

ОЦЕНКА ЗАНОСИМОСТИ ПОДХОДНОГО И МОРСКОГО КАНАЛОВ К ПОРТУ В ПОСЕЛКЕ САБЕТТА ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ

канд. геол.-минерал. наук Е.А.ЛОГВИНА^{1,2}, зав. сектором В.А.ГЛАДЫШ^{1,2},
канд. физ.-мат. наук Н.В.КУБЫШКИН³, науч. сотр. А.В.НЕСТЕРОВ³,
науч. сотр. Р.А.ВИНОГРАДОВ³

¹ – ФГУП «ВНИИОкеангеология им.И.С.Граммберга», Санкт-Петербург, e-mail: liza_logvina@mail.ru

² – АО «НПП «ЛЕНАРК»», Санкт-Петербург

³ – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: kuba@aari.ru

В статье представлены результаты расчетов заносимости подходного и морского каналов к проектируемому крупнейшему в арктическом регионе РФ порту по отгрузке природного газа (сжиженного природного газа и газового конденсата) в пос. Сабетта полуострова Ямал. Расчеты основаны на комплексе данных гидрометеорологических (гидрологических), морфо-литодинамических и геолого-геоморфологических исследований. Использованы данные изысканий в северной части Обской губы (полуостровов Ямал и Явай) вплоть до 2012 г. Средние значения величины годового слоя наносов, рассчитанные для абсолютных глубин «–12 м БС-77» и «–16 м БС-77» в подходном и морском каналах составили 0,189 м, 0,211 м и 0,055 м, 0,229 м соответственно.

Ключевые слова: заносимость, морской канал, подходной канал, влекомые наносы, взвешенные наносы, аккумуляция, полуостров Ямал, Обская губа, природный газ.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие морской инфраструктуры, связанной с морскими гидротехническими сооружениями, невозможно без строительства и реконструкции подходных каналов. В свою очередь строительство глубоких протяженных каналов, их эксплуатация в мелководных акваториях на шельфе и в дельтах рек неразрывно связаны с процессами заносимости. Поддержание объявленных глубин на подходах к портам и в каналах определяется объемами дноуглубительных работ. Недостаточная изученность и поспешные решения, принятые на этапе проектирования, могут привести к неоправданно большим затратам на дноуглубительные работы как на этапе строительства, так и в процессе эксплуатации. Перечисленные факторы, безусловно, определяют актуальность исследований процессов заносимости морских подходных каналов.

Формированию современных осадочных отложений, перемещению и отложению наносов способствуют литодинамические и гидродинамические процессы, сочетающие в себе множество различных факторов, учет которых необходим при любом строительстве. Изменение скорости, направления, кинематической структуры и характера взаимодействия со смежными потоками влияет на вид движения наносов,

транспортирующих осадочный материал. Морфологические особенности морского дна, геометрическая форма и гидравлическая крупность частиц, их шероховатость, связанность с частицами, лежащими на дне; сопротивление частиц при движении; физическая плотность вещества частиц и вязкость среды, зависящей от температуры и солености морской воды; средняя и придонная скорость морских течений, распределение этих скоростей по глубине и ширине водной толщи, степень и структура турбулентности по глубине и ширине, циркуляционные течения, характеристики поля волн в акватории и другие – все это определяет механизм взвешивания частиц [Гончаров, 1938; Великанов, 1948; Гришин, 1982; Анциферов, Косьян, 1986; Илюшин, 2008].

В зависимости от характера передвижения в поступательном и волновом потоке, различают влекомые (донные – перекачиваемые), полувзвешенные (придонные, передвигающиеся скачкообразно – сальтацией) и взвешенные наносы. Заносимость каналов является результатом перемещения влекомых и осаждения взвешенных и полувзвешенных наносов в потоке. Величины заносимости морских каналов определяются зависимостью от различных объективных условий, таких как: глубина канала, глубина прорези канала и акватории в целом, ориентация, ветроволновой режим, скорость и направление течений, уровенные денивеляции, состав и свойства донных грунтов, различные характеристики морских (речных) вод и другие.

Полуостров Ямал с прилегающими к нему территориями является одним из перспективнейших регионов нефте- и газодобычи на Севере, где только запасы газа превышают 15 трлн м³. В планах Правительства РФ и Минтранса России – развитие этого региона как одного из ключевых центров освоения морских месторождений нефти и газа и формирования современной портовой инфраструктуры. В рамках международного инвестиционного проекта «Ямал СПГ» на основе ресурсной базы Южно-Тамбейского месторождения в районе поселка Сабетта предполагается создать крупнейший в арктическом регионе терминал по отгрузке природного газа (сжиженного природного газа и газового конденсата). В отдельный проект выделено развитие морской инфраструктуры, включающее создание судоходного морского канала в северной части Обской губы [Минин, 2011].

