

Миграция проливов и морское осадконакопление в лагунах

© 2019 В. В. Афанасьев*, А. В. Уба, А. И. Левицкий

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

Впервые в береговой морфолитодинамике количественно оценены и учтены наносы, безвозвратно выпадающие из вдольбереговых перемещений в результате смещения проливов и консервации ранее сформированных внутренних дельт. Согласно представленным расчетам, пролив лагуны Лунская за 65-летний период в среднем перехватывал 24 тыс. м³ наносов в год. Ранее, при построении модели бюджета наносов береговой системы северо-восточного Сахалина за этот же период, мы недосчитались в зоне конвергенции примерно 20–30 тыс. м³/год наносов. Таким образом, анализ пространственно-временных параметров каскада внутренних дельт лагуны Лунская, сформированного при перемещении лагунного пролива, позволил достичь в расчетах практически 100 %-го равенства приходных и расходных статей бюджета наносов лагунного побережья восточного Сахалина. Анализ соотношения аллювиальной и прибрежно-морской составляющих в формировании эстуарно-лагунной литосомы показал, что объемы осадконакопления морского типа в лагунах превышают объемы отложений аллювиального происхождения (например, в лагуне Лунская более чем в 4 раза).

Ключевые слова: Сахалин, миграция лагунных проливов, приливная дельта, бюджет наносов, вдольбереговой поток наносов.

Migration of the straits and pelagic sedimentation in the lagoons

Victor V. Afanas'yev, Aleksey V. Uba, Aleksander I. Levitsky*

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

Firstly in the coastal morpholithodynamics the sediments irrevocably falling out of along-bank displacements as a result of displacement of straits and conservation of previously formed internal deltas have been taken into account and quantified. According to the presented calculations, the strait of Lunskaaya lagoon caught an average of 24 000 m³ of sediment per year for the 65-year period. Earlier, developing a model of the budget of sediments of the coastal system of north-east of Sakhalin for the same period, we missed in the convergence zone about 20–30 thousand m³/year of sediment. So, the analysis of spatio-temporal parameters of the cascade of internal deltas of the Lunskaaya lagoon, formed during the movement of the lagoon strait, allowed to achieve almost 100 % of the result of the budget model of the lagoon coast of Eastern Sakhalin. Analysis of the ratio of alluvial and coastal-marine component in the formation of estuarine-lagoon lithosome showed that the volume of sedimentation of marine type in the Lunskaaya lagoon is more than 4 times higher than the volume of deposits of alluvial origin. In the lagoon of Maloye Nevskoye sea the sedimentation also plays a more important role than solid sediments of the rivers. This significantly complements the existing concepts of sedimentation in the lagoons.

Keywords: Sakhalin, migration of tidal straits, flood-tidal delta, sediment budget, along-shore sediment flow.

Введение

Объектом данного исследования являются приливные дельты проливов, соединяющих лагуны восточного Сахалина и Охотского моря. В представленной работе реализована методика морфолитодинамических иссле-

дований, основанная как на традиционных геоморфологических, так и современных методах получения и анализа геолого-геоморфологической информации.

В результате анализа геопространственной информации о динамике лагунного побережья

Сахалина в свободной кроссплатформенной геоинформационной системе QGIS (Quantum GIS) ранее нами были определены морфодинамические параметры лагунных проливов за период 1927–2016 гг. [Афанасьев, Уба, 2017; Афанасьев, 2018]. Установлено, что наибольшие морфолитодинамические изменения береговой зоны северо-восточного Сахалина происходят именно в системах проливов. Максимальный объем наносов деятельного слоя берегового профиля также наблюдается на участках проливов. Скорости миграции проливов сильно варьируют по годам, однако среднемноголетние скорости перемещения практически одинаковы для всех проливов, за исключением пролива лагуны Набил, где при перемещении пролива размывается низкая морская терраса, сложенная торфами и лагунными илами.

