

УДК 551.465

ДИНАМИКА ЛАГУННОГО БЕРЕГА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ НЫЙСКОГО ЗАЛИВА И КОСЫ ПЛАСТУН

© 2016 г. И. О. Леонтьев¹, В. В. Афанасьев²¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

e-mail: igor.leontiev@gmail.com

e-mail: vvasand@mail.ru

Поступила в редакцию 25.02.2015 г.

После доработки 24.04.2015 г.

На основе моделирования морфодинамических процессов исследуются тенденции развития береговой системы, включающей Ныйский залив (лагуну) и косу Пластун. Наблюдаемое удлинение косы и миграция пролива Анучина объясняются изменениями вдольберегового потока наносов, который перемещает материал к окончанию косы с южной стороны. Показано, что сильные шторма, действующие на фоне нагона и прилива, способствуют углублению дна лагуны. Предложена модель системы приливного залива, описывающая эволюцию приливной осушки в условиях повышения относительного уровня моря. Сделан вывод о том, что объем осушки через 100 лет может сократиться в несколько раз. Эта тенденция приведет к ускорению размыва берегов залива, так как уменьшится диссипация энергии, поступающей из открытого моря.

DOI: 10.7868/S0030157416030138

ВВЕДЕНИЕ

Объектом данного исследования являются берега в районе Ныйского залива и пересыпи, отделяющей залив (по сути, лагуну) от Охотского моря (рис. 1). Пересыпь представляет собой песчаную аккумулятивную форму типа берегового барьера, рассеченную проливом Анучина на южный и северный сегменты. Северный сегмент носит название о. Гафовича, а южный – коса Пластун.

В течение неотектонического этапа развития в северо-восточной части о. Сахалин происходили масштабные устойчивые прогибания побережья и шельфа. Современные скорости опускания земной коры достигают здесь 2–5 мм/год. О погружении суши свидетельствует и лагунный тип берега, а также уменьшение высот береговых валов с удалением от уреза [3]. Формирование барьерных аккумулятивных образований и наблюдаемого облика лагунного побережья связано с суббореальной фазой среднеголоценовой трансгрессии [1, 2].

Рассматриваемый район характеризуется интенсивной гидродинамикой, определяемой как штормовыми волнениями со средней высотой волн более 4 м, так и приливами с амплитудой около 1 м, которые вызывают течения со скоростью до 1 м/с. Соответственно весьма активны транспорт наносов (в частности, вдольбереговой перенос) и морфодинамические процессы.

Примечательной особенностью является постепенное удлинение косы Пластун и миграция пролива Анучина в северном направлении (рис. 2). По материалам дистанционного зондирования за 80 лет (1932–2013 гг.) коса выросла на 2300 м, хотя в начале 21 века наметилось замедление процесса. Со стороны лагуны формирование низких аккумулятивных уровней обеспечивают, главным образом, эоловые процессы и в меньшей степени эстуарно-лагунное осадконакопление. Со стороны моря нарастание косы происходит в форме развития систем береговых валов и авантюн. Предполагается, что источником материала служит береговой уступ, расположенный южнее корневой части косы, сложенный песками, алевролитами и алевролитами с линзами галечников и гравелитов. На участке длиной 7 км здесь в период с 1952 по 1985 гг. было смыто порядка 10^6 м³ осадков. Вместе с тем, свойства потока наносов вдоль рассматриваемого побережья пока не определены, и механизм смещения пролива остается неясным.

Практический интерес вызывает и эволюция берегов Ныйского залива (фактически лагуны), расположенных напротив пролива Анучина, где намечается строительство хозяйственных объектов. В настоящее время здесь фиксируется размыв лайды (северный участок) и береговой террасы (южный участок). В ряде мест в абразионных уступах обнажаются слои верхового торфа, сфор-