Таблица 1

Координаты расчетных точек заносимости в районах подходного и морского каналов к проектируемому порту в поселке Сабетта

№ точки	Координаты, UTM, зона 42		№ точки	Координаты, UTM, зона 42	
	X, м	Y, м		X, м	Y, м
Подходной канал к порту в пос. Сабетта			Морской подходной канал, Обская губа		
P1	610896	7911596	P10	642620	8011764
P2	611584	7912322	P11	645406	8015916
P3	612272	7913047	P12	648192	8020068
P4	612961	7913772	P13	650979	8024219
P5	613649	7914498	P14	653765	8028371
P6	614338	7915223	P15	656551	8032523
P7	615026	7915948	P16	659337	8036675
P8	615392	7916334	P17	662123	8040827
			P18	664909	8044979
			P19	667695	8049131
			P20	670481	8053282
			P21	670816	8053782

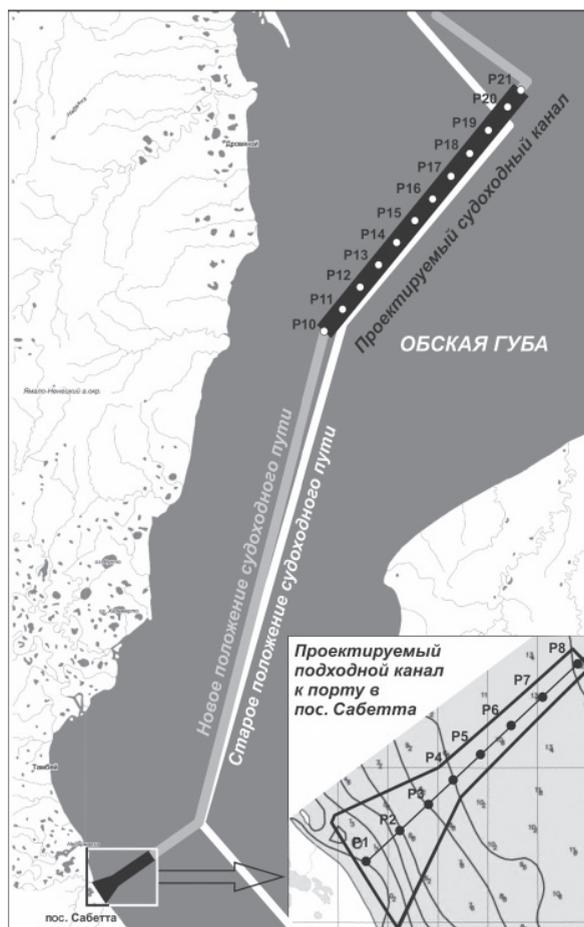


Рис. 1. Карта-схема расположения подходного (на врезке) и морского судоходных каналов к порту в пос. Сабетта полуострова Ямал.

Целью настоящих исследований является характеристика процессов заносимости подходных каналов к проектируемому порту в поселке Сабетта (рис. 1) на основании полевых и расчетных данных. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: а) на основании геолого-геофизических и геодезических исследований описать морфологические особенности дна и берегов, оценить характер аккумуляций и размыва, выявить области сноса и литологию донных отложений; б) по данным гидрометеорологических (гидрологических) исследований оценить ветроволновой режим, скорости и направления течений, уровенные изменения вод; в) подобрать и применить наиболее эффективную методику расчета заносимости каналов с привлечением известных методов и формул [Руководство..., 1975; Сидорчук, 1990; Белолипецкий, Генова, 2004; Илюшин, 2008 и др.]; г) рассчитать величину годового слоя осажденных взвешенных, полувзвешенных и влекомых наносов для отметок глубин «-12 м БС-77» и «-16 м БС-77» (относительно Балтийской Системы высот 1977 г.) в выбранных точках P1–P8 (табл. 1; рис. 1, 2) для подходного и морского каналов – P10–P21 (табл. 1; рис. 1) к порту в пос. Сабетта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы материалы гидрометеорологических (гидрологических), морфо-литодинамических и геолого-геоморфологических исследований в северной части Обской губы, полуостровов Ямал и Явай. Анализ гидрометеорологической (гидрологической) обстановки проведен на основании архивных, опубликованных данных и материалов многолетних натуральных наблюдений, полученных в ходе экспедиционно-полевых работ ГНЦ РФ ААНИИ вплоть до 2012 г. а также сведений о морфо-литодинамических, геолого-геоморфологических и литологических особенностях региона получены при комплексном анализе архивных, опубликованных данных и материалов собственных полевых исследований проведенных в 2010–2011 гг. На рис. 2 приведена карта-схема, использованная в работе.