На данной стадии развития побережья параметры бюджета наносов определяются процессами абразии и аккумуляции. Объемы наносов, перемещаемых при миграции проливов, определены 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 [Афанасьев, 2019]. 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 которых примерно 50 % – осадки открытого моря (алеврито-пелитовых фракций), поступает с юга. В зоне пролива лагуны Ныйская, согласно анализу карт переформирования берегов, аккумулируется около 23 тыс. м³/год осадков пляжеформирующих фракций. Таким образом, примерно 20–30 тыс. м³/год наносов оказались вне бюджета наносов береговой системы северо-восточного Сахалина.

Приведенные расхождения потребовали более тщательного анализа приходных и расходных статей бюджета наносов береговой

зоны. Оказалось, что при быстром перемещении проливов некоторых лагун внутреннее, ранее сформированные дельты стабилизируются, а наносы, их слагающие, более не вовлекаются в морфолитодинамические перестройки и вдольбереговые перемещения наносов. В настоящей работе была поставлена задача количественной оценки наносов, безвозвратно выпадающих из вдольбереговых перемещений в результате смещения проливов и консервации ранее сформированных внутренних дельт. Кроме того, в лагунах с каскадами внутренних дельт, рассмотренных нами, большой интерес представляет определение вклада прибрежно-морской составляющей в формировании эстуарно-лагунной литосомы, поскольку в классической теории лагуны заполняются аллювием и трансгрессивными отложениями баров.

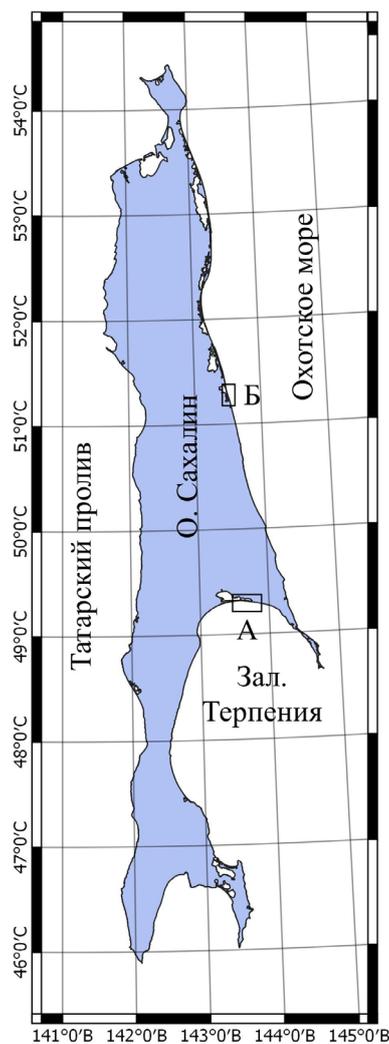


Рис. 1. Обзорная схема района исследований. А – лагуна оз. Невское, Б – лагуна Лунская.

Обзор проблемы

Лагунные проливы и барьерные острова занимают около 12 % протяженности берегов мира и являются одними из самых динамичных объектов морских и океанских побережий. Существующие аналитические обзоры исследований глобальных закономерностей распределения и развития барьерных образований и проливов [Stutz, Pilkey, 2001, 2011] позволяют нам избежать перечисления сотен исследовательских работ, посвященных разным аспектам проблемы. Отметим лишь, что от 40 до 77 % голоценовых отложений береговой зоны данного типа связаны с приливо-отливными потоками [Ye, Moslow, 1993; Hayes, FitzGerald, 2013]. Отметим также, что исследования проливов в основном посвящены изучению механизмов обхода вдольбереговыми потоками наносов устья пролива и вопросам количественной оценки осадконакопления на морском участке пролива [Gaudio, 2001; FitzGerald, Pendleton, 2002; FitzGerald et al., 2012]. Это вполне объяснимо с практической точки зрения. К примеру, Европа тратит около 150 млн евро в год для компенсации проблем береговой эрозии на прилегающих к проливам участках береговой зоны, а в США только на обеспечение навигационных глубин в проливах ежегодно расходуется более 100 млн долларов [Williams et al., 2003].

