

С.М.Иглин^{1,2}, В.Б.Коробов³

¹Северный (Арктический) федеральный университет
им. М.В.Ломоносова, г.Архангельск

²Архангельский филиал ФГУП «Росморпорт», г.Архангельск

³Институт океанологии им. П.П.Ширшова, г.Москва

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАНОСИМОСТИ КАНАЛА МУДЬЮГСКИХ БАШЕН В МОРСКОМ ПОРТУ АРХАНГЕЛЬСК

Рассмотрены пространственно-временные особенности осадконакопления в канале Мудьюгских башен в морском порту Архангельск по данным съемок рельефа дна. Построены схемы пространственного распределения наносов в канале в период зимней навигации и в штормовые и ежемесячные периоды летней навигации по поверхностям разности глубин. Дана вербальная оценка интенсивности заносимости по толщине наносов. Установлено, что заносимость имеет сезонный характер, наибольшие объемы наносов формируются в районе мелководной области. На юге канала и в центральной части наблюдается сильная заносимость, на севере – незначительная и слабая, в целом заносимость по каналу можно охарактеризовать как среднюю.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: заносимость, наносы, судоходство, осадконакопление, дноуглубление, Северная Двина

doi: 10.22449/2413-5577-2019-2-48-58

Введение. Современные тенденции развития морской инфраструктуры, особенно в сфере транспортировки углеводородов, неразрывно связаны с обеспечением высокого уровня безопасности мореплавания. Это выражается в актуализации глубин на судоходных объектах, определении масштабов и пространственном распределении заносимости и проведении ремонтных дноуглубительных работ.

Заносимость, то есть обмеление акваторий гидротехнических сооружений, – негативный для судоходства процесс, протекающий под воздействием природных и антропогенных факторов. К основным природным источникам поступления наносов, относят:

- штормовые явления [1], имеющие колоссальную наносодвижущую силу за счет ветроволновой энергии;
- твёрдый сток, переносящий взвешенное вещество в акватории гидротехнических сооружений;
- размыв береговой зоны;
- явление маргинального фильтра в зонах смешения морских и речных вод [2, 3].

В свою очередь к антропогенным факторам [4] относят образование техногенных шлейфов мутности в процессе дноуглубительных работ, добычу полезных ископаемых в акватории и в прибрежной зоне, а также смыв грунтов с площади водосбора при проведении строительных, сельскохозяй-

© С.М.Иглин, В.Б.Коробов, 2019

Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. вып.2. С.48-58.

ственных и прочих работ.

Судоходные объекты подвержены заносимости неравномерно, отдельные участки заносятся более интенсивно из-за особенностей морфологии дна и берегов. В то же время отложение наносов происходит непрерывно на протяжении года, но с разной скоростью, в зависимости от гидрологической и гидрометеорологической обстановок, которые, как установлено в результате специальных исследований [5, 6], отличаются заметной пространственной и временной изменчивостью. Поэтому для организации безопасного судоходства и эффективных дноуглубительных работ необходимо учитывать специфику пространственно-временной изменчивости заносимости рассматриваемой акватории.

Архангельск является крупным портовым центром северо-западной части России, обеспечивающим доставку грузов не только в акваторию Белого моря, но и в значительной степени всего Арктического бассейна. Принимая во внимание, что судовым перевозкам в Арктике в ближайшие годы нет серьёзной альтернативы [7], большое внимание уделяется содержанию транспортной инфраструктуры в рабочем состоянии.

Судоходный фарватер порта, в особенности его морская часть, как и другие морские каналы [8 – 10], подвергается значительным процессам заносимости, что обязывает проводить ежегодные дноуглубительные работы, которые оказывают негативное воздействие на различные компоненты природной среды. В процессе грунтозабора и дампинга часть материала переходит во взвешенное состояние, повышается техногенная мутность и, как следствие, концентрации тяжелых металлов и прочих накапливаемых в грунте загрязняющих веществ. Вследствие этого наносится урон рыбным ресурсам, зоо- и фитопланктону, рекреационным ресурсам.

Последние десятилетия благодаря ледокольным проводкам навигация в порту Архангельск является круглогодичной. При этом в зимний период (декабрь – апрель), когда акватория покрыта льдом, количество заходов судов существенно уменьшается. Соответственно летняя навигация длится с мая по ноябрь. Навигация в порту Архангельск делится на два периода: зимний и летний, которые не совпадают с календарными [11]. В зимнюю навигацию гидрографические работы не выполняются, отсутствует регулярная актуализация глубин. В этот период заносимость обусловлена твердым стоком, а также маргинальным фильтром реки [2]. В летнюю навигацию наибольший вклад в перемещение и отложение наносов вносят штормовые явления, а также повышенные значения твердого стока после прохождения ледохода.