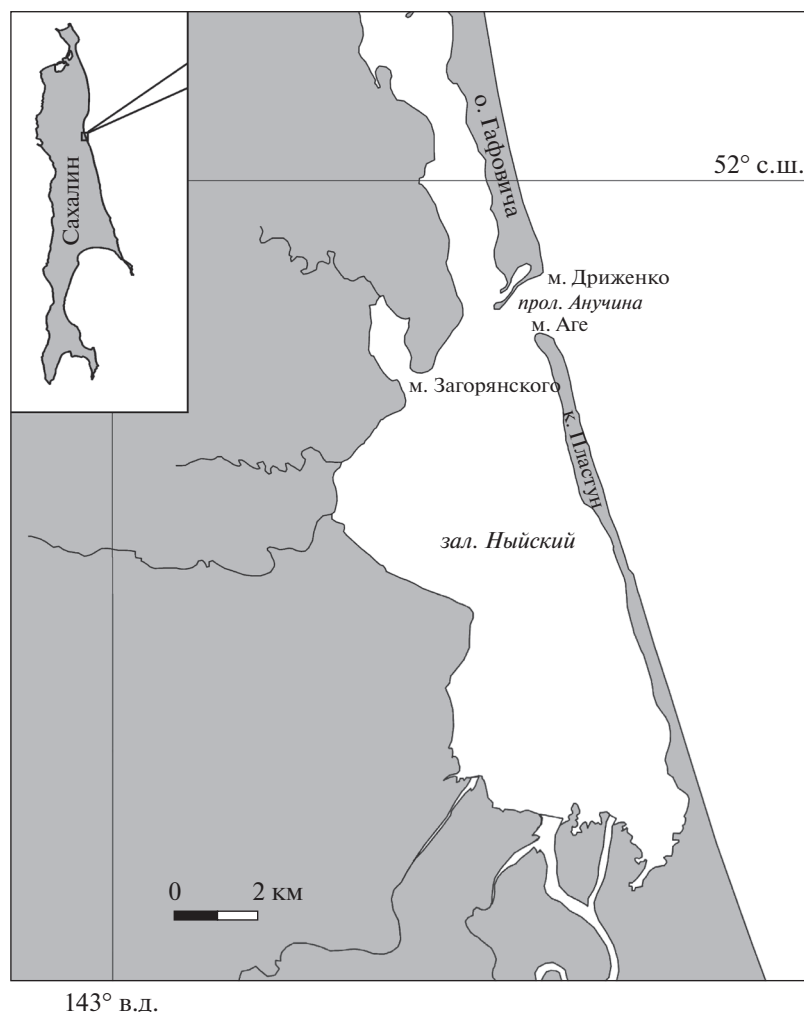


Рис. 1. Район исследования.

мированного на значительном удалении от береговой зоны, что служит дополнительным признаком повышения относительного уровня моря в современную эпоху.

Целью настоящей работы является анализ тенденций развития исследуемого побережья на основе моделирования морфодинамических процессов с учетом имеющихся данных и существующих представлений о прибрежной динамике. Исследование направлено на решение следующих задач: 1) объяснить наблюдаемое смещение пролива Анучина с точки зрения свойств вдольбереговых потоков наносов в данном районе; 2) оценить деформации дна, вызываемые штормовыми волнами, проникающими в Ныйский залив при экстремальных нагонах и приливах; 3) спрогнозировать эволюцию морфодинамической системы Ныйского залива на перспективу ближайших десятилетий с учетом возможных изменений относительного уровня моря.

ВДОЛЬБЕРЕГОВЫЕ ПОТОКИ НАНОСОВ И МИГРАЦИЯ ПРОЛИВА АНУЧИНА

Для оценки потоков наносов вдоль пересыпи был выбран участок протяженностью 10 км с центром в проливе Анучина. Внешняя граница расчетной области располагалась на глубине около 20 м. На рис. 3 (верхний график) показана схема берега и изобат (в сглаженном виде). Расчеты потоков наносов основывались на модели LONT-2D [5, 7]. Поле глубин задавалось с помощью навигационной карты и имеющихся батиметрических планов более крупного масштаба.

В составе донного материала на рассматриваемом участке доминируют средне- и мелкозернистые пески, которые в грунтовых пробах встречаются примерно в одинаковых пропорциях. Исходя из этого, в качестве репрезентативного размера наносов при расчетах было принято значение 0.3 мм.

Для характеристики волнового климата северо-восточного Сахалина привлекались расчет-