Приливо-отливные дельты были впервые подробно описаны и классифицированы по соотношению волновой и приливной энергии М.О. Хейзом [Hayes, 1979]. Эти аккумулятивные образования сложены главным образом осадками, которые перехватываются приливо-отливной системой пролива из вдольберегового потока наносов

и распределяются в соответствии с морфметрией лагун, строением барьерных форм, особенностями лагунной и прибрежно-морской циркуляции, а также соотношением энергии волн и приливов на участке побережья, где расположен пролив. Отмечается, что аллювий рек, впадающих в крупные лагуны, практически не доходит до проливов, соединяющих лагуны с морем [Бобрик, Бровко, 1986].

Побережья со значениями приливов до 2 м, как правило, имеют меньшие отливные и большие приливные дельты, в то время как на побережьях с приливами до 4 м обратное соотношение. Активное волновое воздействие препятствует развитию отливных дельт и усиливает рост приливных дельт [Hayes, 1980]. В табл. 1 представлены основные характеристики лагун, в том числе параметры приливов, которые далее будут использованы в работе.

Приливо-отливные дельты лагун Сахалина практически не изучены. Исключением является определенный группой исследователей Дальневосточного гос. университета (ныне Дальневосточный федеральный университет) объем отливной дельты на морской стороне пролива лагуны Чайво (прол. Клейе) – 12 млн м³ [Володарский и др., 1983]. Наличие на северо-востоке Сахалина мощных вдольбереговых потоков наносов подтверждается материалами математического моделирования и балансовых расчетов [Леонтьев, Афанасьев, 2016; Афанасьев, 2019]. Расчетные значения вдольберегового потока наносов результирующего южного направления достигают максимума 300 000 м³/год в средней части пересыпи лагуны Чайво и затем уменьшаются к югу.

Таблица 1. Речной и твердый сток в лагуны восточного Сахалина и изменение величины приливов на устьевом взморье

(по: [Бобрик, Бровко, 1986; Государственный водный... , 1979, 1987; Путов, Шевченко, 1991])

Лагуна	Площадь водного зеркала, км ²	Объем речного стока, км ³ /год	Сток наносов, тыс. т/год	Максимальная амплитуда прилива
Пильтун	434.7	1.18	34.0	2.13
Чайво	126.0	1.65	27.0	2.68
Ныйская	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
Оз. Малое Невское	28.5	0.11	18.2	2.45

При этом поток южного направления достигает 800 000 м³/год, а поток северного направления – 500 000 м³/год [Леонтьев, 2008].

Как отмечается в упомянутой выше морфодинамической классификации, для берегов со значительными вдольбереговыми перемещениями наносов характерна миграция проливов [Hayes, 1979]. Соответственно, на мигрирующих проливах должны последовательно формироваться новые приливно-отливные дельты как с морской стороны, так и с внутренней – лагунной. И если отложения морской стороны пролива остаются в морфолитодинамической системе береговой зоны, то отложения отмершей приливной дельты исключаются из баланса береговых наносов. К сожалению, в литературе встречаются лишь единичные упоминания об этом процессе, без анализа морфометрических и морфодинамических параметров, а также последствий для бюджета наносов. В частности, подобным образом упомянута почти непрерывная система отмелей вдоль барьерной формы зал. Катама (Katama Bay) на южном побережье Мартас-Винъярд, Массачусетс [FitzGerald, Pendleton, 2002].

Общие тенденции развития приливных систем северо-восточного Сахалина можно охарактеризовать следующим образом. Среднегодовые 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 (табл. 2).

Перемещение проливов лагун Пильтун и Чайво сопровождалось изменением формы дистальных окончаний кос. Поэтому, несмотря на смещение пролива лагуны Пильтун в южном направлении в период

с 1977 по 1999 г. примерно на 870 м, происходило увеличение 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 годов скорости размыва отступающей косы (около 2.2 га в 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 г.