Наибольшие объемы заносимости наблюдаются в акватории канала Мудьюгских башен (далее – канал МБ) [12], находящегося в устьевом взморье реки Северная Двина.

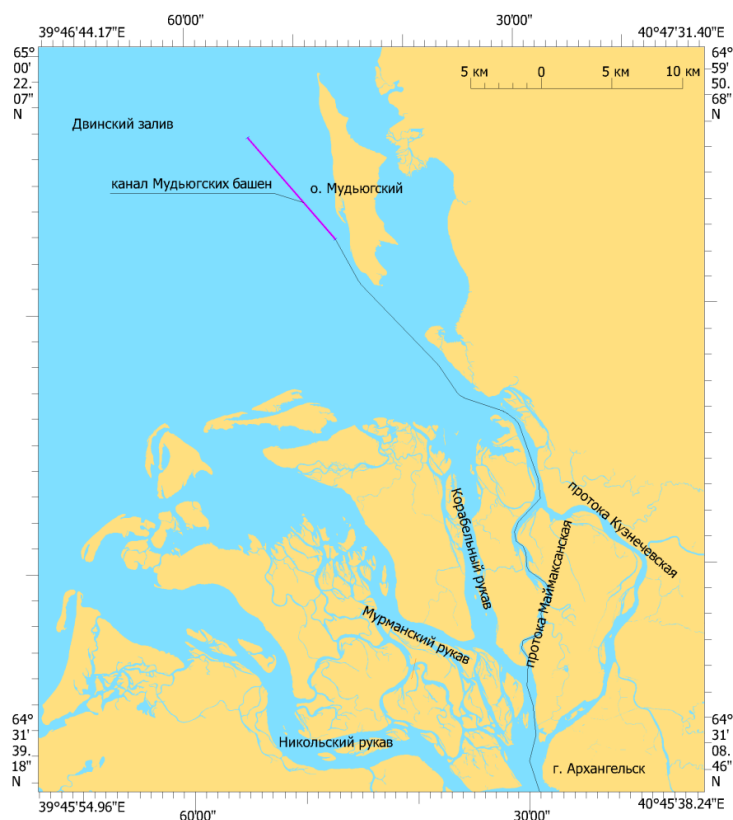
Целью настоящей статьи является оценка пространственно-временных особенностей заносимости канала Мудьюгских башен в морском порту Архангельск. В связи с этим поставлены следующие задачи:

– по данным регулярных съемок рельефа дна (далее – СРД) построить поверхности разности глубин для оценки заносимости в зимний навигационный период, а также штормовой и ежемесячной заносимости в летний навигационный период;

- выделить зоны дна канала, наиболее подверженные заносимости;
- разработать методологию вербально-числовой оценки заносимости каналов по толщине наносов;
- выполнить расчет ежемесячной заносимости канала по материалам СРД и архивным данным.

Описание объекта исследования. Искусственное гидротехническое сооружение канал МБ длиной 9500 м и шириной 100 м является северной частью главного судового хода морского порта Архангельск. Канал расположен в судоходном устье Корабельного рукава р.Северная Двина на приустьевом взморье Двинского залива Белого моря (рис.1). Канал находится западнее о-ва Мудьюгский и проходит через мелководный Березовый бар с глубинами до 1,5 м.

Существующие глубины в канале составляют 9,5 – 10 м. Объявленная осадка судов, согласно Приказу Министерства транспорта РФ от 9 июля 2014 г. № 183 «Об утверждении Обязательных постановлений в морском порту Архангельск», составляет 9,2 м на полную квадратурную воду. Заносимость канала, с одной стороны, определяется стоком наносов в весенне-летний период во время половодья, с другой стороны, миграцией наносов в периоды штормов. Наиболее критические для судоходства литодинамические изменения зафиксированы во время штормовых явлений, сгенерирован-



Р и с . 1 . Карта-схема расположения канала МБ в акватории морского порта Архангельск.

ных ветрами северо-западного направления [10, 13]. Согласно предыдущим исследованиям [12] в период зимней навигации толщина среднего слоя наносов в канале составляет 21 см, максимального – 223 см.

