и прогноз развития берега // Океанология. 2008. Т. 48. № 3. С. 467–476.
11. *Леонтьев И. О., Афанасьев В. В.* Динамика лагунного берега северо-восточного Сахалина на примере системы Ныйского залива и косы Пластун // Океанология. 2016. Т. 56. № 4. С. 618–626. DOI:10.7868/S0030157416030138.
12. *Бобрин К. П., Бровко П. Ф.* Речной сток и осадконакопление в лагунах Северного Сахалина // Мат-лы по гидрологии рек зоны БАМ и Дальнего Востока. Т. XX. Вып. 3. Л.: Гидрометеиздат, 1986. С. 439–444.
13. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики (за 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 18. Вып. 4. Сахалин и Курилы. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 156 с.
14. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. РСФСР. Вып. 22. Бассейны рек Сахалинской области. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 227 с.
15. *Путов В. Ф., Шевченко Г. В.* Пространственно-временная изменчивость колебаний уровня моря и расчет экстремальных высот редкой повторяемости на северо-восточном шельфе острова Сахалин // Метеорология и гидрология. 1991. № 10. С. 94–101.
16. *Путов В. Ф., Шевченко Г. В.* Особенности приливного режима на северо-восточном шельфе о. Сахалин // Гидрометеорологические процессы на шельфе: оценка воздействия на морскую среду. Владивосток: ДВНИГМИ, 1998. С. 61–82.
17. *Бровко П. Ф.* Формирование лагунных берегов дальневосточных морей в условиях умеренного климата // Бентос и условия его существования на шельфовых зонах Сахалина. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. С. 4–19.
18. *Афанасьев В. В., Уба А. В.* Пространственная структура размыва берегов северо-восточного Сахалина // Геоморфология. 2018. № 4. С. 26–37.
19. *Costas S., Alejo I., Rial F., Lorenzo H., and Nombela M. A.* Cyclical evolution of a modern transgressive sand barrier in Northwestern Spain elucidated by GPR and aerial photos // Journal of sedimentary Research. 2006. Vol. 76. No. 9. P. 1077–1092.
20. *Lindhorst S., Fuerstenau J., Christian Hass H., and Betzler C.* Anatomy and sedimentary model of a hooked spit (Sylt, southern North Sea) // Sedimentology. 2010. Vol. 57. No. 4. P. 935–955.
21. *Leatherman S. P.* Coastal geomorphological applications of ground-penetrating radar // Journal of Coastal Research. 1987. P. 397–399.

22. *Jol H. M., Smith D. G., and Meyers R. A.* Digital ground penetrating radar (GPR): A new geophysical tool for coastal barrier research (examples from the Atlantic, Gulf and Pacific coasts, USA) // *Journal of Coastal Research*. 1996. P. 960–968.
23. *Bristow C. S., Chroston P. N., and Bailey S. D.* The structure and development of foredunes on a locally prograding coast: insights from ground penetrating radar surveys, Norfolk, UK // *Sedimentology*. 2000. Vol. 47. No. 5. P. 923–944.
24. *Владов М.Л., Старовойтов А.В.* Введение в георадиолокацию. М.: Изд-во МГУ, 2005. 153 с.
25. *Neal A.* Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress // *Earth-science reviews*. 2004. Vol. 66. No. 3. C. 261–330.
26. *Mallinson D. J., Smith C. W., Culver S. J., Riggs S. R., and Ames D.* Geological characteristics and spatial distribution of paleo-inlet channels beneath the outer banks barrier islands, North Carolina, USA // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2010. Vol. 88. No. 2. P. 175–189.
27. *Hayes M. O. and FitzGerald D. M.* Origin, evolution, and classification of tidal inlets // *Journal of Coastal Research*. 2013. Vol. 69. No. sp1. P. 14–33.
28. *Афанасьев В.В.* Эволюция побережья дальневосточных морей в голоцене // *Эволюция берегов в условиях поднятия уровня океана*. М.: 1992. С. 166–174.
29. *Stutz M. L. and Pilkey O. H.* Open-ocean barrier islands: global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings // *Journal of Coastal Research*. 2011. Vol. 27. No. 2. P. 207–222.