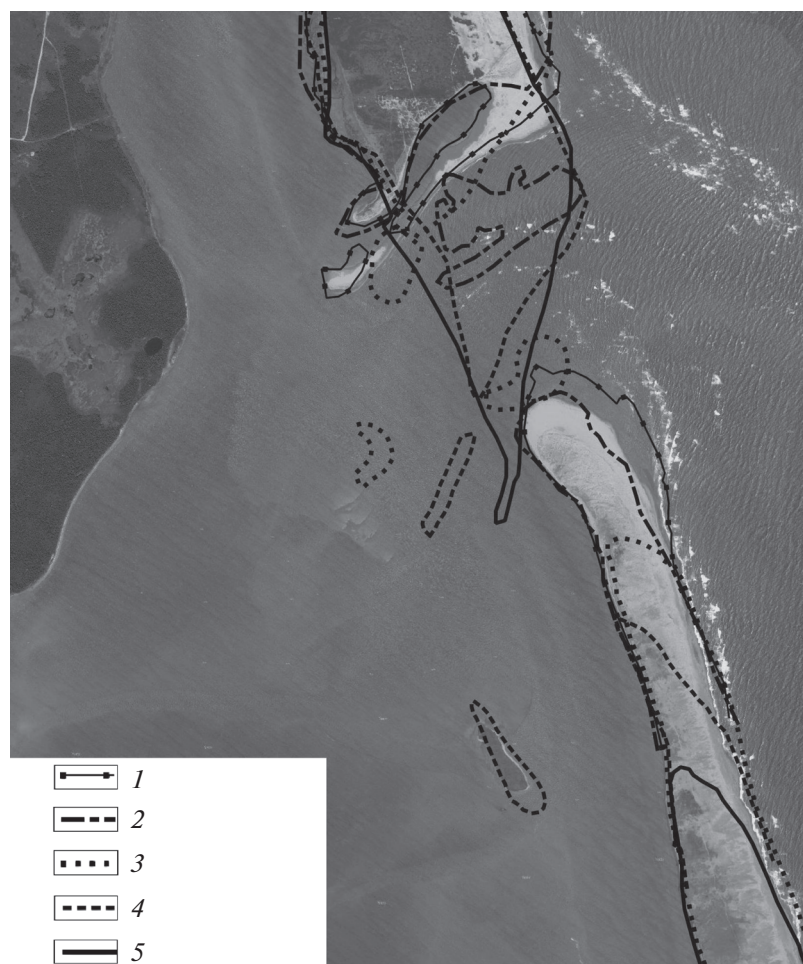


Рис. 2. Смещение пролива Анучина в период с 1932 по 2014 гг.: 1 – 2014 г., 2 – 2000 г., 3 – 1973 г., 4 – 1952 г., 5 – 1932 г.

ные данные, полученные путем вычислений полей частотно-направленных спектров морского волнения на базе полей ветра, зафиксированных сетью береговых метеостанций за период нескольких десятков лет. Использовались результаты Союзморниипроекта (частично охарактеризованные в [4]), скорректированные с учетом более поздних исследований. Данные, о которых идет речь, представлены в табл. 1 и характеризуют годовую продолжительность t_w различных волновых ситуаций (с соответствующими средними высотами \bar{H} и периодами волн \bar{T} на глубокой воде) для основных волноопасных направлений (С, СВ, В, ЮВ). Очевидно, волнения с востока и юго-востока значительно доминируют по продолжительности и силе.

Результаты расчетов представлены на нижнем графике рис. 3. Здесь показаны распределения по протяжению берега потоков на север и на юг, а также их алгебраическая сумма – результирующий поток. Как видно, поток на юг относительно равномерный (около 100 тыс. м³/год), тогда как

поток на север испытывает заметные колебания. В южной части он превышает 500 тыс. м³/год, а с приближением к окончанию косы падает до 300 тыс. м³/год. У южной части о. Гафовича поток увеличивается до прежних значений, затем снова уменьшается и далее колеблется около величины 400 тыс. м³/год.

Результирующий поток действует в северном направлении и изменяется аналогично южному потоку. Его максимальная величина (в южной части) составляет 400 тыс. м³/год, а минимальная (у конца косы) – 180 тыс. м³/год. У о. Гафовича поток снова увеличивается (до 300 тыс. м³/год).

Изменения потоков обуславливаются донной топографией, которая посредством рефракции влияет на поступающую к берегу энергию волн, определяющую объем и скорость перемещения наносов. В частности, заметное влияние оказывает мелководная область у пролива Анучина, приуроченная к отливной дельте системы Ныйского залива (рис. 3).

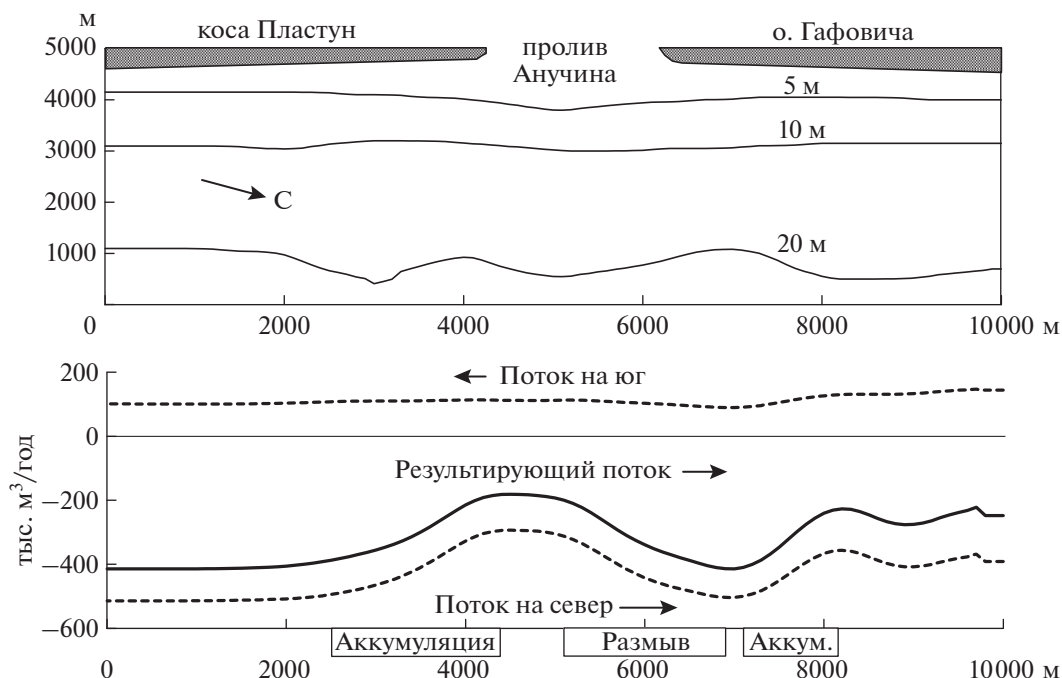


Рис. 3. Расчетные изменения вдольбереговых потоков наносов.