При проведении расчетов годового слоя осадения наносов в районе подходного канала к порту в пос. Сабетта, твердый сток р. Сабетаяха не учитывался, ввиду недостаточной изученности этого вопроса. В частности, по модельным расчетам, проведенным ГНЦ РФ ААНИИ, где учитывался модуль годового стока (9,49 л/с·км²), среднегодовой сток (0,50 км³), среднегодовой сток взвешенных наносов до 12,5–25 тыс. т (при значениях мутности 25–50 г/м³, в соответствии со сводной картой средней мутности рек СССР) и объемный вес наносов (2,65 г/см³), средний объемный годовой сток взвешенных наносов реки оценивается в 7,07 тыс. м³ (от 4,72 до 9,43). Нет уверенности, что полученные значения реально отражают величину объема твердого стока р. Сабетаяха. Вероятно, расчетные величины занижены, так как при моделировании учитывались не все особенности гидродинамической сезонной изменчивости (ввиду недостаточной изученности). Проведение исследований

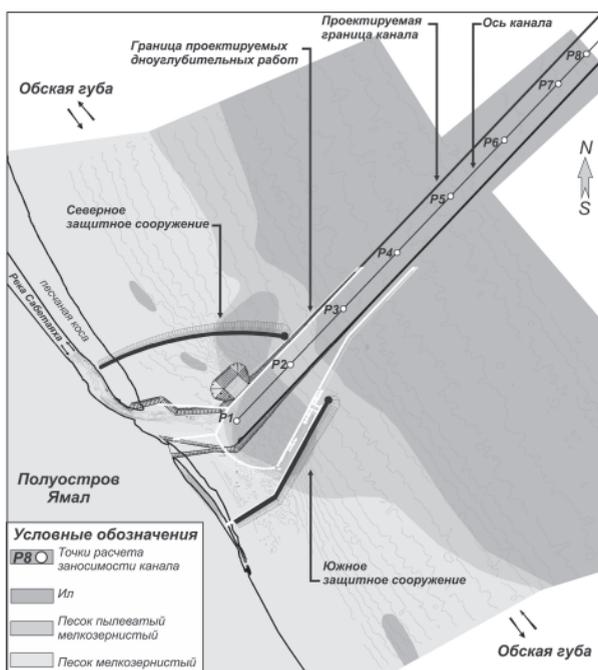


Рис. 2. Карта-схема грунтов и проектируемых портовых сооружений в районе предполагаемого строительства подходного канала к порту в пос. Сабетта.

на р. Сабетаяха, в том числе и направленных на оценку твердого стока, намечено на ближайшее время.

Оценка заносимости морских каналов проводилась по методикам, основные из которых приведены в «Руководстве по методам исследований и расчетов перемещения наносов» [Руководство..., 1975]. Методические разработки, позволяющие оценить степень заносимости отдельно для взвешенных и отдельно для влекомых наносов, представляются нам наиболее эффективными. Существующие многочисленные методы расчета движения наносов и заносимости все же являются приближенными, и нет уверенно обоснованных способов расчета отложения и транзита наносов конкретных объектов. Нормативная база по проектированию морских каналов в части расчетов заносимости не устанавливает требований к конкретным методам. Оценка величин влекомых (донных) наносов базируется на формуле, предложенной Л.А.Логачевым [Руководство..., 1975] учитывающей влияние обеспеченности штормов с глубиной канала до 13 м [ВСН 19-70, РД 31.31.47-88]. В.Г.Мирошниченко [1982] были установлены граничные критерии, позволяющие применять этот метод для каналов с глубинами более 13 м. Расчеты заносимости для отметок глубин «–16 м БС-77» (относительно Балтийской Системы высот 1977 г.) проводились с учетом рекомендованных критериев.

РАСЧЕТ ГОДОВОГО СЛОЯ ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ И ПОЛУВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

Транспортирующая способность потока – предельное весовое количество перемещаемых потоком взвешенных и полувзвешенных наносов – выражается в единицах мутности (S) и зависит от гидравлических характеристик потока (уклона, скорости, глубины) и состава наносов. Поток в размываемом канале насыщается наносами до величины транспортирующей способности, и, если мутность больше, наносы осаждаются. Критическая мутность зависит от уклона, скорости, глубины потока и состава наносов. Изменение концентраций примесей вдоль потока обусловлено как изменением глубины и средней скорости течения, так и взаимодействием водного потока с донными отложениями [Белолипецкий, Генова, 2004]. Установлено, что средняя мутность в Обской губе снижается вниз по течению от 160 до 40 г/м³ [Барышников, Виноградов, 1969]. Полученные значения мутности при измерении в заданных точках в двух районах (табл. 1) приведены в табл. 2 и 3.

Скорость осаждения взвешенных и полувзвешенных наносов в спокойной воде определяется гидравлической крупностью наносов (W_g) и зависит от размеров и формы частиц, их удельного веса и температуры воды (табл. 2, 3). Концентрация взвеси (мутность) также влияет на гидравлическую крупность частиц. Гидравлическая крупность определяется по выражению (1) Дж. Г. Стокса [Росинский, Дебольский, 1980]:

Таблица 2

Результаты расчета годового слоя осаждения взвешенных наносов в районе строительства подходного канала к порту в пос. Сабетта

Значение	№ точки							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
S , мг/л	29,6	10,4	11,6	12,3	10,8	11,3	9,8	9,8
T , С°	10,5	8,5	8,4	8,9	9,2	7,6	7,2	7,2
W_g , м/с	0,001	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$m_{год}$, кг	0,0025	0,0221	0,0010	0,0010	0,0009	0,0010	0,0008	0,0008
$H_{год}$, см	1,9	16,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6