Для поддержания нормального судоходства в канале регулярно проводятся ремонтные дноуглубительные работы в течение летней навигации. Установлено, что объемы ремонтного черпания на акватории могут достигать 1 млн. м³ в год [10].

Материалы и методы. Основой для оценки пространственно-временных особенностей распределения наносов в канале МБ послужили цифровые модели рельефа дна, полученные Архангельским филиалом ФГУП «Росморпорт» в ходе проведения ежегодных гидрографических работ в акватории порта. Работы выполнялись с борта судов, оснащенных автоматизированным гидрографическим комплексом на базе многолучевого эхолота *Kongsberg EM 3002* [14]. Позиционирование судна и выполнение СРД проводилось с помощью спутникового навигационного приемника *Trimble SPS 461* [15] в системе координат WGS-84 в универсальной проекции Меркатора UTM, зона 37 с.ш. Глубины приводились к «нулю» порта Архангельск 1881 г. (– 1,083 м Балтийской системы высот 1977 г.). Методики выполненных гидрографических работ соответствуют нормативно-техническим документам [16 – 22].

Для классификации интенсивности заносимости каналов методом нечётких множеств [23, 24] нами предложена вербально-числовая шкала (табл.1), в соответствие с которой была произведена оценка заносимости канала МБ.

Из исходных данных СРД с помощью программного комплекса *QINSY 8.1* [25] получены регулярные (*GRID*) цифровые модели поверхности рельефа дна канала. Шаг сетки составлял 2 × 2 м.

Для оценки распределения наносов в канале за необходимый период (зимняя навигация, ежемесячный период или штормовой летней навигации) были построены поверхности разности глубин между СРД. Расчеты проводились с помощью программного продукта *Trimble Terramodel 10.43* [26] модуля «*Earthworksreports*». В качестве первого слоя («*Surface 1*») выбиралась поверхность начала отчетного периода (до образования наносов), а в качестве второго слоя («*Surface 2*») – поверхность в конце отчетного периода (после образования наносов), в результате получали поверхности разностей глубин (*isopatch*). Плюсовые значения аппликат полученных точек означали наличие отложения наносов, а отрицательные – уменьшение слоя наносов в канале.

Полученную поверхность разности глубин экспортировали в дополнение *Sounding Grid Utility* программного комплекса *QINSY 8.1*, где проводилась ви-

Т а б л и ц а 1. Вербально-числовая шкала для оценки интенсивности заносимости канала МБ по толщине наносов.

< 0 см	0 – 10 см	10 – 30 см	30 – 80 см	80 – 150 см	> 150 см
отсутствует	незначительная	слабая	средняя	сильная	очень сильная