Увеличение потока (его насыщение) означает размыв дна и берегов, а его уменьшение (разгрузка) — аккумуляцию материала и нарастание берега. В соответствии с этим выделяются чередующиеся зоны аккумуляции и размыва, отмеченные на рис. 3. Окончание косы Пластун попадает в зону аккумуляции, объем которой превышает 200 тыс. м³/год. Материал, поступающий с юга, поддерживает рост косы (одним из источников, как уже отмечалось, служит размываемый уступа вблизи основания косы). В то же время южная часть о. Гафовича оказывается в зоне размыва (общий объем потерь материала около 200 тыс. м³/год). Постепенно размываясь, южный край острова отступает, а выносимый материал аккумулируется севернее.

Таким образом, одно из возможных объяснений наблюдаемой миграции пролива Анучина связано с изменениями потока наносов, обусловленными топографией дна. Зоны размыва и аккумуляции, по-видимому, также смещаются вслед за проливом, тем самым поддерживая этот процесс.

ШТОРМОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ДНА ЗАЛИВА НЫЙВО

Представляет интерес выяснить, насколько Ныйская лагуна подвержена воздействиям со стороны моря, и, в частности, оценить характер возникающих при этом штормовых деформаций дна. Волновые воздействия протекают на фоне прилива, нагона и сезонных колебаний уровня

моря. Судя по имеющимся данным [8], прилив в рассматриваемом районе суточный (период приливной волны 24 ч), а его характерная амплитуда составляет около 1 м. Что касается нагона, то его максимальное значение достигает 0.7–0.8 м.

Таблица 1. Средние параметры волн (\bar{H} и \bar{T}) на глубокой воде и их годовая продолжительность (t_w) и для основных направлений

\bar{H} , м	\bar{T} , с	t_w , ч			
		С	СВ	В	ЮВ
0.2	7	4	4	18	70
0.5	8	18	44	166	788
0.8	10	18	70	745	2681
1.1	10	35	140	1060	1656
1.4	10	35	158	210	210
1.7	10	18	79	79	70
2.0	10	5	35	44	26
2.3	10.5	4	18	26	18
2.7	11	3	7	18	10
3.0	11	2	4	11	4
3.3	12	—	3	10	4
3.6	12	—	1	6	3
3.9	12	—	1	4	1
4.2	12	—	2	4	1
4.5	12.5	—	—	2	—
4.8	13	—	—	2	—