**Результаты расчета годового слоя осаднения взвешенных наносов
в районе строительства морского канала, Обская губа**

Значение	№ точки					
	P10	P11	P12	P13	P14	P15
S , мг/л	22,2	33,9	32,5	28,8	17,4	3,7
T , С°	6,1	6,1	6,0	6,1	5,8	5,6
W_g , м/с	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$m_{год^2}$, кг	0,0028	0,0042	0,0041	0,0036	0,0022	0,0005
$H_{год^2}$, см	2,1	3,2	3,1	2,7	1,6	0,3

Значение	№ точки					
	P16	P17	P18	P19	P20	P21
S , мг/л	0,8	10,7	10,8	0,5	7,5	7,5
T , С°	5,4	5,2	5,8	5,3	4,3	4,3
W_g , м/с	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
$m_{год^2}$, кг	0,0001	0,0013	0,0014	0,0001	0,0009	0,0009
$H_{год^2}$, см	0,1	1,0	1,0	0,0	0,7	0,7

$$W_g = \frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} \frac{g}{18\nu} d^2, \quad (1)$$

где ρ_a – плотность воды (1 т/м³ [РД 31.31.27-81]), ρ_s – плотность частиц (2,65 т/м³ [РД 31.31.27-81]), g – ускорение свободного падения (9,8 м/с²), ν – коэффициент кинематической вязкости, d – диаметр частиц.

Транспортирующая способность потока зависит от средней по глубине скорости течения воды, глубины и гидравлической крупности. Существует нижний предел скорости начала подвижности при крупности наносов около 0,2 мм и мельче минимальная предельная скорость не уменьшается [Абальянц, 1981]. Таким образом, $d \geq 0,2$ мм.

Взвешивающая скорость (v_b) потока – вертикальная составляющая скорости в потоке, обеспечивающая перемещение твердых частиц. Наносы перемещаются вверх, если $v_b > W_g$. При $v_b < W_g$ наносы перемещаются вниз и осаждаются на дно – происходит процесс заиления русла. Взвешивающая скорость зависит от продольной скорости. Осаждение взвешенных наносов происходит круглогодично и преимущественно в периоды «кроткой воды». При этом учитываются особенности скоростной структуры водных масс Обской губы и гидравлическая крупность наносов или скорость осаднения взвешенных наносов в спокойной воде. Средние скорости течений (V_a) составляют 0,72 м/с в районе строительства подходного канала к порту в пос. Сабетта и 0,49 м/с в районе строительства морского канала в Обской губе. Расчет периода осаднения частиц $T_{год}$ производится по формуле (2):

$$T_{год} = \frac{G_s}{2\pi} 4 \arcsin \left(\frac{W_g}{V_a} \right), \quad (2)$$

где G_s – один календарный год в секундах. Основная продолжительность периода осаднения составляет 85162 с для подходного канала к порту в пос. Сабетта, а для морского канала в Обской губе – 125136 с.

Масса частиц взвеси, осевших на 1 м² дна (ω) за период $T_{год^2}$ определяется выражением (3):

$$m_{\text{год}} = W_g \omega ST_{\text{год}} \cdot 10^{-5}. \quad (3)$$

Плотность донных отложений (ρ), зависящая от пористости грунта (σ), рассчитывается по формуле (4):

$$\rho = (1-\sigma)\rho_s + \sigma\rho_v, \quad (4)$$

где ρ_s – плотность частиц (2,65 т/м³) и ρ_v – плотность воды (1 т/м³) [РД 31.31.27-81]. Исходя из собственных полученных данных по гранулометрическому составу поверхностных отложений (рис. 2), пористость грунтов из взвеси, осевшей на дно (σ), принята равной 0,8 [РД 31.31.27-81]. Таким образом, усредненная величина плотности донных отложений (ρ) составляет 1,33 кг/м³. Объем взвеси $V_{\text{год}}$ (м³), осевшей на 1 м² дна за период $T_{\text{год}}$, оценен по формуле (5):

$$V_{\text{год}} = m_{\text{год}}/\rho. \quad (5)$$

Таким образом, рассчитанные годовые мощности слоя взвеси ($H_{\text{год}}$), осевшей на дно в течение года в районе строительства подходного канала к порту в пос. Сабетта, варьируют в пределах от 0,6 до 16,6 см и от 0 до 3,2 см в районе строительства морского канала в Обской губе (табл. 2, 3).

РАСЧЕТ ГОДОВОГО СЛОЯ ВЛЕКОМЫХ (ДОННЫХ) НАНОСОВ

Для расчета слоя осаждения и динамики влекомых наносов необходимо знать такие параметры, как гранулометрический состав, плотность донных отложений, коэффициент эффективной вязкости (ν_0) и начальное напряжение сдвига (τ_0). Последняя величина оценена с использованием допустимой (неразмывающей) скорости (u_n) по формуле (6) [Мирицхулава, 1988], выраженной через динамическую скорость:

$$\tau_0 = \rho(u_n^2/C_{\text{ш}}^2), \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения, $C_{\text{ш}}$ – коэффициент Шези, определяемый по формуле Г.В.Железнякова [Руководство..., 1975] (7) для каналов (русел) с неоднородной шероховатостью по периметру и любыми значениями n и R :

$$C_{\text{ш}} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0,13} (1 - \lg R) + \sqrt{\frac{1}{4} \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0,13} (1 - \lg R) \right]^2 + \frac{\sqrt{g}}{0,13} \left(\frac{1}{n} + \sqrt{g} \lg R \right)} \right], \quad (7)$$

где n – коэффициент шероховатости, характеризующий состояние поверхности канала, а R – гидравлический радиус. При этом неразмывающая скорость потока (u_n) определяется выражением (8) Г.И.Шамова [Шамов, 1954], применимым для среднего диаметра донных наносов:

$$u_n = 6d^{1/3}h^{1/6}, \quad (8)$$

Полученные величины начального напряжения сдвига варьируют в пределах 0,47...0,52 кг/м·с².