REFERENCES

1. Tikhonovich N.N. and Polevoy P.I. Geomorphological sketch of Russian Sakhalin. *Tr. Geol. Kom. Nov. Ser.* Iss. 120. Pg.: Tip. M. M. Stasyulevicha (Publ.), 1915. 77 p. (in Russ.).
2. Vladimirov A. T. Morphology and evolution of the lagoon shore of Sakhalin Island. *Tr. Ins. Okeanol. AN SSSR*. Vol. 48. M.: AS USSR (Publ.), 1961. P. 145–171 (in Russ.).
3. Beloshapkov A. V., Gordin A. I., Ilyin V. V., and Putov V. F. Accumulative forms of a coastal zone and the shelf of northeast Sakhalin, in *Chelovechestvo i beregovaya zona Mirovogo okeana v XXI veke* (Humanity and the coastal zone of the World Ocean in the 21st century). Moscow: Geos (Publ.), 2001. P. 126–140.
4. Volodarskii A. N., Mikishin Yu. A., and Razova G. G. Evolution and lithodynamics of Chaivo bay-bar in Late Holocene, in *Paleogeografiya antropogena Dal'nego Vostoka* (Paleogeography of anthropogen of Far East). Vladivostok: DVNC AN SSSR (Publ.), 1987. P. 112–116.
5. Volodarsky A. N., Mikishin Yu. A., and Cherepanova M. V. Dynamics of the lagoon coasts of Sakhalin in the regions of active shelf development, in *Kompleksnyye problemy izucheniya, osvoyeniya i okhrany mineral'nykh resursov okeana* (Complex problems of studying, developing and protecting the mineral resources of the ocean). Vladivostok: DVNC AN SSSR, 1983. P. 24–25.
6. Buzlaev V. A. New data on the rates of processing the shores of Sakhalin, in *Geograficheskiye issledovaniya shel'fa dal'nevostochnykh morey* (Geographical studies of the shelf of the Far Eastern seas). Vladivostok: Izd-vo DGU (Publ.), 1993. P. 78–86.
7. 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: DVNC AN SSSR (Publ.), 1981. P. 123–126.
8. Zemtsova A. I. *Klimat Sakhalina* (The climate of Sakhalin). Leningrad: Gidrometeoizdat (Publ.), 1968. 197 p.
9. Kato E., Savelyev V. Yu., and Shevchenko G. V. Regime characteristics of the wind for Sakhalin Island, obtained on the basis of instrumental data, in *Dinamicheskiye protsessy na shel'fe Sakhalina i Kuril'skikh ostrovov* (Dynamic processes on the shelf of Sakhalin and the Kuril Islands). Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN (Publ.), 2001. P. 177–194.
10. Leontiev I. O. The budget of the sediments and the forecast of the development of the coast. *Okeanol.* 2008. Vol. 48. No. 3. P. 467–476 (in Russ.).
11. Leont'ev I. O. and Afanasyev V. V. Dynamics of the lagoon coast of northeastern Sakhalin on the example of the system of the Nyisky Bay and the plait Plastun. *Okeanol.* 2016. Vol. 56. No. 4. P. 618–626 (in Russ.).
12. Bobrik K. P. and Brovko P. F. River runoff and sedimentation in the lagoons of Northern Sakhalin, in *Materialy po gidrologii rek zony BAM i Dal'nego Vostoka* (Materials on the hydrology

- of the rivers of the BAM zone and the Far East). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1986. Vol. XX. No. 3. P. 439–444.
13. *Gosudarstvennyy vodnyy kadastr. Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki (za 1971–1975 gg. i ves' period nablyudeniya)*. Vol. 18. Vyp. 4. Sakhalin i Kurily (State water cadastre. The main hydrological characteristics (for 1971–1975 and the whole period of observations). Vol. 18. P. 4. Sakhalin and the Kurils). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1979. 156 p.