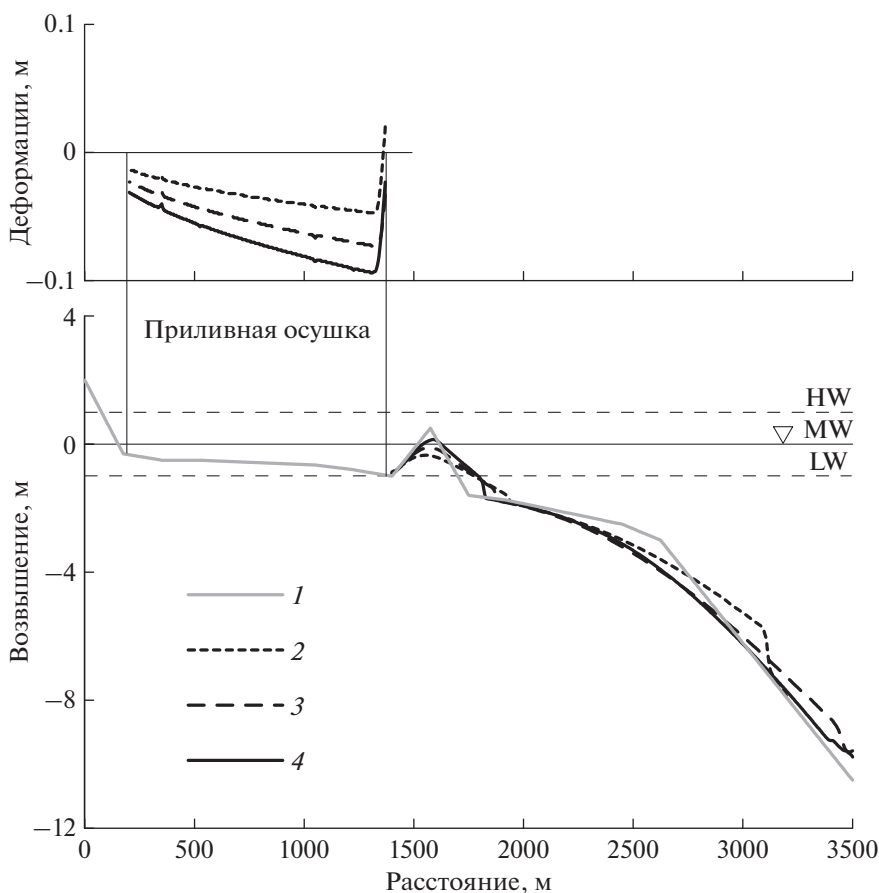


Рис. 4. Исходный профиль дна в районе пролива Анучина и его расчетные деформации при штормовом воздействии: 1 – исходный профиль, 2 – умеренный шторм, 3 – шторм 1 раз в год, 4 – шторм 1 раз в 10 лет.

Для расчетов штормовых деформаций использовалась модель CROSS-P [5, 6]. Моделировались воздействия умеренного шторма, сильного шторма с повторяемостью 1 раз в год и экстремального шторма с повторяемостью 1 раз в 10 лет. Параметры штормов, использованные при моделировании, отражены в табл. 2. Здесь n – период повторяемости, \bar{H} и \bar{T} – средняя высота и период волн на глубокой воде, W – скорость ветра, t_w – продолжительность шторма, η – высота нагона. К нагону добавлялась величина 0.15 м, соответствующая прибавке уровня в осенний сезон, когда вероятность экстремальных штормов наиболее высока.

Таблица 2. Параметры штормов, использованные при моделировании деформаций профиля дна

n , лет	\bar{H} , м	\bar{T} , с	W , м/с	t_w , ч	η , м
–	2.0	6.5	10	48	0.4
1	3.25	8.6	18	24	0.5
10	4.1	9.6	22	12	0.7

Приливные колебания уровня также принимались в расчет.

Исходный профиль дна через пролив Анучина, синтезированный на основе имеющихся батиметрических карт, показан на рис. 4. Как видно, профиль включает слабо наклоненную приливную осушку, отмель в центре пролива, мелководье с морской стороны пролива и свал глубин. Наряду со средним уровнем (MW) отмечены положения низкой (LW) и высокой воды (HW).

Результаты моделирования, приведенные на том же рисунке, показывают, что изменения затрагивают в основном внешнюю часть берегового профиля. Амплитуда деформаций, определяемая разностью начальной и конечной глубин в данной точке дна, достигает здесь 1 м.

Деформации дна во внутренней части залива показаны на отдельном графике в верхней части рис. 4. Как видно, остров и мелководье в проливе образуют преграду, ослабляющую воздействия на лагуну даже при значительном подъеме уровня за счет прилива и нагона. Деформации здесь не превышают 0.1 м. Однако во всех рассмотренных случаях имеет место размыв дна. Так, за один

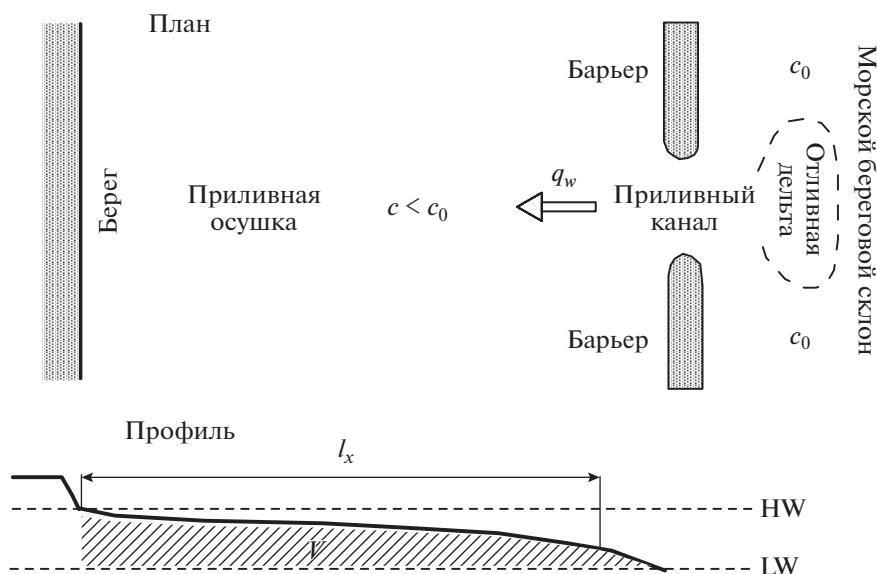


Рис. 5. Схема приливного залива и обозначения, используемые в модели.