Для сопоставления величин заносимости разных каналов введен безразмерный коэффициент p , представляющий отношение толщины годового слоя наносов (δ) к глубине прорези канала (H_n), формула (9):

$$p = \delta/H_n. \quad (9)$$

Значения коэффициента p были получены Л.А.Логачевым [Руководство..., 1975] для всех морских каналов на территории бывшего СССР, и установлено, что значение коэффициента может быть принято одно для всего канала. Расчет среднего для всего канала и отвечающего многолетней норме коэффициента p , учитывающего:

коэффициент α (отвечающий составу и свойствам грунтов, слагающих морское дно и бровки канала), высоту волны (h_b – с обеспеченностью 1 % повторяемостью 1 раз в 25 лет в системе волн и 4–5 % в режиме волнения) и глубину канала (H_0), проводится по формуле (10), предложенной Л.А.Логачевым [Руководство..., 1975]:

$$p = \alpha h_b / (H_0)^{1/2}. \quad (10)$$

Значения коэффициента α для каналов, проложенных у берегов, где существуют условия для полного насыщения потока наносами, рекомендованы: 0,5 – для илов, 0,4 – для заиленных песков и 0,3 – для песков. При дефиците наносов и для каналов, проложенных под острым углом к берегу, рекомендовано значение 0,15 [РД 31.31.27-81]. Коэффициент p позволяет определить толщину годового слоя отложившихся на дне канала наносов в любом месте канала, а следовательно, и объем наносов. Для учета объема наносов, откладывающихся на установившихся боковых откосах канала, полученные объемы рекомендуется принимать с коэффициентами 1,1 – для илистых грунтов и 1,2 – для песчаных наносов [РД 31.31.27-81].

Основываясь на выражениях (9) и (10), годовой слой влекомых наносов (δ) выражается формулой (11):

$$\delta = \alpha H_p h_b / (H_0)^{1/2}. \quad (11)$$

Вследствие изменений гидрометеорологических и геоморфологических условий величины заносимости морских каналов изменяются в широких пределах, приближенно одинаковых для всех морских каналов. Соотношение годовых слоев наносов в канале (в долях от нормы) разной обеспеченности приведено в Руководстве [1975].

В связи с тем, что акватория Обской губы является замерзающей, заносимость каналов влекомыми наносами определяется при экстремальных значениях волнения за безледный период. По данным многолетних наблюдений в районе ГМС Тамбей, продолжительность безледного периода, определяющегося начальной датой окончательного очищения акватории ото льда 27 июля и датой первого полного замерзания 22 октября, составляет 88 суток. По результатам анализа архива ледовых карт ГНЦ РФ ААНИИ, составляемых по данным искусственных спутников Земли (видимый, ИК-диапазоны, радарные снимки), судовых наблюдений и полярных станций за последние пять лет (2007–2012 гг.), датой очищения акватории ото льда вблизи пос. Сабетта и в районе строительства морского канала следует принимать 20 июля. Датой среднего значения ледообразования и становления льда – 30 октября. Таким образом, продолжительность безледного периода принята равной 103 суткам (с 20 июля по 30 октября).

Для корректного использования формулы (11) вводится дополнительный множитель – коэффициент λ_p , учитывающий продолжительность безледного периода ($T_b = 103$ суток) при общей протяженности года $T = 365$ суток. Определение заносимости влекомыми донными наносами проводится по преобразованной формуле (12):

$$\delta = \alpha \lambda_p H_p h_b / (H_0)^{1/2}. \quad (12)$$

Расчетные значения множителя λ_p составили: 0,0329 – июль, 0,0849 – август, 0,0822 – сентябрь, 0,0822 – октябрь и 0,2822 – всего за год. Значение коэффициента α для каждой расчетной точки определено исходя из типа и свойств донных грунтов, слагающих дно акватории по оси и по бровкам проектируемых каналов (рис. 2, табл. 4).

Расчет экстремальных высот волн 1 % обеспеченности проведен на основании данных, накопленных за 22 летний период гидрометеорологических наблюдений и по результатам последующего моделирования. Значения параметров волн были

линейно экстраполированы для расчетных точек с доверительной вероятностью 10 %. Параметры волнового режима определены для ветров северных направлений, доминирующих в безледный период времени. Экстремальные значения высоты волн соответствуют экстремальным ветрам и максимальным нагонным значениям уровня. Колебания уровня моря в северной части Обской губы определяются приливами, сгонно-нагонными явлениями и колебаниями речного стока. Приливы в целом имеют полусуточный характер.