Перемещение проливов лагун Лунская и Набиль в северном направлении происходило более или менее равномерно, но периоды минимальных скоростей нарастания косы лагуны Лунская соответствовали периодам максимальных скоростей нарастания косы лагуны Набиль и наоборот. При этом с 1973 по 1999 г. среднегодовые величины прироста косы Набиль примерно в 26 раз превышали значения прироста косы Лунская, при средне-многoletних значениях 12 000 и 5700 м²/год соответственно.

Что касается зоны конвергенции потоков наносов в районе пересыпи лагуны Ныйская, то с 1927 по 2014 г. дистальный конец косы сместился в С-СЗ направлении более чем на 2200 м. При этом за период до 1977 г. прирост косы в указанном направлении составил около 1360 м, т.е. 27 м/год; с 1977 по 1985 г. – около 490 м, или 61 м/год; с 1985 по 2014 г. – около 360 м, или 12 м/год. Причем, судя по положению береговой линии северной стороны пролива, основные гидроморфные параметры пролива практически неизменны с конца 70-х годов. С 1999 г. ранее размываемая северная коса увеличивает свою площадь.

Таблица 2. Динамика лагунных проливов северо-восточного Сахалина [Афанасьев, 2019]

Лагуна	Направление смещения пролива	Период, лет	Смещение нарастающей косы, м	Среднегодовые скорости, м/год	Нарастание площади в системе пролива, тыс. м ² /год	Размыв в системе пролива, тыс. м ² /год
Пильтун	Юг	62	1963	31.7	16.61	5.4
Чайво	–	87	2338	26.9	21.61	43.55
Ныйская	Север	87	2210	26.4	12.14	8.19
Набиль	–	62	800	12.9	11.97	13.67
Лунская	–	62	1779	28.7	5.71	2.81

Методика исследований

На первом этапе исследования приливных дельт восточного Сахалина были проведены морфометрические исследования с использованием полигонов электронной карты OpenStreetMap.org, данные которой распространяются по лицензии Open Data Commons Open Database License (ODbL) и доступны для загрузки в виде архива всей планеты или отдельных регионов в собственном формате .osm. Преобразованные для использования в ГИС файлы скачаны с сайта geofabric.de. Набор данных представляет собой 18 готовых shp-файлов с координатной системой WGS84. Расчет произведен при помощи модуля «Добавить атрибуты геометрии» в ГИС QuantumGIS (QGIS) версии 3.4.6, который вычисляет площадь и периметр объектов в векторном слое, расчет производился по поверхности эллипсоида WGS84. Полученные атрибуты были экспортированы в электронные таблицы для дальнейшей обработки. Средняя ошибка местоположения объектов на данной карте около 5 м, минимальная 0.2 м, максимальная 18 м, стандартное отклонение около 3 м [Helbich, 2012].

На следующем этапе исследования в этой же QuantumGIS-среде с использованием стандартных процедур анализа материалов

дистанционного зондирования нами была проведена реконструкция изменения площадей внутренних дельт с учетом миграции лагунных проливов за период 1952–2018 гг.

Результаты и обсуждение

Результаты измерений представлены в табл. 3.

Внутренние острова лагун Набиль и Чайво, а также, по большей части, лагуны Ныйская представляют собой остатки древних барьерных форм и в данном исследовании не рассматриваются, так как не являются элементами современных береговых морфолитодинамических систем. Острова же, которые являются приливными дельтами, были сформированы гораздо раньше рассматриваемого морфолитодинамического периода. Приливные дельты лагуны Пильгун представлены небольшими сублиторальными отмелями и практически не выделяются по данным дистанционного зондирования. Вероятно, они связаны с кратковременно существующими проливами при штормовых событиях, совпадающих с максимальными приливами, нагонами разного типа и низким уровнем воды в лагуне.