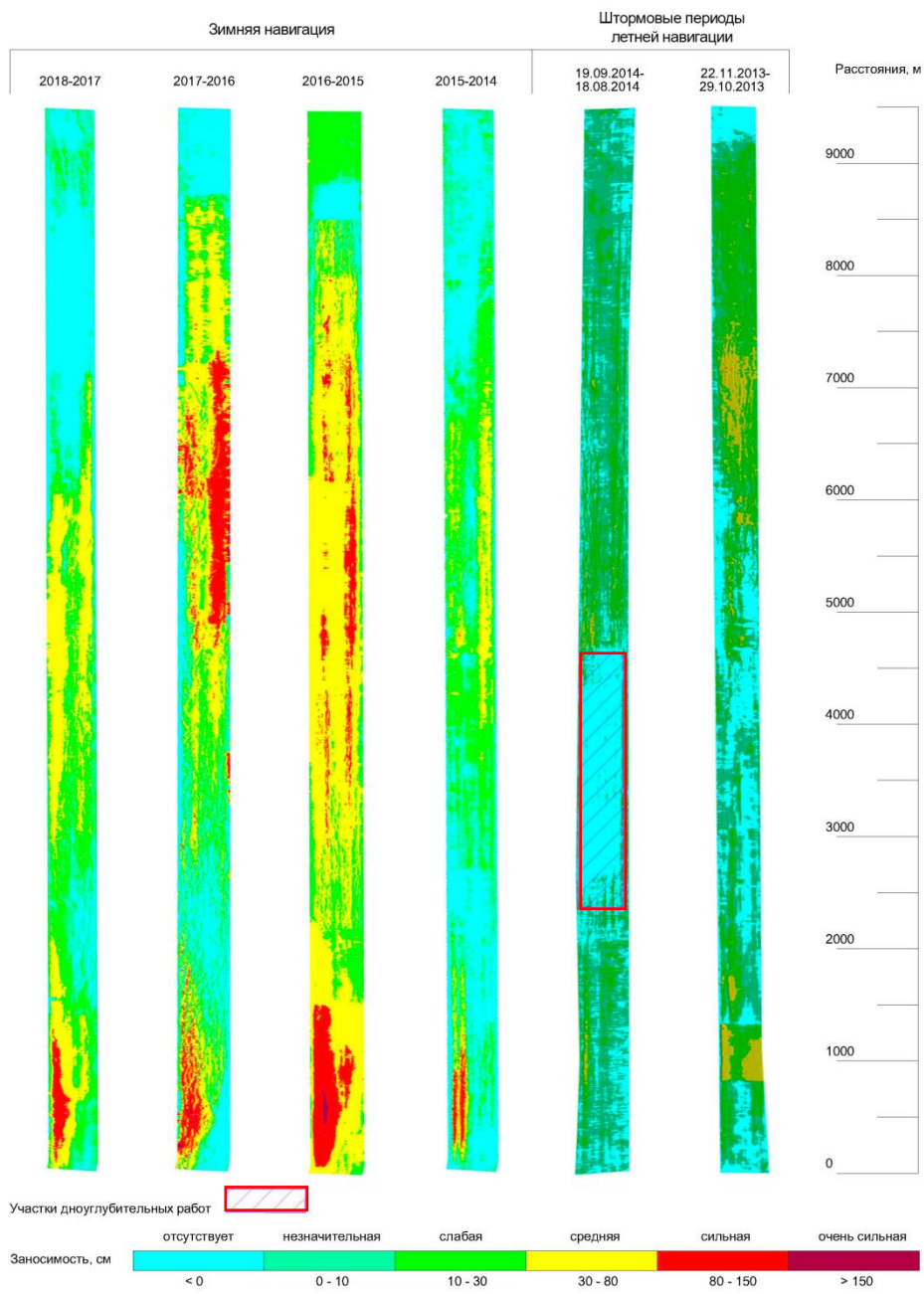
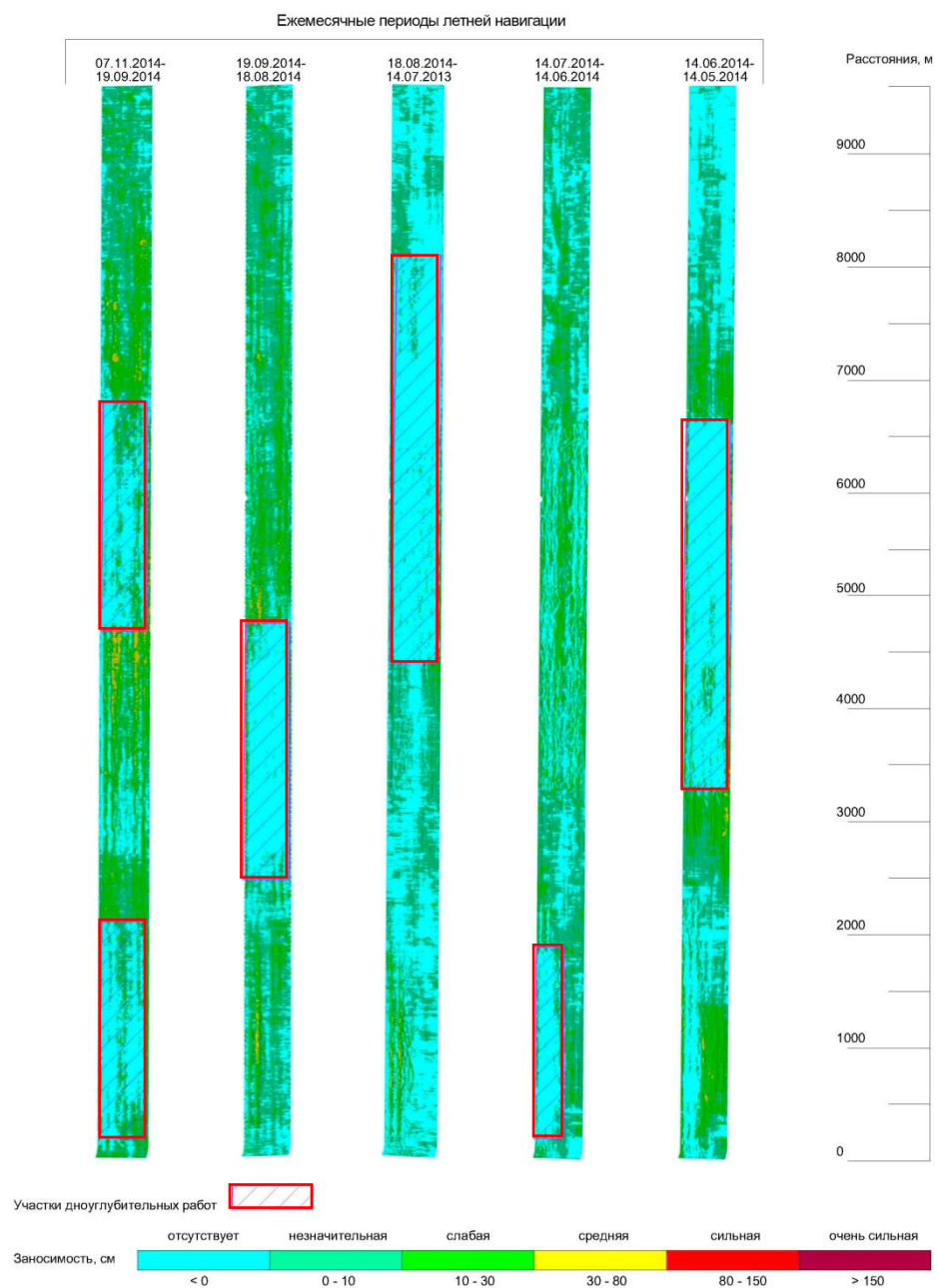