В районе пос. Сабетта средний уровень за безледный период составляет «-0,16 м БС-77», максимальный размах – 201 см, а максимальный уровень «+0,84 м БС-77». В районе строительства морского подходного канала находятся три ныне не действующие гидрометеорологические станции (ГМС). «Ноль» на ГМС Тамбей равен «-5,0 м БС-77», на ГМС Дровяной принят «-1,51 м БС-77» и на ГМС им. 60-летия ВЛКСМ – «-4,5 м БС-77». ГМС Дровяной расположена северо-западной района строительства морского подходного канала. Максимальный размах колебаний суммарного уровня составляет 3,1 м [Люция..., 2011].

Значение отметки НТУ для м. Дровяной «-1,2 м БС-77». Следовательно, максимальные значения уровня составляют «+1,9 м БС-77». ГМС Тамбей расположена на юго-западе от района строительства морского подходного канала в северной части Обской губы. Среднегодовые уровни воды по посту Тамбей составляют «-0,27 м

Таблица 4

Расчетные значения параметров для определения заносимости каналов

№ точки	Наименование грунтов	α	Глубина по оси канала, м БС-77	Глубина канала «-12 м БС-77»*	Глубина канала «-16 м БС-77»*
Подходной канал к порту в пос. Сабетта					
P1	Песок илистый	0,4	-2,1	9,9	13,9
P2	Песок илистый	0,4	-8,2	3,8	7,8
P3	Ил	0,5	-10,0	2,0	6,0
P4	Ил	0,5	-11,3	0,7	4,7
P5	Ил	0,5	-12,2	–	3,8
P6	Ил	0,5	-13,7	–	2,3
P7	Ил	0,5	-14,5	–	1,5
P8	Ил	0,5	-15,6	–	0,4
Морской подходной канал, Обская губа					
P10	Ил	0,5	-15,8	–	0,2
P11	Ил	0,5	-14,3	–	1,3
P12	Ил	0,5	-13,2	–	2,8
P13	Ил	0,5	-12,4	–	3,6
P14	Ил	0,5	-11,7	0,3	4,3
P15	Ил	0,5	-11,5	0,5	4,5
P16	Ил	0,5	-11,3	0,7	4,7
P17	Ил	0,5	-11,3	0,7	4,7
P18	Ил	0,5	-12,2	–	3,8
P19	Ил	0,5	-13,5	–	2,5
P20	Ил	0,5	-14,9	–	1,1

Примечание. *– значения уровней воды представлены относительно наинизшего теоретического уровня (НТУ) к Балтийской системе высот 1977 года (БС-77).

БС-77», значения минимальных годовых уровней – «–1,49 м БС-77», а наивысшие уровни отмечены в июле «+0,9 м БС-77», августе «+0,84 м БС-77», сентябре «+1,08 м БС-77» и октябре «+1,02 м БС-77». Вблизи северо-западного побережья Обской губы у м. Дровяной наблюдались максимальные колебания уровней, при этом минимальные амплитудные колебания зафиксированы на Гыданском побережье на ГМС им. 60-летия ВЛКСМ.

Таким образом, для района строительства морского подходного канала принят расчетный наивысший уровень при экстремальном шторме и при ветрах северных направлений с учетом максимальных нагонов в период прилива средней амплитуды. Расчетная величина максимального уровня принята как средняя между максимальными уровнями, зафиксированными на ГМС Тамбей и Дровяной помесечно: «+1,31 м БС-77» для июля, «+1,25 м БС-77» для августа, «+1,49 м БС-77» для сентября и «+1,44 м БС-77» для октября. Полученные усредненные значения заносимости морского и подходного канала к порту пос. Сабетта влекомыми наносами помесечно и за весь безледный годовой период приведены в табл. 5.

Таблица 5

Расчетные средние значения слоя влекомых наносов вдоль каналов

Район	Период									
	июль		август		сентябрь		октябрь		сумма за год	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Подходной канал к порту в пос. Сабетта	0,016	0,021	0,042	0,055	0,040	0,053	0,040	0,053	–	0,183
Морской подходной канал, Обская губа	0,006	0,025	0,014	0,065	0,014	0,063	0,014	0,063	–	0,215

Примечание: 1 – высота наносов в канале (м), при дноуглублении «–12 м БС-77», 2 – высота наносов в канале (м), при дноуглублении «–16 м БС-77».