шторм с периодом повторяемости 1–10 лет со дна залива выносятся 50–70 м³/м песка. Следовательно, сильные шторма способствуют углублению дна лагуны и уменьшают объем приливной осушки. Последняя выполняет защитную функцию, так как диссипирует энергию внешних воздействий. Наблюдаемый размыв берегов лагуны можно трактовать как следствие ослабления защиты при сокращении осушки.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРИЛИВНОГО ЗАЛИВА

Концепция модели. При моделировании системы, включающей Ныйский залив, пролив Анучина и морское побережье берегового барьера, за основу принят подход, примененный Ван Гором с соавторами [10] для описания эволюции приливных заливов у берегов Голландии. В данном случае основным объектом нашего интереса является объем наносов V , сконцентрированный в приливной осушке. Его изменения служат хорошим индикатором сохранности или деградации всей системы.

Ныйский залив представляет собой типичный приливной залив (tidal inlet), включающий ряд элементов (рис. 5): 1) морской береговой склон, с которого поступают наносы; 2) отливная дельта, где осаждаются материал, выносимый из залива во время отлива; 3) канал, соединяющий залив с морем и обеспечивающий питание залива наносами; 4) приливная осушка, где осаждаются поступающие со стороны моря наносы.

Взаимодействие элементов обеспечивает равновесие системы, которое, по существующим

представлениям, достигается при неизменном уровне моря. При повышении уровня для поддержания равновесия требуется дополнительный импорт наносов. Если его скорость согласуется со скоростью подъема уровня, то, в принципе, возможно новое равновесие. В противном случае система деградирует и затопляется, что, в частности, означает исчезновение приливной осушки, объем которой V определяется как количество осадков между уровнями низкой (LW) и высокой (HW) прилива (рис. 5).

Включение в анализ всех элементов системы, показанных на рис. 5, сильно усложняет задачу. В данном случае обсуждается упрощенная модель, где в качестве главного элемента выделяется приливная осушка, которая взаимодействует непосредственно с морским береговым склоном, т.е. с источником наносов на внешней стороне барьера. Предполагается, что внешний ресурс не меняется со временем.

Приток наносов в залив обеспечивается асимметрией приливных течений. Постепенное накопление материала приводит к морфологическим изменениям дна, которые, в свою очередь, стремятся уменьшить асимметрию прилива. Процесс со временем стремится к равновесию. Важным показателем является разница между фактическим количеством материала и тем, которое отвечает равновесию. Если сравнивать два связанных элемента, то избыток наносов в одном из них означает недостаток в другом, что вызывает перенос вещества в соответствии с физическим принципом диффузии. В рассматриваемом случае диффузионный поток наносов направлен от внешней границы системы внутрь залива.

Баланс наносов. Диффузионный транспорт наносов между элементами системы можно описать в терминах средней объемной концентрации наносов c . Заметим, что далее речь идет не о реальной концентрации, которую можно измерить каким-либо прибором, а о достаточно условной обобщенной величине, отражающей среднегодовой уровень энергии гидродинамических воздействий, присущий данному региону.

Если на внешней границе имеем среднюю концентрацию c_0 , а внутри залива $c < c_0$, то создается результирующий поток вещества в залив

$$q_w(c_0 - c), \quad (1)$$

где q_w — характерный расход воды в проливе между морем и заливом, обусловленный приливом (рис. 5). Величину c_0 в дальнейшем будем рассматривать как заданную на границе системы. Практически c_0 можно оценить отношением, в котором числитель представляет годовую сумму вдольбереговых расходов наносов, а знаменатель — сумму расходов воды вдоль берега [10].

Залив характеризуется своей равновесной концентрацией c_e , которая в общем случае отличается от c_0 и соответствует ей только при достижении равновесия. Если фактическая концентрация наносов в заливе превышает равновесную, $c > c_e$, то происходит осаждение материала с характерной скоростью w_s . Это приводит к увеличению объема приливной осушки:

$$\frac{dV}{dt} = l_x w_s (c - c_e), \quad (2)$$

где t — время, l_x — протяженность осушки (рис. 5). При повышении относительного уровня моря со скоростью w уровни низкой и высокой воды прилива также смещаются вверх, что вызывает уменьшение объема осушки на величину $l_x w$. Поэтому в общем случае уравнение баланса наносов (2) записывается в виде

$$\frac{dV}{dt} = l_x w_s (c - c_e) - l_x w. \quad (3)$$

Объем осаждаемого материала, определяемый первым слагаемым в правой части (3), должен соответствовать объему поступления наносов (1). Это приводит к соотношению

$$l_x w_s (c - c_e) = q_w (c_0 - c), \quad (4)$$

из которого определяется фактическая концентрация наносов в заливе:

$$c = \frac{q_w c_0 + l_x w_s c_e}{q_w + l_x w_s}. \quad (5)$$

При определении равновесной концентрации c_e будем исходить из того, что при постоянном уровне моря возможно равновесие, при котором

$c_e = c_0$, тогда как при подъеме уровня c_e должно уменьшаться, чтобы вызвать дополнительный приток наносов в залив. Этим требованиям, например, удовлетворяет зависимость

$$c_e = \left(1 - M \frac{w}{w_s}\right) c_0, \quad (6)$$

где M — коэффициент, регулирующий чувствительность c_e к изменению уровня.