Рис. 2. Схема распределения слоя наносов в зимнюю навигацию и штормовые периоды летней навигации в канале МБ морского порта Архангельск.



Р и с . 3 . Схема распределения слоя наносов в ежемесячные периоды летней навигации 2014 г. в канале МБ морского порта Архангельск.

зуализация результатов, путем присвоения цвета точкам с соответствующей толщиной слоя наносов (табл.1). Полученные результаты представлены на рис.2, 3.

Оценка распределения мощностей наносов (табл.2) выполнена путем сортировки точек (среднее количество точек 287 тыс. в каждой СРД) в программном продукте *Microsoft Excel* в предложенных градациях (меньше 0 см, 0 – 10 см, 10 – 30 см, 30 – 80 см, 80 – 150 см, больше 150 см).

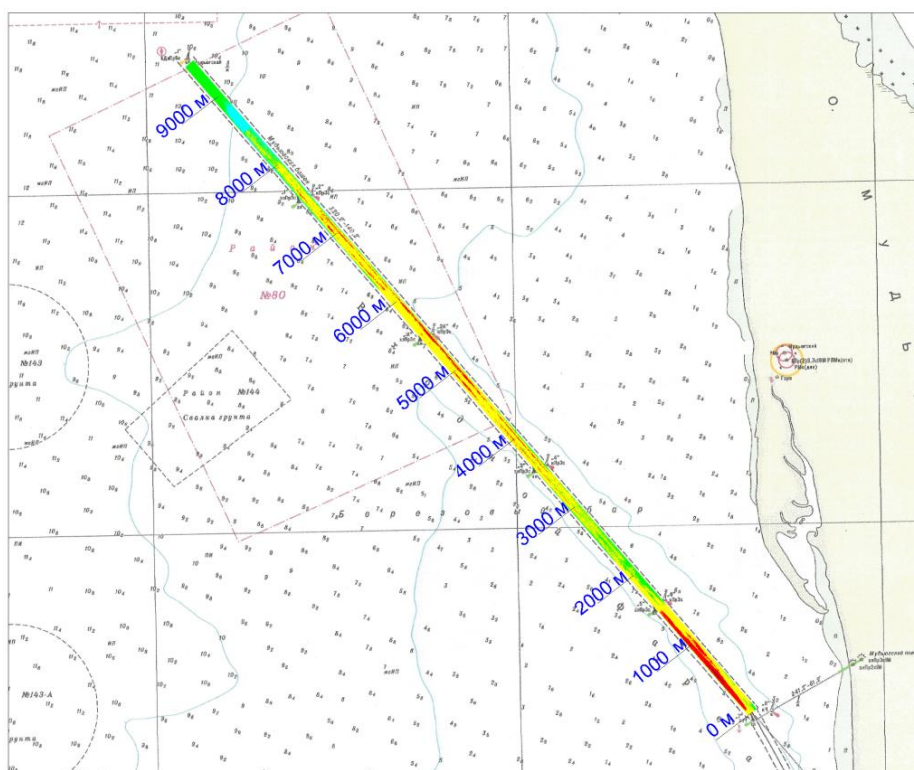
Расчет средней заносимости за ежемесячные периоды (рис.5) был выполнен по данным СРД с помощью модуля «*Earthworksreports*» *Trimble Terramodel 10.43*, который предоставляет отчет по объемам грунта между поверхностями рельефа дна [12].

Результаты. Оценка пространственного распределения заносимости по каналу показала, что в зимнюю навигацию (рис.2, 4; табл.2) наиболее интенсивно наносы отлагаются на следующих участках (началом отсчета длины канала является юго-восточная оконечность канала (рис.4)):

- на участке 0 – 2000 м у юго-западной бровки канала наблюдается средняя, сильная и очень сильная заносимости;
- для участка 3000 – 7500 м по всей ширине канала отмечается слабая, средняя и сильная заносимости, однако наиболее выражена с западной стороны на участке 5000 – 7000 м.

Т а б л и ц а 2. Распределения мощностей наносов канала МБ в зимнюю навигацию, штормовые и ежемесячные периоды летней навигации.

заноси- мость	период	распределение мощностей наносов, %					
		0 – 10 см	10 – 30 см	30 – 80 см	80 – 150 см	> 150 см	
зимняя навигация	2017 – 2018	30,3	14,8	25,9	26,5	2,1	
	2016 – 2017	27	8,7	18,4	33,2	11,9	
	2015 – 2016	4,6	2,6	19,6	61	11,6	
	2014 – 2015	37	22,7	27,1	11,5	1,2	
летняя навигация	штормовые периоды	25 августа – 19 сентября 2014 г.	37,5	46,3	14,7	0,8	0
		29 октября – 22 ноября 2013 г.	40	24,6	27,8	7	0
	ежемесячные периоды	май – июнь 2014 г.	36,6	32,5	27	3,3	0
		июнь – июль 2014 г.	36	42,4	19,7	1,2	0
		июль – август 2014 г.	67,8	27,5	3,8	0,4	0
		август – сентябрь 2014 г.	35,7	47,3	16,1	0,2	0
сентябрь – ноябрь 2014 г.	57	23,7	18,2	0,6	0		

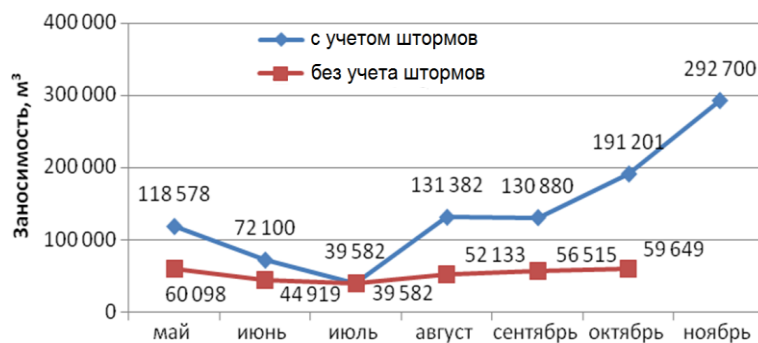


Р и с . 4. Схема распределения наносов в зимнюю навигацию за 2017 – 2016 гг. на морской навигационной карте акватории Двинского залива.

На рис.4 представлена схема распределения наносов в период зимней навигации 2017 – 2016 гг. на морской навигационной карте акватории Двинского залива, которая использовалась для оценки морфологии дна вблизи исследуемой области. Наибольшие объемы наносов наблюдаются на участке канала 0 – 5500 м, источником наносов является грунт, переносимый штормами из мелководных областей восточнее 5-ти метровой изобаты. На участке 5500 – 8500 м, который находится между 5-ти и 10-ти метровой изобатами, отмечается меньшая толщина наносов. Часть канала севернее 10-ти метровой изобаты заносится с наименьшей интенсивностью.

Штормовые наносы равномерно распределены по всей длине канала (рис.2, табл.2), преобладает незначительная (37,5 – 46,3 %) и слабая (24,6 – 46,3 %) заносимости, локально присутствуют участки со средней заносимостью (14,7 – 27,8 %).

Изменение заносимости в летний период (рис.3) связано с гидрологическими и гидрометеорологическими явлениями в акватории устья реки Северная Двина. Участки наиболее интенсивного отложения наносов в летнюю навигацию и после штормов повторяют зоны осадконакопления в период зимней навигации. Распределение мощностей наносов за эти промежутки времени представлено в табл.2. Заносимость за период зимней навигации можно охарактеризовать как среднюю (18,4 – 27,1 %), с локальными участками с сильной заносимостью (11,5 – 61,0 %).



Р и с . 5. Диаграмма средней ежемесячной заносимости канала МБ за период с 2001 по 2016 гг. в летнюю навигацию.

При анализе ежемесячных периодов в летнюю навигацию (рис.5) выявлено, что штормовые явления вносят наибольший вклад в обмеление акватории (особенно в осенние месяцы с ветрами северо – северо-западных направлений). В весенне-летние месяцы (май – июнь) также наблюдается повышенный уровень заносимости, что связано с увеличением расхода воды Северной Двины во время весеннего половодья и, как следствие, твердого стока и концентрации взвешенных веществ [13, 27 – 29]. В период летней межени наблюдаются наименьшие объемы отложения наносов, что обусловлено низкими показателями расхода воды в устье и небольшим стоком твердых частиц.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что наибольший вклад в заносимость канала Мудьюгский башен в порту Архангельск вносят штормовые явления.

Заносимость, вызванная твердым стоком реки Северная Двина, имеет сезонный характер. Наибольшие значения зафиксированы во время весеннего половодья (при повышении расхода воды и концентрации взвешенных веществ) и осенних паводков, а наименьшие объемы – в период летней межени.

Пространственное отложение наносов в канале неоднородно. Наиболее интенсивно осадконакопление происходит на участках от 0 – 2000 м, 3000 – 7500 м (от юго-восточного начала канала), где преобладает средняя (18,4 – 27,1 %) и сильная (11,5 – 61,0 %) заносимость, а местами – очень сильная (1,2 – 11,9 %). Такие значения являются критическими для судоходства, что предопределяет проведения оперативного ремонтного дноуглубления канала.

В целом, заносимость канала Мудьюгских башен в зимнюю навигацию можно охарактеризовать, как среднюю с отдельными зонами, подверженными с сильной заносимости до 80 – 150 см.

Работа выполнена в рамках программы диссертационных исследований и темы госзадания № 0149-2019-0007 «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кожухов И.В.* Системный подход к изучению потоков наносов в мелководной зоне морей для обеспечения нормального режима судоходства // Эксплуатация морского транспорта.– 2010.– № 3 (61).– С.30-34.
2. *Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // Океанология.– 1994.– т.34, № 5. – С.735-737.
3. *Брызгалов В.В., Скибинский Л.Э., Богоунов А.Ю.* Исследование устьевой области реки Северной Двины хронокартографическим методом.– Архангельск: Лодия, 2008.– 143 с.
4. *Ивлиева О.В.* Техногенный седиментогенез в Азовском море: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук.– Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2007.– 48 с.
5. *Лецев А.В., Хоменко Г.Д., Коробов В.Б., Лохов А.С., Чульцова А.Л., Ружникова Н.Н., Махнович Н.М., Белоруков С.К., Яковлев А.Е., Ефремова О.П., Муангу Ж.Э.Р.* Экспедиционные работы в устьевой области реки Северной Двины в марте 2014 г. // Океанология.– 2015.– т.55, № 2.– С.348-350.
6. *Лецев А.В., Мискевич И.В., Коробов В.Б., Лохов А.С., Чульцова А.Л., Хоменко Г.Д., Белоруков С.К., Яковлев А.Е.* Пространственные особенности приливной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устьевой области реки Северная Двина в зимнюю межень // Океанология.– 2017.– т.57, № 2.– С.303-310.
7. *Тутыгин А.Г.* Концепция создания комплекса моделей развития транспортной инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации // Научное обозрение.– 2016.– № 24.– С.182-185.
8. *Губкина Н.А.* Защита морских подходов каналов от заносимости: автореф. дис. ... канд. техн. наук.– М.: Московский государственный строительный университет, 2007.– 23 с.
9. *Кривицкий С.В., Архипов Б.В., Солбаков В.В., Соловьев М.Б.* Заносимость отдельных участков Волго-Каспийского судоходного морского канала // Вестник МГСУ.– 2013.– № 6.– С.177-188.
10. *Власов В.М.* Морские каналы и средства навигационного оборудования морских путей.– М.: Транспорт, 2001.– 368 с.
11. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.II. Белое море. Вып.1. Гидрометеорологические условия.*– Л.: Гидрометеиздат, 1991.– 241 с.
12. *Иглин С.М.* Оценка масштабов заносимости судоходных объектов в морском порту Архангельск // Всеросс. научно-практич. конф. «Актуальные проблемы освоения месторождений нефти и газа приарктических территорий России». 27-28 сентября 2018 г.– Архангельск: САФУ, 2018.– С.90-96.
13. *Гидрология устьевой области Северной Двины / Под ред. Зотина М.И., Михайлова В.Н.*– М.: Гидрометеиздат, 1965.– 376 с.
14. *Kongsberg Maritime* [Электронный ресурс].– URL: www.km.kongsberg.com (дата обращения 10.01.2019).
15. *Trimble SPS461* [Электронный ресурс].– URL: <https://construction.trimble.com/products-and-solutions/sps361-and-sps461-gps-heading-and-positioning-receivers> (дата обращения 11.04.2019).
16. *Правила гидрографической службы № 4.* Съёмка рельефа дна часть 1, 2.– ГУ-НиО МО, 1984.
17. *Правила гидрографической службы № 35.* Приведение глубин к уровню.– ГУ-НиО МО, 1956.

18. РД 31.74.04-2002. Технология промерных работ при производстве дноуглубительных работ и при контроле глубин для безопасности плавания судов в морских портах и на подходах к ним.– Ростов-на-Дону: ОАО РЦПКБ «Стапель», 2004.– 154 с.
19. *Руководство по океанографическому изучению океанов и морей (РОИ-80). ч.2.*– ГУНиО МО, 1980.
20. *Методика обработки материалов обследования при использовании автоматизированных гидрографических комплексов от 05.05.2003 г.*– ГУНиО МО, 2003.
21. *Методика по использованию спутниковых навигационных систем при производстве гидрографических работ от 10.07.2002.* (дополнение к части 2 ПГС-4).– ГУНиО МО, 2002.
22. РД 31.74.08-94 Техническая инструкция по производству морских дноуглубительных работ.– М.: Минтранс РФ. Департамент морского транспорта, 1994.– 220 с.
23. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений.– М.: Мир, 1976.– 165 с.
24. *Коробов В.Б.* Построение вербально-числовых шкал методом нечетких множеств для оценки состояния природных объектов // Проблемы региональной экологии.– 2005.– № 5.– С.18-23.
25. *QINCY 8.1* [Электронный ресурс].– URL: <https://www.qps.nl/qincy/> (дата обращения 11.04.2019).
26. *Trimble Terramodel* [Электронный ресурс].– URL: <https://construction.trimble.com/products-and-solutions/terramodel> (дата обращения 11.04.2019).
27. *Кравчишина М.Д., Шевченко В.П., Филиппов А.С., Новигатский А.Н., Дара О.М., Алексеева Т.Н., Бобров В.А.* Вещественный состав взвеси устья реки Северная Двина (Белое море) в период весеннего половодья // Океанология.– 2010.– т.50, № 3.– С.396-416.
28. *Лисицын А.П., Немировская И.А., Шевченко В.П., Воронцова В.Г.* Система Белого моря. Т.IV. Процессы осадкообразования, геология и история.– М.: Научный мир, 2017.– 1048 с.
29. *Копелевич О.В., Салинг И.В., Вазюля С.В., Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Буренков В.И., Каралли П.Г., Юшманова А.В.* Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998 – 2017 гг. Белое море. [Электронный ресурс].– URL: https://optics.ocean.ru/White/White_Sea.pdf (дата обращения 10.01.2019).

Материал поступил в редакцию 11.02.2019 г.
После доработки 23.05.2019 г.

S.M.Iglin, V.B.Korobov

SPATIAL AND TEMPORAL PECULIARITIES OF SEDIMENTATION IN THE CHANAL OF THE MUDYUG TOWERS IN THE SEA PORT ARKHANGELSK

The spatial and temporal peculiarities of sedimentation in the channel of the Mudyug towers in the seaport Arkhangelsk are considered according to the data of the bottom relief survey. Patterns of spatial distribution of sediment in the channel during winter navigation and storm and monthly periods of summer navigation are constructed using difference in depths. The intensity of sediment thickness is assessed. It has been revealed that the sedimentation has a seasonal nature, the largest volumes of sediment are formed near a shallow bar. In the south and central part, a strong record is observed, in the north is insignificant and weak, on the whole in the channel the sedimentation can be characterized as medium.

KEYWORDS: sedimentation, sediments, navigation, sediment accumulation, dredging, the Northern Dvina