Классический пример формирования каскада внутренних приливных дельт при перемещении проливов – лагуна Лунская (рис. 2),

Таблица 3. Морфометрические параметры лагун восточного Сахалина

Залив, озеро	Площадь, м ²	Периметр, м	Площадь островов, м ²	Периметр островов, м	Удельная площадь островов, %
Пильгун и Остох	437 617 003	256 724	257 909	5 485	0.06
Набильский	180 618 364	145 549	3 439 640	34 236	1.90
Чайво	125 764 044	163 846	13 302 168	40 653	10.58
Ныйский	109 405 977	150 921	4 867 499	38 603	4.45
Лунский*	54 303 247	72 584	232 921	4 514	0.43
Оз. Невское Малое (восточная часть)	28 453 539	32 332	2 310 028	31 846	8.12

*На картах этот топоним встречается в таком написании.



Рис. 2. Приливно-дельта пролива лагуны Лунская. На переднем плане рыболовный сейнер, севший на мель в проливе в 1949 г. Фото В.В. Афанасьева

самая южная из крупных лагун северо-восточного Сахалина, и лагуна оз. Невское, расположенная в вершине зал. Терпения.

При анализе морфометрических параметров приливных дельт средняя мощность отложений, учитывая данные промеров и высотные отметки аккумулятивных образований, была принята за 1.5 м. Таким образом, площадь приливных дельт лагуны Лунская (рис. 3), сформированных в период с 1952 по 2018 г., составила 1 млн 38 тыс. м², а, соответственно, объем отложений в этих образованиях – 1 млн 557 тыс. м³.

Очевидно, что эти геоморфологические образования определенным образом меняются со временем – преимущественно за счет зарастания и развития приливно-отливных ложбин. Нами установлено, что приливные дельты лагуны Лунская, существовавшие до 1952 г., за 65 лет увеличили свою площадь за счет зарастания и аккумуляции взвешенных наносов растительностью примерно в 1.3 раза.

В лагуне оз. Малое Невское за счет перемещения проливов с 1952 по 2013 г. сформировалась субаэральная поверхность приливных дельт площадью около 813 тыс. м² (рис. 4). Учитывая отмелый характер дна акватории лагуны на участках, прилегающих к барьерной форме за пределами дельт, и величину приливов, принятая для расчетов мощность этих отложений составляет 1.2 м. Таким образом,

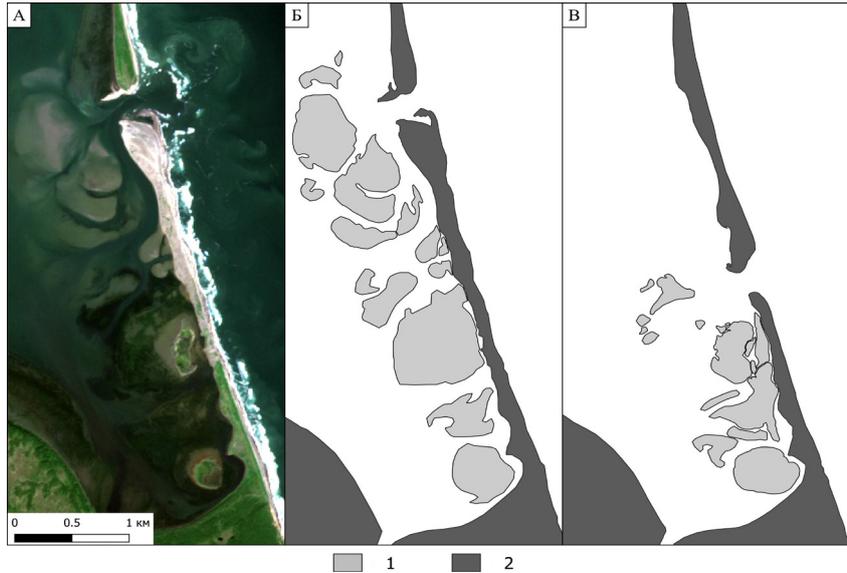


Рис. 3. Формирование приливных дельт в лагуне Лунская за период 1952–2018 гг. А – фрагмент общедоступного спутникового снимка «Copernicus Sentinel data 2018». Внутренние дельты и положение пролива в 2018 г. (Б) и 1952 г. (В).