Подставив соотношения (5) и (6) в уравнение (3), получим

$$\frac{dV}{dt} = \frac{l_x w_s}{K} (M - K) \frac{w}{w_s}, \quad K = \frac{q_w + l_x w_s}{q_w c_0}. \quad (7)$$

Пусть в начальный момент $t = 0$ объем осушки составлял $V^{(0)}$. Тогда после интегрирования (7) изменения V во времени выразятся как

$$\frac{V}{V^{(0)}} = 1 - (K - M) \frac{w}{w_s} \frac{t}{T}, \quad T = \frac{KV^{(0)}}{l_x w_s}, \quad (8)$$

где T — характерный временной масштаб.

Очевидно, при равенстве величин K и M объем осушки V будет сохраняться, т.е. система будет оставаться в равновесии. Этот случай, вероятно, реализуется только при незначительных скоростях изменения уровня. Вместе с тем известны примеры затопления приливных заливов у берегов Голландии в условиях голоценовой трансгрессии при скоростях подъема уровня около 8 мм/год [10]. В нашем случае относительный уровень, как уже указывалось, также довольно быстро повышается (до 5 мм/год). В таких условиях система, скорее всего, не успевает адаптироваться к изменяющимся условиям, и объем осушки должен постепенно уменьшаться, что подразумевает $M < K$. Далее попытаемся оценить скорость этого процесса.

Параметры модели и прогнозируемые тенденции. На основании имеющихся данных о батиметрии и характерной амплитуде прилива протяженность осушки и ее объем в настоящее время можно приблизительно оценить как

$$l_x = 10^3 \text{ м}, \quad V^{(0)} = 0.3 \times 10^3 \text{ м}^3/\text{м}.$$

Остальные характеристики зададим, используя аналогию с иными приливными заливами, в частности, заливами Amelanders Zeegat и Eierlandse Gat (Wadden Sea, Голландия), которые описаны в [10]. Их динамика, по-видимому, во многих отношениях сходна с динамикой Ныйского залива, что позволяет принять следующие значения параметров:

$$c_0 = 2 \times 10^{-4},$$

$$q_w = 10^{-1} \text{ м}^3 \text{ м}^{-1} \text{ с}^{-1} = 3 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{м}/\text{год},$$

$$w_s = 10^{-4} \text{ м} \text{ с}^{-1} = 3 \times 10^3 \text{ м}/\text{год}.$$

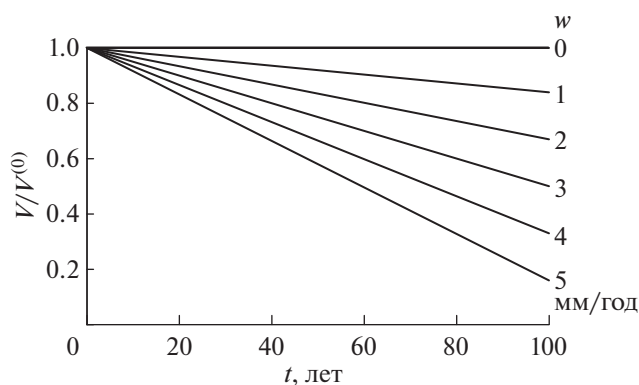


Рис. 6. Уменьшение объема приливной осушки (V) с течением времени (t) при различных скоростях повышения относительного уровня моря (w).

Как уже указывалось, скорость повышения относительного уровня в интересующем нас районе лежит в диапазоне $w = (0-5) \times 10^{-3}$ м/год, что означает

$$w/w_s = (1/3) \times (0-5) \times 10^{-6}.$$

При использовании приведенных значений параметров величина K и масштаб времени T в зависимости (8) определяются как

$$K = 10^4, \quad T = 1 \text{ год}.$$

Коэффициент M , как отмечалось выше, должен удовлетворять условию $M < K$. Однако его оценка вызывает определенные затруднения. Если, скажем, M существенно меньше K , то деградация осушки будет происходить с максимальной скоростью, а если M и K близки друг к другу, то изменения будут минимальными. Пока вопрос о величине M не решен, в качестве компромисса резонно допустить, что $M \approx 0.5K$.