 14. *Gosudarstvennyy vodnyy kadastr. Mnogoletniye dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushy*. Vol. 1. RSFSR. Vyp. 22. Basseyny rek Sakhalinskoy oblasti (State water cadastre. Long-term data on the regime and resources of surface waters of the land. Vol. 1. of the RSFSR. Issue. 22. Basins of the rivers of the Sakhalin region). L.: Gidrometeoizdat (Publ.), 1987. 227 p.
 15. Putov V. F. and Shevchenko G. V. Spatial-temporal variability of sea level fluctuations and calculation of extreme heights of rare occurrence on the northeastern shelf of Sakhalin Island. *Meteorol. Gidrol.* 1991. No. 10. P. 94–101 (in Russ.).
 16. Putov V. F. and Shevchenko G. V. Features of the tidal regime on the northeastern shelf of Fr. Sakhalin, in *Gidrometeorologicheskiye protsessy na shel'fe: otsenka vozdeystviya na morskuyu sredu* (Hydrometeorological processes on the shelf: assessment of the impact on the marine environment). Vladivostok: DVNIGMI (Publ.), 1998. P. 61–82.
 17. Brovko P. F. Formation of lagoon coasts of Far Eastern seas in conditions of temperate climate, in *Bentos i usloviya yego sushchestvovaniya na shel'fovykh zonakh Sakhalina* (Bentos and conditions of its existence on the shelf zones of Sakhalin). Vladivostok: DVNC AN SSSR (Publ.), 1985. P. 4–19.
 18. Afanasyev V. V. and Uba A. V. Analysis of the erosion of the shores of northeastern Sakhalin. *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2018. No. 4. P. 26–37 (in Russ.).
 19. Costas S., Alejo I., Rial F., Lorenzo H., and Nombela M. A. Cyclical evolution of a modern transgressive sand barrier in Northwestern Spain elucidated by GPR and aerial photos. *Journal of Sedimentary Research*. 2006. Vol. 76. No. 9. P. 1077–1092.
 20. Lindhorst S., Fuerstenau J., Christian Hass H., and Betzler C. Anatomy and sedimentary model of a hooked spit (Sylt, southern North Sea). *Sedimentology*. 2010. Vol. 57. No. 4. P. 935–955.
 21. Leatherman S. P. Coastal geomorphological applications of ground-penetrating radar. *Journal of Coastal Research*. 1987. P. 397–399.
 22. Jol H. M., Smith D. G., and Meyers R. A. Digital ground penetrating radar (GPR): A new geophysical tool for coastal barrier research (examples from the Atlantic, Gulf and Pacific coasts, USA). *Journal of Coastal Research*. 1996. P. 960–968.
 23. Bristow C. S., Chroston P. N., and Bailey S. D. The structure and development of foredunes on a locally prograding coast: insights from ground-penetrating radar surveys, Norfolk, UK. *Sedimentology*. 2000. Vol. 47. No. 5. P. 923–944.
 24. Vladov M. L. and Starovoitov A. V. *Vvedeniye v georadiolokatsiyu* (Introduction to the georadiolocation). Moscow: Izd-vo MGU (Publ.), 2005. 153 p.
 25. Neal A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. *Earth-science reviews*. 2004. Vol. 66. No. 3. P. 261–330.
 26. Mallinson D. J., Smith C. W., Culver S. J., Riggs S. R., and Ames D. Geological characteristics and spatial distribution of paleo-inlet channels beneath the outer banks barrier islands, North Carolina, USA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2010. Vol. 88. No. 2. P. 175–189.
 27. Hayes M. O. and FitzGerald D. M. Origin, evolution, and classification of tidal inlets. *Journal of Coastal Research*. 2013. Vol. 69. No. sp1. P. 14–33.
 28. Afanasyev V. V. Evolution of the coast of the Far Eastern seas in the Holocene, in *Evolutsiya beregov v usloviyakh podnyatiya urovnya okeana* (Evolution of the shores in conditions of raising the ocean level). M.: 1992. P. 166–174.
 29. Stutz M. L. and Pilkey O. H. Open-ocean barrier islands: global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings. *Journal of Coastal Research*. 2011. Vol. 27. No. 2. P. 207–222.