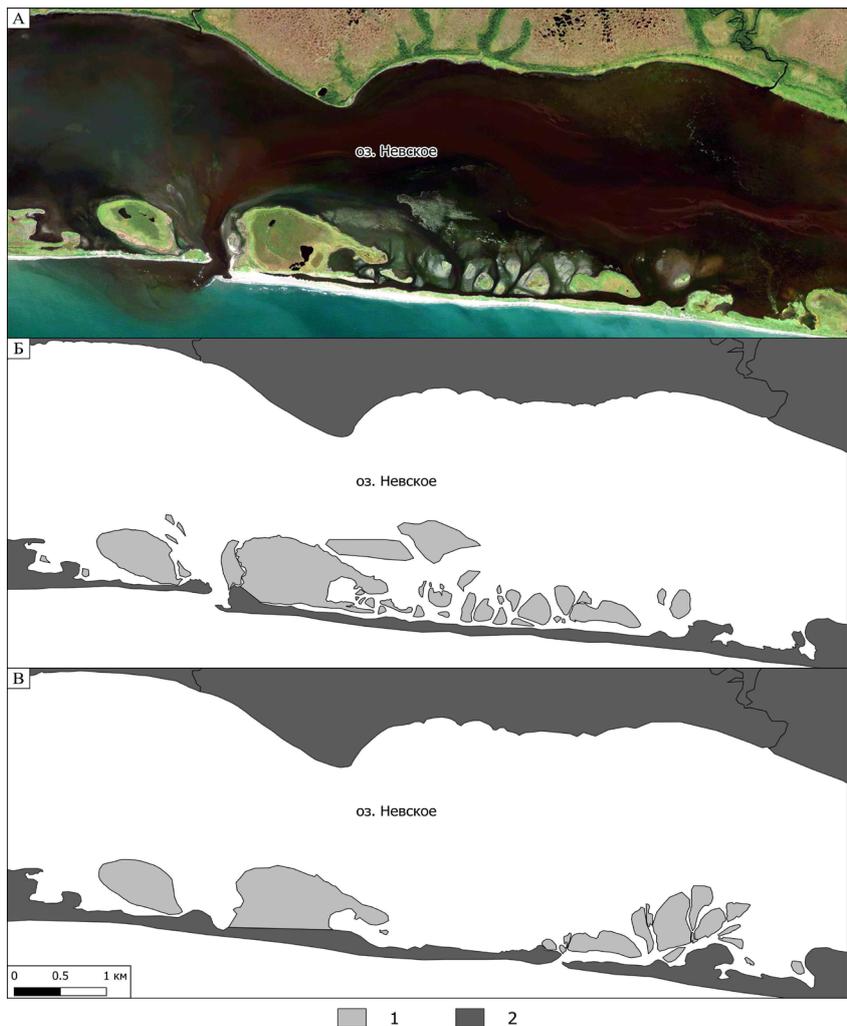


Рис. 4. Формирование приливных дельт в лагуне оз. Невское за период 1952–2018 гг. А – фрагмент общедоступного спутникового снимка 2013 г. Внутренние дельты и положение пролива в 2013 г. (Б) и 1952 г. (В).

общий объем внутренних дельт, образованных за период 60 лет, составляет 975 тыс. м³.

Количественная оценка наносов, безвозвратно выпадающих из вдольбереговых перемещений в результате смещения пролива лагуны Лунская и консервации ранее сформированных внутренних дельт, согласно представленным расчетам, составляет 24 тыс. м³/год. Как отмечалось выше, при построении модели бюджета наносов береговой системы северо-восточного Сахалина мы недосчитались в зоне конвергенции примерно 20–30 тыс. м³/год наносов.

Анализ пространственно-временных параметров каскада внутренних дельт лагуны Лунская, сформированного при перемещении лагунного пролива, позволил достичь в расчетах практически 100%-го равенства приходных и расходных статей бюджета наносов лагунного побережья восточного Сахалина.