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ГОДОВОГО СЛОЯ ВЛЕКОМЫХ И ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

Значения годового слоя наносов в подходном канале к порту в пос. Сабетта снижаются при удалении от дельты р. Сабетаяха: от 0,044 до 0,320 м при глубине канала «–12 м БС-77» и от 0,030 до 0,388 м при «–16 м БС-77». Такое распределение наносов объясняется значительным влиянием стока р. Сабетаяха. Величины годового слоя наносов в морском подходном канале на севере Обской губы увели-

Таблица 6

Величины годового слоя наносов при различных глубинах каналов

№ точки	Влекомые наносы, мощность, см		Взвешенные наносы	Суммарная высота наносов в канале, см	
	«–12 м БС-77»	«–16 м БС-77»		«–12 м БС-77»	«–16 м БС-77»
Подходной канал к порту в п. Сабетта					
P1	0,301	0,369	0,019	0,320	0,388
P2	0,129	0,231	0,166	0,295	0,397
P3	0,090	0,237	0,007	0,097	0,244
P4	0,036	0,211	0,008	0,044	0,219

Величины годового слоя наносов при различных глубинах каналов

№ точки	Влекомые наносы, мощность, см		Взвешенные наносы	Суммарная высота наносов в канале, см	
	«-12 м БС-77»	«-16 м БС-77»		«-12 м БС-77»	«-16 м БС-77»
P5	–	0,185	0,007	-	0,192
P6	–	0,120	0,007	-	0,127
P7	–	0,085	0,006	-	0,091
P8	–	0,024	0,006	-	0,030
Среднее значение по длине канала				0,189	0,211
Морской подходной канал, северная часть Обской губы					
P10	–	0,016	0,021	-	0,037
P11	–	0,132	0,032	-	0,164
P12	–	0,215	0,031	-	0,246
P13	–	0,274	0,027	-	0,301
P14	0,026	0,325	0,016	0,042	0,341
P15	0,043	0,340	0,003	0,046	0,343
P16	0,060	0,353	0,001	0,061	0,354
P17	0,060	0,352	0,010	0,070	0,362
P18	–	0,283	0,010	-	0,293
P19	–	0,185	0,001	-	0,186
P20	–	0,081	0,007	-	0,088
P21	–	0,030	0,007	-	0,037
Среднее значение по длине канала				0,055	0,229

чиваются к его центральной части (до 0,362 м, при глубине канала «-16 м БС-77»). Это, вероятно, связано с тем, что здесь канал пересекает область маргинального фильтра. Рассчитанные отдельно, суммарные и осредненные величины годового слоя влекомых (донных) и взвешенных (полувзвешенных) наносов в каналах приведены в табл. 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований на основании полевых и расчетных данных были охарактеризованы процессы заносимости подходных каналов к проектируемому порту в пос. Сабетта. Получены значения годового слоя отложений для двух вариантов дноуглубления «015012 м БС-77» и «-16 м БС-77» (табл. 6). При проведении расчетов были приняты во внимание морфологические особенности дна и берегов, характер аккумуляций и размыва, положение областей сноса и литологические особенности донных отложений, ветроволновой режим, скорости и направления течений, уровенные изменения вод. Подобрана и применена наиболее эффективная методика расчета заносимости каналов, основанная на известных методах и формулах, учитывающая передвижение влекомых (донных) наносов под воздействием экстремального волнения моря и осаждения взвешенных и полувзвешенных наносов в период отсутствия значительных течений. Используемая вычислительная методика может быть рекомендована для расчетов в смежных районах.

Наибольшие значения годового слоя наносов в морском подходном канале севера Обской губы, так же как и в подходном канале к порту, приурочены к области максимальной высоты кромок канала. На основании проведенных расчетов, максимальные значения величины наносов в морском подходном канале не должны превысить 0,07 м при дноуглублении до отметки «–12 м БС-77», и 0,36 м при «–16 м БС-77». В мелководной зоне рассчитанная величина наносов варьирует от 0,29 до 0,32 м в год при дноуглублении «–12 м БС-77г» и от 0,39 до 0,40 м в год при «–16 м БС-77». Такие высокие значения годового слоя наносов для данной области обеспечиваются не столько величиной экстремального волнения, сколько высотой кромок канала, обусловленной формированием аккумулятивной формой (стрелкой) в устье р. Сабетаяха.

Полученные значения по годовому слою наносов для обоих каналов несколько ниже усредненных для гидротехнических сооружений на различных акваториях РФ (1,06–0,55 м [Лебедев и др., 1996]). Возможными причинами этого могут быть небольшая продолжительность безледного и штормового периодов, в течение которых происходит передвижение основных масс влекомых наносов, вносящих наибольший вклад в суммарную величину. Не исключено, что полученные в скором будущем данные по твердому стоку р. Сабетаяха позволят переоценить заносимость подходного канала к порту. Опираясь на известные модельные расчеты, можно предположить значительное увеличение расчетных значений годового слоя наносов в прибрежной мелководной зоне.

Проблема заносимости морского подходного канала в северной части Обской губы может быть решена только путем принятия специальных технических решений. Объемы наносов в прибрежной части подходного канала и акватории порта можно снизить при условии устранения основных причин заносимости – штормовых волн и твердого стока р. Сабетаяха. На наш взгляд, оптимальным решением является возведение комплекса защитных сооружений с отводом речных вод, предложенное Г.К.Зубакиным с коллегами (рис. 2).

Безусловными преимуществами данного решения являются нейтрализация воздействия речных вод, что позволит снизить скорость приливных течений в районе вспомогательных причальных сооружений с минимальными колебаниями уровня и защитить акваторию порта от паводкового стока реки (течения и подъем уровня), а также исключение воздействия жидкого и твердого стока р. Сабетаяха. При этом учитываются неравномерное распределение и интенсивность заносимости района в течение года, особенно в безледный период, когда отложение наносов с наружной стороны северного защитного сооружения в районе примыкания его к берегу максимально.

Здесь же предлагается соорудить отводное русло реки, направив его в обход акватории порта. Расположение и конфигурация нового русла должны исключить сужение его сечения в весенний период. Это должно предотвратить возможное подтопление близлежащих низменных территорий в период паводка (до 90 % годового стока реки). Кроме того, аргументом в пользу предложенного защитного комплекса является экологическая безопасность.

В целом проведенные комплексные исследования и анализ их результатов позволяют получить наиболее полную на сегодняшний день картину по заносимости подходных каналов к проектируемому порту в поселке Сабетта полуострова Ямал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абальянц С.Х.* Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 238 с.
- Анциферов С.М., Косьян Р.Д.* Взвешенные наносы в верхней части шельфа. М.: Наука, 1986. 224 с.
- Барышников Н.Б., Виноградов В.В.* Сток взвешенных наносов рек бассейна Средней Оби // Тр. ЛГМИ. 1969. Вып. 26. С. 89–99.
- Белопитецкий В.М., Генова С.Н.* Вычислительный алгоритм для определения динамики взвешенных и донных наносов в речном русле // Вычислительные технологии. 2004. Т. 9. № 2. С. 9–25.
- Великанов М.В.* Движение наносов. М.: Изд-во министерства морского флота СССР, 1948. 210 с.
- ВСН 19-70/ММФ Нормы технологического проектирования морских каналов. М.: Министерство морского флота СССР, 1970. 69 с.
- Гончаров В.Н.* Движение наносов. Л.: Главная редакция строительной литературы, 1938. 312 с.
- Гришин Н.Н.* Механика придонных наносов. М.: Наука, 1982. 160 с.
- Губина Н.А.* Использование аккумулирующих прорезей для защиты морских подходных каналов от заносимости // Гидротехническое строительство. 2007. № 3. С. 30–34.
- Илюшин В.Я.* Статистическая оценка бюджета наносов участка керченской бухты и заносимости подходного канала керченского морского торгового порта (КМТП) // Український гідрометеорологічний журнал, 2008, № 3. С. 213–220.
- Люция Карского моря. Обь-Енисейский район Ч. 2. М.: ГУНиО, 2011. 472 с.
- Лебедев В.В., Гарибин П.А., Беляев Н.Д.* Инженерная геология. Заносимость морских гидротехнических сооружений. СПб: Изд-во СПбГТУ, 1996. 53 с.
- Минин М.В.* Ямал не потерпит простых решений // Морские порты. 2011. № 8 (99). С. 28–30.
- Мирошниченко В.Г.* Эксплуатация морских каналов. М.: Транспорт. 1982. 136 с.
- Мирицхулава Ц.Е.* Основы физики и механики эрозии русел. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 303 с.
- РД 31.31.27-81 Руководство по проектированию морских причальных сооружений. М.: Союзморниипроект, 1981. 423 с.
- РД 31.31.47-88 Нормы проектирования морских каналов. М.: Минморфлот СССР, 1988. 52 с.
- Россинский К.И., Дебольский В.К.* Речные наносы. М.: Наука, 1980. 218 с.
- Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях / Под ред. М.Н. Костяницына, Л.А. Логачева, В.П. Зенкоича. М.: Гидрометеоздат, 1975. 240 с.
- Сидорчук А.Ю.* О расчетах смещения донных гряд и расхода влекомых наносов // Водные ресурсы. 1990. № 5. С. 56–63.
- Чеботарев А.И.* Общая гидрология: Воды суши. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 544 с.
- Шамов Г.И.* Речные наносы. Режим, расчет и методы измерений. Л.: Гидрометеоздат, 1954. 341 с.

E.A.LOGVINA, V.A.GLADYSH, N.VKUBYSHKIN, A.V.NESTEROV, R.A.VINOGRADOV

ESTIMATION OF SEDIMENT ACCUMULATION IN THE APPROACH AND MARITIME CANALS TO THE PORT OF SABETTA (YAMAL PENINSULA).

In the article results of calculations of sediment accumulation in the approach and maritime canals of the largest in the Russian Arctic port for liquefied natural gas and gas condensate transportation (Sabetta area, Yamal peninsula) are presented. Calculations were carried out taking into account the metocean (hydrological), morpho-lithodynamic and geological-geomorphological

investigations in a northern part of Ob Bay. The data of the recent surveys of the northern Ob Bay area (the Yamal and Yavai peninsulas) are used. The mean annual sediment accumulation rate in the approach canal to the port of Sabetta is 0,189 m and 0,211 m, and in the maritime canal of Ob Bay – 0,055 m and 0,229 m for absolute depths of canals «–12 m BS-77» and «–16 m BS-77» respectively.

Keywords: sediment accumulation, approach canal, maritime canal, ripple-wake suspension, sediment suspension, Yamal peninsula, Ob' bay, natural gas.