На рис. 6 показано, как при этом условии будет изменяться объем приливной осушки на протяжении ближайших 100 лет при различных скоростях повышения относительного уровня. Как видно, при скорости 3 мм/год объем осушки через 100 лет составит лишь 50% от современного значения, а при скорости 5 мм/год объем уменьшится до 16%. Отклонения от расчетных значений могут быть довольно значительными ввиду неопределенности величины M .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Береговой участок Ныйского залива, расположенный напротив пролива Анучина, еще в прошлом веке был защищен от волн открытого моря южной частью о. Гафовича. Однако в настоящее время в результате размыва острова и миграции пролива Анучина данный участок испытывает непосредственное воздействие штормовых волн,

вызывающих размыв дна и берегов. Нарастание косы Пластун и миграция пролива в северном направлении обуславливается разгрузкой южного вдольберегового потока наносов у окончания косы, и, по-видимому, будут продолжаться. Поэтому через какое-то время интересующий нас берег может снова оказаться в тени, теперь уже косы Пластун. Однако в ближайшие десятилетия контакт с открытым морем будет сохраняться и берега залива будут подвергаться размыву.

Предложенная модель системы приливного залива основывается на сравнительно грубых оценках параметров системы. В частности, не учитывается вклад твердого речного стока, который, в какой-то мере, может замедлять процесс затопления залива. Однако, хотя сток взвеси, по оценкам, превышает 250 тыс. м³/год, заполнение залива речными осадками к настоящему времени в основном завершено. Наблюдаемые приливно-отливные ложбины, по сути, являются продолжением речных русел (с более активным реверсивным режимом), по которым большая часть речной взвеси выносится в море. То же относится и к влекомой части твердого стока (около 20 тыс. м³/год), оседающей в прибойной зоне. Поэтому, хотя в количественном плане полученные результаты весьма приблизительны, предсказанная тенденция к постепенной деградации приливной осушки не вызывает сомнений. В перспективе это приведет к усилению воздействий на берега залива со стороны моря, так как будет исчезать защитный пояс, в роли которого в настоящее время выступает осушка.

Еще одним последствием повышения относительного уровня моря будет отступление береговой линии залива. К сожалению, здесь трудно дать количественную оценку, так как известное правило Брууна [9], используемое для открытых побережий, в условиях приливного залива не применимо. С учетом малых уклонов и небольшого возвышения размываемых участков лайды, речь может идти о смещении береговой линии на десятки метров за столетие.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 14-17-00547) и РФФИ (проект № 15-05-08239).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В.В. Эволюция побережий морей Дальнего Востока в голоцене // Эволюция берегов в условиях поднятия уровня океана. М.: Изд-во МГУ, 1992. С. 160–174.
2. Афанасьев В.В. Геоморфологические аспекты проблемы защиты берегов приливных субарктических морей (на примере о. Сахалин) // Геоморфология. 2016 (в печати).
3. Володарский А.Н., Микушин Ю.А., Разова Г.Г. Эволюция и литодинамика пересыпи Чайво в позднем

- голоцене // Палеогеографические исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. С. 112–116.
4. Леонтьев И.О. Изменения береговой линии моря в условиях влияния гидротехнических сооружений // Океанология. 2007. Т. 47. № 6. С. 940–946.
 5. Леонтьев И.О. Морфодинамические процессы в береговой зоне моря. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 251 с.
 6. Леонтьев И.О., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю. Моделирование штормовых деформаций песчаного берега (на примере восточной части Финского залива) // Океанология. 2015. Т. 55. № 1. С. 147–158.
 7. Леонтьев И.О. Потоки наносов вдоль юго-восточного побережья Балтики // Геоморфология. 2015. № 1. С. 70–76.
 8. Путов В.Ф., Шевченко Г.В. Особенности приливного режима на северо-восточном шельфе острова Сахалин // Гидрометеорологические процессы на шельфе: оценка воздействия на морскую среду. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1998. С. 61–82.
 9. Bruun P. The Bruun rule of erosion by sea-level rise: a discussion on large-scale two- and three-dimensional usages // J. of Coastal Res. 1988. V. 4. № 4. P. 627–648.
 10. Van Goor M.A., Zitman T.G., Wang Z.B., Stive M.J.F. Impact of sea-level rise on the morphological equilibrium state of tidal inlets // Marine Geol. 2003. V. 202. P. 211–227.

Evolution of the North-East Sakhalin Lagoon-Coast by the Example of the Nyiskiy Inlet – Plastun Spit Coastal System

I. O. Leont'yev, V. V. Afanas'yev

Behavior of coastal system including the Nyiskiy Inlet (lagoon) and Plastun Spit is investigated by using the modeling of morphodynamic processes. Observed elongation of the Plastun Spit and displacement of the Anuchin Strait are explained by the changes in alongshore sediment flux transporting material to the end of spit from the south direction. It is shown that severe storms accompanied by a surge and tide tend to deepen the lagoon bed. The model of a tidal inlet system is suggested to describe the evolution of tidal flats under conditions of a relative sea-level rise. It is concluded that over period of 100 years the volume of tidal flats can decrease by several times. This trend will accelerate erosion of the inlet coasts due to decrease in dissipation of the energy incoming from an open sea.