На наш взгляд, очень интересным представляется соотношение аллювиальной и прибрежно-морской составляющих в формировании эстуарно-лагунной литосомы лагун с однонаправленным перемещением проливов. Большая часть разреза современных приливных дельт представлена песками разной крупности и гравийно-галечным материалом средней плотностью 1.6–1.7 т/м³. Наносы этой размерности, заполняющие лагуну в виде приливных дельт, имеют массу 39.6 тыс. т/год. Венчают разрез отложения алеврито-пелитовых фракций незначительной мощности.

Твердый сток рек в лагуну Лунская составляет 7.2 тыс. т/год, из которых только 650 т представляют влекаемые наносы размером от мелкого песка и выше. Принимая плотность уплотненных илов за 1.2 т/м³, получим, что объем осадка, поставляемого в лагуну реками, равен 5.8 тыс. м³/год, или примерно в 4 раза меньше объема морских наносов, поступающих через пролив.

Твердый речной сток в лагуну оз. Малое Невское составляет 18.2 тыс. т/год, из которых 16 550 т взвешенные наносы скелетной плотностью 1.2 т/м³, а 1650 т имеют плотность 1.6–1.7 т/м³. Таким образом, реки формируют 14.9 тыс. м³/год отложений лагунных фаций против 16.3 тыс. м³/год грубозернистых фаций приливных дельт.

Заключение

Отсутствие детального фациального анализа осадконакопления в приливной зоне лагуны вызывает достаточно много вопросов. Решение их – задача дальнейших геолого-геофизических исследований, которые мы планируем провести в ближайшее время на объектах, рассмотренных в этой статье. Целью данной работы являлась лишь постановка проблемы и своего рода геоморфологическая рекогносцировка в форме анализа геопространственной информации современными методами.

Главным результатом представленной работы является установленный и количественно оцененный факт существования дополнительной расходной части бюджета наносов на лагунных берегах с однонаправленным перемещением лагунных проливов. Показано, что при быстром перемещении проливов внутренние дельты стабилизируются, а наносы, их слагающие, более не вовлекаются в морфолитодинамические перестройки береговой зоны. В условиях приливного моря внутренние морские дельты быстро покрываются растительностью и нарастают за счет взвешенных наносов речного стока.

Не менее важным представляется результат, отражающий соотношение объемов морских и аллювиальных наносов при заполнении лагун осадками. Анализ аллювиальной и прибрежно-морской составляющих в формировании эстуарно-лагунной литосомы показал, что морское осадконакопление в исследованных лагунах с системами внутренних дельт играет более важную роль, чем твердый сток рек. Так, в лагуне Лунская объемы осадконакопления морского типа более чем в 4 раза превышают объемы отложенный аллювиального происхождения.

Список литературы

1. Афанасьев В.В., Уба А.В. Морфолитодинамика лагунных проливов северо-восточного Сахалина (1927–2014 гг.) // *Рациональное использование и охрана водных ресурсов: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (посвящ. Году экологии в России), г. Барнаул, 14–16 сент. 2017 г.* Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 2017. С. 29–32.
2. Афанасьев В.В. Особенности морфолитодинамики лагунных берегов арктических и субарктических

морей // *Арктические берега: путь к устойчивости: материалы XXVII междунар. береговой конф., Мурманск, 24–29 сент. 2018 г.* Мурманск, 2018. С. 15–19.

3. Афанасьев В.В. Морфолитодинамика лагунных проливов северо-восточного Сахалина // *Геоморфология*. 2019. № 2. С. 79–94. <https://doi.org/10.31857/S0435-42812019279-94>

4. Бобрик К.П., Бровко П.Ф. Речной сток и осадконакопление в лагунах Северного Сахалина // *Материалы по гидрологии рек зоны БАМ и Дальнего Востока*. Т. 20, вып. 3. Л.: Гидрометеоздат, 1986. С. 439–444.

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, 1983. С. 24–25.

6. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. РСФСР. Вып. 22. Бассейны рек Сахалинской области. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 227 с.

7. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики (за 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 18. Вып. 4. Сахалин и Курилы. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 156 с.

8. Леонтьев И.О. Бюджет наносов и прогноз развития берега // *Океанология*. 2008. Т. 48, № 3. С. 467–476. [Leont'yev I.O. Budget of sediments and forecast of long-term coastal changes. *Oceanology*, 2008, 48(3): 428–437. <https://doi.org/10.1134/s0001437008030156>].

9. 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. [Leont'yev I.O., Afanas'yev V.V. Evolution of the lagoon coast in northeastern Sakhalin exemplified by the Nyiskii Inlet–Plastun Spit coastal system. *Oceanology*, 2016, 56(4): 564–571. doi:10.1134/S0001437016030139]

10. 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.

11. 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: Дальнаука, 1998. С. 61–82.

12. FitzGerald D.M., Pendleton E. Inlet formation and evolution of the sediment bypassing system: New Inlet, Cape Cod, Massachusetts // *J. of Coastal Research*. 2002. Vol. 36, Spec. Iss. P. 290–299. <https://doi.org/10.2112/1551-5036-36.sp1.290>

13. FitzGerald D.M., Buynevich I., Hein C. Morphodynamics and facies architecture of tidal inlets and tidal deltas // *Principles of Tidal Sedimentology*. Netherlands, Dordrecht: Springer, 2012. P. 301–333. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0123-6_12

14. Gaudio D.J. Shoal bypassing in South Carolina tidal inlets: Geomorphic variables and empirical predictions for nine mesoscale inlets // *J. of Coastal Research*. 2001. Vol. 17(2). P. 280–291.

15. Hayes M.O. Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime // Leatherman S.P. (Ed.) *Barrier islands from the Gulf of Mexico to the Gulf of St. Lawrence*. New York: Acad. Press, 1979. P. 1–28.

16. Hayes M.O. General morphology and sediment patterns in tidal inlets // *Sedimentary Geology*. 1980. Vol. 26, N 1–3. P. 139–156. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(80\)90009-3](https://doi.org/10.1016/0037-0738(80)90009-3)

17. Hayes M.O., FitzGerald D.M. Origin, evolution, and classification of tidal inlets // *J. of Coastal Research*. 2013. Vol. 69. P. 14–33. https://doi.org/10.2112/si_69_3

18. Helbich M., Amelunxen C., Neis P., Zipf A. Comparative spatial analysis of positional accuracy of OpenStreetMap and proprietary geodata // *Proceedings of GI_Forum 2012: Geovisualization, Society and Learning, Salzburg, Germany, 4–6 July 2012*. P. 24–33.

19. Stutz M.L., Pilkey O.H. A review of global barrier island distribution // *J. of Coastal Research*. 2001. Spec. Iss. 34. Intern. Coastal Symp. (ICS 2000). P. 15–22. <https://www.jstor.org/stable/25736270>

20. Stutz M.L., Pilkey O.H. Open-ocean barrier islands: global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings // *J. of Coastal Research*. 2011. Vol. 27. P. 207–222. doi:10.2307/29783233

21. Tye R.S., Moslow T.F. Tidal inlet reservoirs: insights from modern examples // *Frontiers in Sedimentary Geology*. New York: Springer, 1993. P. 77–99. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0160-9_4

22. Williams J.J., O'Connor B.A., Arens S.M., Abadie S., Bell P., Balouin Y. et al. Tidal inlet function: field evidence and numerical simulation in the INDIA project // *J. of Coastal Research*. 2003. Vol. 19(1). P. 189–211.

Сведения об авторах

АФАНАСЬЕВ Виктор Викторович (ORCID 0000-0002-2344-1269), кандидат географических наук, заведующий лабораторией, УБА Алексей Владимирович, младший научный сотрудник, ЛЕВИЦКИЙ Александр Игоревич, инженер-исследователь – лаборатория береговых геосистем, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия.