

ISSN 1997-8650 (Print)
ISSN 2587-8255 (Online)

4/2017

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

ENGINEERING SURVEY

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

При поддержке:

Саморегулируемая организация



Ассоциация
«Инженерные изыскания
в строительстве»



ИГИИС



СОБЫТИЯ И МНЕНИЯ

Александр Ефимович Сазоненков (11.05.1945—16.04.2017). Некролог 13

Трофимов В.Т., Харьковина М.А.

Предложения по улучшению содержания нормативно-технических документов по инженерно-экологическим изысканиям 14

Федосеев Ю.Е.

Современные проблемы кадрового и нормативного обеспечения топографической деятельности в составе инженерно-геодезических изысканий 20

ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Бабич Д.Б., Иванов В.В., Кортаев В.Н.

Комплексные инженерные изыскания в зонах подводных переходов газопроводов для обоснования методов их рациональной эксплуатации (на примере дельты Волги) 26

Гладыш В.А., Логвина Е.А., Нестеров А.В., Кубышкин Н.В.

Оценка интенсивности литодинамических процессов в морском судоходном канале порта Сабетта 36

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ермаков А.П., Скобелев А.Д., Стром А.Л., Богданов М.И., Модин И.Н., Владов М.Л.

Инженерно-геофизические исследования активных тектонических разломов в Южной Якутии 46

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Кауркин М.Д., Романов В.В.

Расчет сейсмических воздействий в специализированных программах NERA и EERA 54

ПРИЛОЖЕНИЕ

Лирическое грунтоведение

Глумова Г.М. (составитель)

Пески в зарубежной и русской поэзии (сборник). Раздел 5. Часть 1 64

Рефераты на английском языке 72

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Богданов М.И.

Председатель научно-редакционного совета и главный редактор журнала «Инженерные изыскания», генеральный директор ООО «ИГИИС», к.г.-м.н.

Алабян А.М.

Доцент кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.н.

Вознесенский Е.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н.

Коваленко В.Г.

Эксперт Мосгосэкспертизы, д.г.-м.н.

Лехов М.В.

Ведущий научный сотрудник геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, федеральный эксперт Министерства образования и науки РФ, к.г.-м.н.

Малинников В.А.

Заведующий кафедрой космического мониторинга и экологии МИИГАиК, д.т.н., профессор

Модин И.Н.

Профессор кафедры геофизики геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.т.н.

Середин В.В.

Заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр ПГНИУ, генеральный директор ООО «Недра», д.г.-м.н.

Середович В.А.

Начальник управления научно-исследовательских работ НГАСУ, к.т.н., профессор

Теличенко В.И.

Президент МГСУ, д.т.н., академик РААСН

Трофимов В.Т.

Советник ректората, заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н.

Яблонский Л.И.

Заместитель директора Федерального научно-технического центра геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных, к.т.н.

РЕДАКЦИЯ

107076, г. Москва, ул. Электрозаводская, д. 60.

Тел.: +7 (495) 210-63-90, 210-63-06.

E-mail: info@geomark.ru

Торбина Екатерина

Генеральный директор

Аптикаева Галина

Литературный редактор

Крюков Павел

Отдел рекламы

kpp@geomark.ru

Лузганов Григорий

Отдел подписки и распространения

rg@geomark.ru

ИП Гилманов М.А.

Допечатная подготовка, дизайн и верстка

Редакция может не разделять точку зрения автора.

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

Подписано в печать 12.05.2017. Тираж 1500 экз. Формат: 50x70/8.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации: ПИ № ФС77-49505 от 20 апреля 2012 г.

Подписной индекс ОАО Агентства «Роспечать»: 71509.

© ООО «Геомаркетинг».

Цена свободная

Журнал включен в перечень ВАК



По вопросам подписки обращайтесь в редакцию:
+7 (495) 210-63-90, www.geomark.ru

Industry news6

EVENTS AND OPINIONS

Alexandr Efimovich Sazonenkov (11.05.1945–16.04.2017). Obituary13

Trofimov V.T., Kharkina M.A.

Suggestions for improvement of the contents of the normative-technical documents for engineering-ecological surveys14

Fedoseev Yu.E.

Modern problems of the human resourcing and normative base of topographical activities as part of engineering-geodetic surveys20

ENGINEERING-HYDROMETEOROLOGICAL SURVEYS

Babich D.B., Ivanov V.V., Korotaev V.N.

Integrated engineering surveys in underwater gas pipeline zones for the justification of methods of their rational operation (a case study for the Volga delta)26

Gladyshev V.A., Logvina E.A., Nesterov A.V., Kubishkin N.V.

Assessing the intensity of lithodynamic processes in the seaway navigation canal of the Sabetta port36

GEOPHYSICAL STUDIES

Ermakov A.P., Skobelev A.D., Strom A.L., Bogdanov M.I., Modin I.N., Vladov M.L.

Engineering-geophysical study of active tectonic faults in Southern Yakutia46

ENGINEERING SEISMOLOGY

Kaurkin M.D., Romanov V.V.

Calculation of seismic effects in the specialized programs of NERA and EERA54

SUPPLEMENT

Lyrical soil science

Glumova G.M. (compiler)

Sands in the foreign and Russian poetry (collection). Part 5 (1)64

Abstracts in English72



По вопросам подписки обращайтесь в редакцию:
+7 (495) 210-63-90, www.geomark.ru

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МОРСКОМ СУДОХОДНОМ КАНАЛЕ ПОРТА САБЕТТА

ASSESSING THE INTENSITY OF LITHODYNAMIC PROCESSES IN THE SEAWAY NAVIGATION CANAL OF THE SABETTA PORT

Ключевые слова: заносимость; литодинамика; аккумуляция; экзарация; метод искусственных каналов; порт Сабетта; полуостров Ямал; Обская губа.

Аннотация: в статье представлены оценка интенсивности литодинамических процессов и результаты расчетов заносимости для морского судоходного канала порта Сабетта (полуостров Ямал) на основе данных комплексных инженерных изысканий, проводившихся в полевые сезоны 2011–2013 гг. Заносимость канала оценена методами сейсмической стратиграфии, седиментационных ловушек и вновь предложенным методом «искусственных каналов». Приведен расчет объема наносов, вносимых в канал в результате экзарации. Интенсивность литодинамических процессов оценена как высокая или очень высокая на севере канала и как средняя или высокая в центральной и южной его частях.

ГЛАДЫШ В.А.

Заведующий сектором методики морских геолого-геофизических исследований ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга», главный инженер ООО «Ленарк», г. Санкт-Петербург, rusonic@bk.ru

ЛОГВИНА Е.А.

Старший научный сотрудник лаборатории нетрадиционных источников углеводородов ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга», геолог ООО «Ленарк», г. Санкт-Петербург, к. г.-м. н., liza_logvina@mail.ru

НЕСТЕРОВ А.В.

Научный сотрудник лаборатории «Арктик-шельф» ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург, nest@aari.ru

КУБЫШКИН Н.В.

Старший научный сотрудник лаборатории «Арктик-шельф» ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург, к. ф.-м. н., kuba@arctic-shelf.com

GLADYSH V.A.

Head of the Sector of Sea Geologic-Geophysical Research Methods of the "I.S. Gramberg All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean" FSBI, chief engineer of the "Lenark" LLC, Saint Petersburg, rusonic@bk.ru

LOGVINA E.A.

Senior scientist of the Laboratory for Unconventional Hydrocarbons Resources of the "I.S. Gramberg All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean" FSBI, geologist of the "Lenark" LLC, Saint Petersburg, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), liza_logvina@mail.ru

NESTEROV A.V.

Research scientist of the "Arctic-Shelf" laboratory of the "Arctic and Antarctic Research Institute" FSBI, Saint Petersburg, nest@aari.ru

KUBISHKIN N.V.

Senior scientist of the "Arctic-Shelf" laboratory of the "Arctic and Antarctic Research Institute" FSBI, PhD (Candidate of Science in Physics and Mathematics), Saint Petersburg, kuba@arctic-shelf.com

Key words: sediment accumulation; lithodynamics; accumulation; exaration; artificial canals method; Sabetta port; Yamal Peninsula; Gulf of Ob (Obskaya Guba).

Abstract: this paper presents an estimation of the intensity of lithodynamic processes, and calculation results of sediment accumulation for the seaway navigation canal of the Sabetta port (the Yamal Peninsula), on the basis of data of complex engineering surveys carried out in the field seasons in 2011–2013. The sediment accumulation in the canal is assessed using data of the methods of seismic stratigraphy, sedimentation traps, and using data of the newly proposed method of artificial canals. The authors calculate the volume of sediments carried into the canal due to exaration. The intensity of lithodynamic processes is estimated as high or very high in the north of the canal, and as medium or high in its central and southern parts.

Введение

Проектирование объектов арктического морского порта в районе поселка Сабетта на полуострове Ямал началось в 2011 году. С лета 2012 года ведется строительство этого порта — ключевого объекта инфраструктуры в проекте ОАО «Ямал СПГ» (ОАО «НОВАТЭК»), концерна TOTAL, Китайской национальной нефтегазовой корпорации и Фонда Шелкового пути. В перспективе он будет многофункциональным узлом Северного морского пути.

Работы проводятся в соответствии с функциональными направлениями национальной морской политики в области морского транспорта, отраженными в Морской доктрине РФ на период до 2020 года. Ожидается, что порт Сабетта станет отправной точкой для экспорта не только сжиженного газа с полуострова Ямал, но и зерна из Сибири, металлов с Урала, угля из Кузбасса, нефтепродуктов из Татарстана и Башкортостана. Благодаря его строительству можно будет сэкономить до 30% средств на транспортировке по Северному морскому пути и повысить загрузку последнего приблизительно в 60 раз (к 2030 году). Это позволит сохранить Северный морской путь как национальную транспортную коммуникацию с возможностью международного использования, конкурентоспособную по отношению к традиционным морским маршрутам по качеству транспортных услуг и безопасности мореплавания [13].

Субаквальная часть порта Сабетта строится в составе объектов обустройства Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения и включает акваторию порта, подходной и морской судоходные каналы.

В соответствии с проектной документацией морской судоходный канал должен быть глубиной не менее 15,1 м, длиной 49 км и шириной 295 м [11] (рис. 1).

В 2014 году начаты дноуглубительные работы по строительству основных гидротехнических объектов порта Сабетта — подходного и морского судоходных каналов, а также акватории порта. По предварительным оценкам, общий объем дноуглубительных работ составит около 70 млн м³ [11].

Строительство каналов и их эксплуатация неразрывно связаны с процессами заносимости. Дноуглубительные работы в районах с высокой литодинамической активностью являются обязательными как на этапе строительства, так и в процессе эксплуатации каналов.

Поддержание объявленных глубин определяется объемами ремонтных дноуглубительных работ, стоимость которых напрямую зависит от объемов наносов. Расчеты заносимости требуют высокой инженерно-гидрографической, инженерно-гидрометеорологической и инженерно-геологической изученности региона. Актуальность этих исследований предполагает применение разнообразных методов.

Хорошо известная расчетная методика, основанная на методах, рассмотренных в руководстве [12], и учитывающая максимальное количество факторов, влияющих на заносимость, была применена авторами данной статьи ранее [6].

Настоящая работа выполнена с целью усовершенствования существующих методов оценки литодинамической активности и заносимости гидротехнических сооружений на основании данных мониторинговых исследований.

Характеристика района работ

Морской канал находится в северной (мористой) части Обской губы и пересекает Северообский бар, ограниченный параллелями 71,9 и 72,6° с.ш. и характеризующийся глубиной менее 15 м (см. рис. 1). Южнее и севернее бара глубина моря возрастает до 20 м.

Поверхностные отложения береговой зоны до глубины 5–7 м представлены мелкими и пылеватыми песками, в глубоководной части — илами. Берега различны — от низменных аккумулятивных до обрывистых абразионных [13].

Климат района исследований — морской арктический, характеризующийся суровой зимой и холодным летом, частыми туманами и неустойчивой погодой в течение всего года. Его особенности обусловлены несколькими факторами, главными из которых являются географическое (высокоширотное) положение района и особенности атмосферной циркуляции. Зимой преобладают ветры южных направлений, летом — северных. Среднемесячная скорость ветра — 5–7 м/с с порывами до 45 м/с [16] (см. рис. 1). Теплые месяцы — июль и август со средними температурами воздуха плюс 5–6 °С, холодные — январь и февраль (–25÷–26 °С).

Гидрологический режим определяется климатическими условиями, стоком реки Обь, а также водообменом с Карским морем. Течения в районе работ суммируются из постоянных (стокных), приливных и ветровых. Наибольшие скорости суммарного течения в северной части губы достигают 3 узлов

при сильных южных ветрах и сизигийном отливе. Колебания уровня моря определяются приливной волной и стонно-нагонными явлениями. Приливная волна проникает в район работ из Карского моря. Максимальная амплитуда суммарных колебаний уровня на севере района у мыса Дровяной составляет 3,1 м. По данным наблюдений 2011–2012 годов, максимальная высота волны составила 2,7 м при средней величине 0,6 м. Направление волн соответствует направлению ветров. Наибольшую повторяемость имеют волны высотой до 0,5 м. Средний период волнения составляет 3,0–4,4 с. Средний период волн с повторяемостью более 50% — 3,2–3,6 с. Период спектрального максимума находится в пределах 3,4–5,7 с. Наибольшая повторяемость волнения с периодом спектрального максимума — 4,0–4,2 с. Средняя длина волн составляет 14,0–30,6 м (при среднем значении 18,6 м), наибольшую повторяемость имеет длина 16–20 м.

Температура поверхностных вод в августе достигает плюс 8,4 °С, придонные воды в течение всего лета могут иметь отрицательные температуры. Соленость воды в летний период в поверхностном слое колеблется от 1,5 до 22‰, у дна — от 15 до 30‰.

Осенью устойчивый переход температуры воды через 0 °С и начало устойчивого ледообразования в среднем происходят в первой декаде октября. Устойчивый припай образуется в начале третьей декады октября.

Весной переход температуры воды через 0 °С происходит в конце мая. Разрушение припая происходит в начале второй декады июля, а окончательное очищение района ото льда — в середине третьей декады июля. Продолжительность ледового периода в среднем составляет 296 дней, максимум — 317 дней. Максимальная толщина ровного льда может достигать к маю 210 см.

Для района исследований характерно существование прибрежных гряд торосов и навалов льда на берег, что в зависимости от особенностей берега и прибрежного мелководья приводит к формированию от двух до пяти валов торошения и стамухообразования. Кроме того, в Обской губе ежегодно образуются так называемые региональные продольные и поперечные разломы льда, которые существуют на протяжении всего ледового сезона в виде сходящихся и расходящихся трещин и разводов.

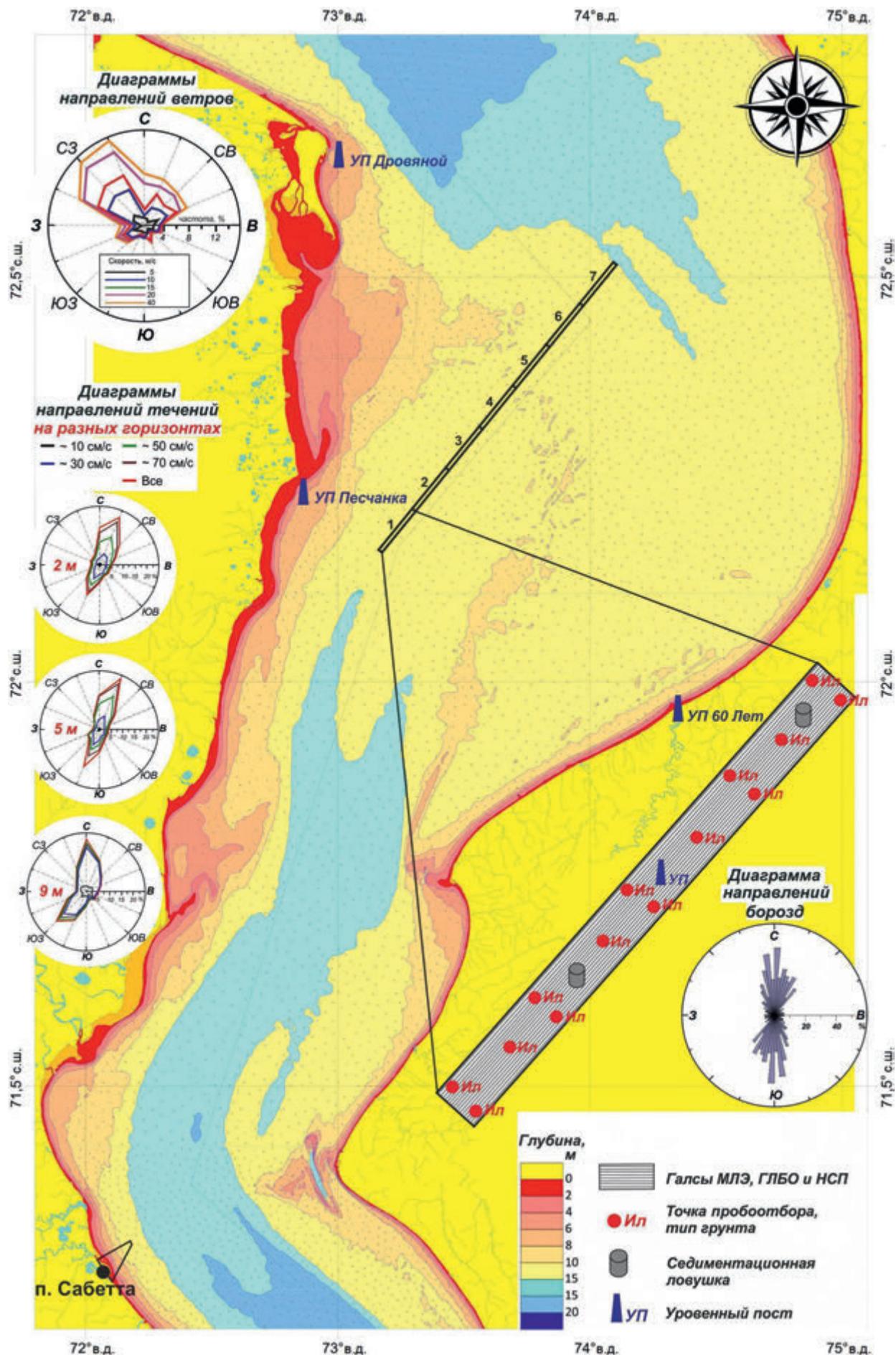


Рис. 1. Карта-схема района работ в морском судоходном канале с диаграммами направлений ветров, водных течений (на разных горизонтах) и борозд ледовой экзарации на врезках. Полоса обследования выделена черными линиями, номера ее секций обозначены цифрами 1–7

Методы исследований

В данной работе были использованы собственные, опубликованные и фондовые материалы морфолитодинамических, геолого-геоморфологических, геофизических и гидрометеорологических (гидрологических) исследований, полученные в ходе полного цикла инженерных изысканий в 2011–2013 годах. Изыскания выполнялись ГУ «ААНИИ», ОАО «АМИГЭ», ООО «Севзапгидропроект», ООО «НПА «Севморгеология», ООО «Фертоинг», ФГУП «ВНИИ-Океангеология им. И.С. Грамберга», ООО «НПП «Ленарк» и другими организациями.

Для оценки скорости осадконакопления использовались седиментационные ловушки ЛС-250-450 с сечением сбора 254 см² («НПП «Ленарк», рис. 2), разработанные специально для мелководных условий. Ловушки устанавливались на дно вдоль канала в полевые сезоны 2012 и 2013 годов (см. рис. 1).

Площадное обследование рельефа дна осуществлялось многолучевыми эхолотами (МЛЭ) SeaBat 8111 (производства компании RESON), EM 2040 Compact (Kongsberg Maritime) и SeaBat T20-P (Teledyne RESON). Эти работы выполнялись ООО «Севзапгидропроект» (2011 г. [14]), ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга» (2012 г.) и «НПП «Ленарк» (2013 г.) соответственно.

Для изучения деформаций дна и исследования верхней части разреза в 2012–2013 годах была проведена съемка морским гидроакустическим комплексом «СОНИК-9Л» («НПП «Ленарк»). Этот комплекс включает трехчастотный гидролокатор бокового обзора (ГЛБО) с рабочими частотами 100, 200, 350 кГц и сейсмоакустический профилограф высокого разрешения для выполнения непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) в полосе частот 6–16 кГц при длительности импульса излучения 100 мкс.

Съемка МЛЭ, ГЛБО и НСП выполнялась по системе галсов, параллельных оси канала (см. рис. 1), при расстоянии между смежными галсами не более 40 м. Общая ширина полосы гидролокационного обследования составила около 800 м, длина галсов — более 50 км, общая площадь съемки — более 40 км². Для проведения съемочных работ акватория проектируемого канала была поделена на 7 равных секций протяженностью 7,25 км каждая (см. рис. 1).

Анализ гидрометеорологической (гидрологической) обстановки прово-

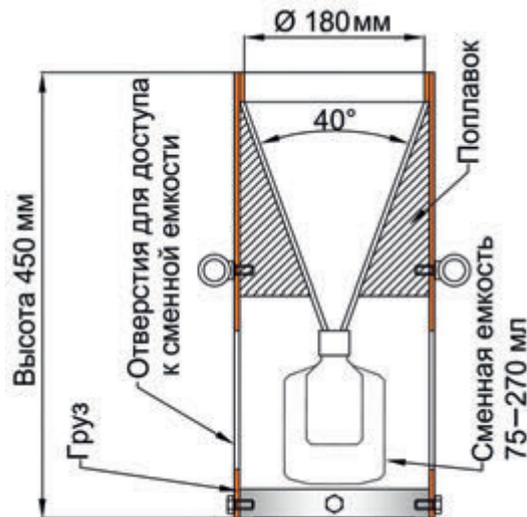


Рис. 2. Схема и фотография седиментационной ловушки ЛС-250-450 с сечением сбора 254 см²

дился на основании архивных и опубликованных данных многолетних наблюдений ФГБУ «ААНИИ». Сведения о морфолитодинамических, геолого-геоморфологических и литологических особенностях региона были получены при анализе собственных, архивных и опубликованных данных [1–3, 8–10, 14–16]. При этом использовались работы, посвященные вопросам, связанным с речными наносами и русловыми процессами в целом (основные из этих публикаций перечислены на веб-сайте [5]).

Оценка интенсивности литодинамических процессов

Формирование Северообского бара, на котором расположен рассматриваемый морской канал, обусловлено положением зоны смешения морских и пресных вод — депоцентра седиментосистемы, области действия маргинального фильтра. Здесь коагулируют и массово выпадают в осадок частицы пелитовой размерности, обладающие свойствами природных коллоидов. В пределах маргинального фильтра Оби значения потоков осадочного вещества достигают 1321 мг/(м²·сут) [4].

Действие маргинального фильтра в районе Северообского бара неоднократно визуально наблюдалось в спокойную ясную погоду. Темные прозрачные соленые воды Карского моря во время прилива проникают в толщу мутной пресной обской воды, оттесняя ее к берегам. Фронт взаимодействия этих вод сопровождается бурным пенообразованием.

Величина заносимости морского канала характеризуется тремя основными факторами — фоновым заилением

за счет осаждения взвеси, перемещениями влекомых наносов за счет ветрового волнения и под влиянием течений и перемещением/переносом донного материала вследствие ледовой экзарации.

Механизм взвешивания частиц определяется такими основными факторами, как:

- морфологические особенности морского дна;
- геометрическая форма, гидравлическая крупность, концентрация (мутность) частиц;
- шероховатость частиц;
- связанности между частицами, лежащими на дне;
- лобовое сопротивление движению частиц;
- физическая плотность вещества частиц и вязкость среды, зависящая от температуры и солености воды;
- средняя придонная скорость течений;
- распределение скоростей течений по глубине и ширине водной толщи;
- степень структурной турбулентности по вертикали и по горизонтали;
- циркуляционные течения;
- особенности поля волн в акватории и распределение их высот.

Под влекомыми принято понимать наносы, перемещающиеся в придонном слое потока путем перекачивания, скольжения, сальтации. При изменении скорости течения, глубины и других гидравлических элементов водного потока меняются условия движения наносов. Частицы, перенесшиеся потоком во взвешенном состоянии, могут стать влекомыми наносами, влекомые — могут перестать двигаться или перейти во взвешенное

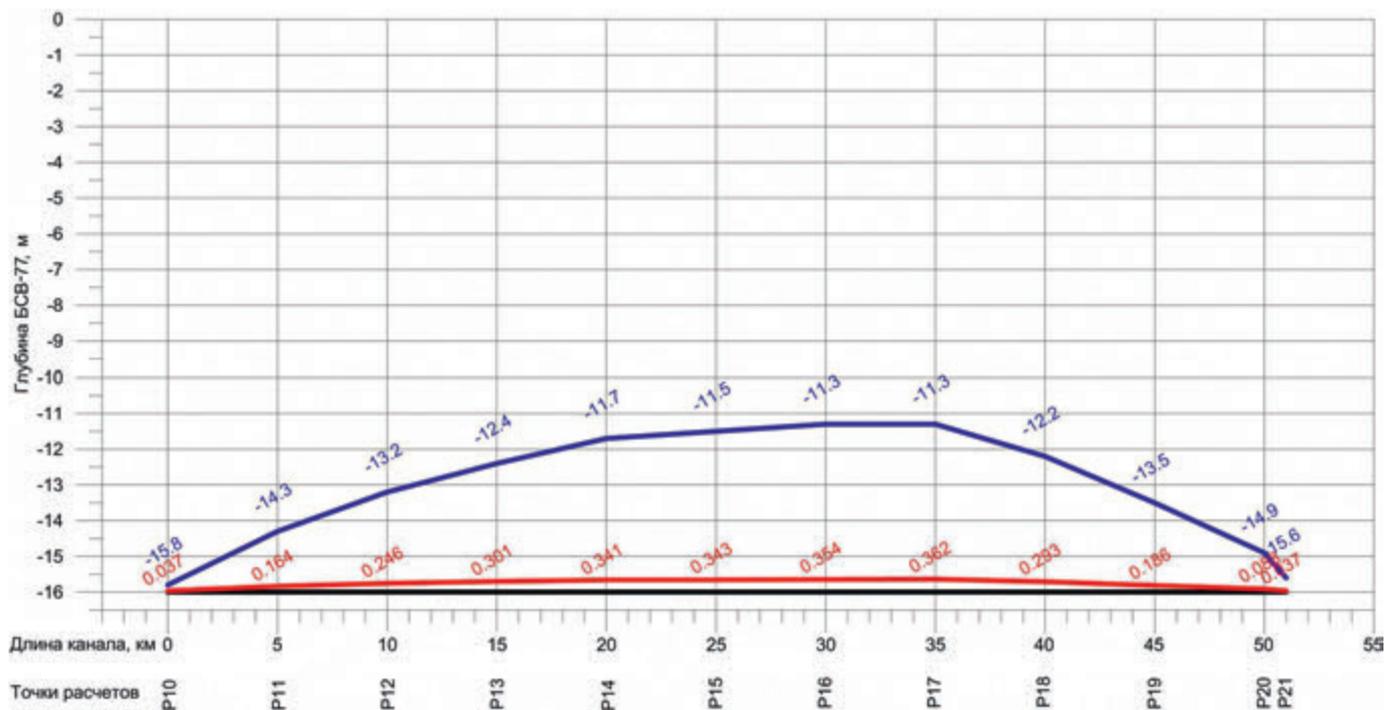


Рис. 3. Суммарные значения годового слоя наносов в морском судоходном канале порта Сабетта (красная линия). Синяя линия — естественная глубина. Черная линия — отметка дноуглубления минус 16 м в Балтийской системе высот 1977 года

состояние, неподвижные — прийти в движение.

Эстуарий Обской губы сочетает гидрологические характеристики и приливо-отливного моря, и реки, и залива. На перенос влекомых наносов в нем оказывают влияние также течения, характерные для вышеуказанных типов водоемов. Скорости стокового течения невелики (не более 4 см/с) и не оказывают воздействия на движение влекомых наносов. Скорости приливо-отливных течений значительны (максимальные из них — до 3 узлов), однако на сегодняшний день не существует достаточно хорошей методики для расчета перемещений влекомых наносов как для рек с постоянными стоковыми течениями, так и для реверсивных приливо-отливных течений.

Для оценки заносимости канала влекомыми наносами авторами статьи [6] ранее был произведен расчет по методике Л.А. Логачева [16]. Исходными данными для расчета являлись: состав и свойства грунтов; глубины моря в районе строительства канала; глубина прорези канала; высоты волнения 1%-ной обеспеченности; величины приливов и отливов; степень проявления сгонно-нагонных явлений; продолжительность безледного периода. Параметры волнового режима рассчитывались для ветров северных направлений, доминирующих в безледный период времени. Расчетные экстремаль-

ные высоты волн соответствуют экстремальным ветрам и, соответственно, максимальным нагонным значениям уровня. В результате расчетов были получены помесечные и годовые значения мощности слоя влекомых наносов H . Расчет производился для 11 точек (с юга на север), расположенных по оси канала с интервалом 5 км, для безледного периода (рис. 3, табл. 1). В качестве исходной использовалась отметка дноуглубления минус 16 м в Балтийской системе высот 1977 года (БСВ-77). Рассчитанные значения заносимости варьируют в пределах 37–362 мм/год с минимальными величинами на севере и юге канала и максимальными в его центральной части (см. рис. 3).

Метод сейсмической стратиграфии

Для оценки скоростей осадконакопления были изучены профили ГЛБО, совмещенные с НСП, отработанные по системе из 20 галсов (см. раздел «Методы исследований» и рис. 1), в сопоставлении с данными инженерно-геологического бурения [3, 15].

Практически на всех временных разрезах НСП прослеживаются оси синфазности, положения которых соответствуют границам стратиграфо-генетического комплекса, выделенного по данным бурения [15]. На приведенных на рис. 4 фрагментах съемки выделяется подошва глинистых осадков, проявляющаяся в виде неровного отражающего

горизонта с многочисленными амплитудными аномалиями, прерывающимися зонами выхода рассеянного газа в ослабленных зонах (см. рис. 4, А). На некоторых более мелководных (12–13 м) участках граница залегания глинистых отложений полностью экранирована поверхностью газового фронта (рис. 4, Б), расположенного на поддонной глубине 1,5–3,0 м.

Грунты в интервале отражений от дна и горизонта, выделенного по подошве глинистых отложений в верхней части временных разрезов, представлены аллювиально-морскими глинистыми илами и текучепластичными глинами верхнеолейстоцен-голоценового комплекса. Данные проб-отбора показали, что поверхностный слой грунтов представлен глинистыми илами с большим содержанием органических веществ и плотностью влажного грунта $(1,5 \div 1,6) \times 10^3$ кг/м³. Ниже по разрезу залегают аллювиальные, озерно-аллювиальные верхнеолейстоценовые отложения каргинского горизонта, представленные текучими супесями, пылеватыми и мелкими песками [3, 15].

Распределение мощности верхнеолейстоцен-голоценовых отложений по площади канала не является равномерным: на севере канала она варьирует в пределах 13–16 м, а в его центральной и южной частях граница стратиграфо-генетического комплекса распо-

ложена на поддонной глубине 22 м. Таким образом, скорости осадконакопления составляют 1,0–1,3 мм/год в северной части канала и до 1,9 мм/год в его центральной и южной частях.

Метод седиментационных ловушек

Седиментационные ловушки, улавливающие взвешенные и влекомые наносы, устанавливались на дно вдоль канала в безледный период (см. рис. 1). Полученные значения заносимости были экстраполированы на год. Средняя скорость осадконакопления по всей длине канала в среднем примерно составила:

- 100 г/(м²·сут) (май — июль 2012 г.);
- 43 г/(м²·сут) (август — сентябрь 2012 г.);
- 140 г/(м²·сут) с максимальными значениями 1 120 г/(м²·сут) в центральной части канала и минимальными величинами 100 г/(м²·сут) в его северной части (август — сентябрь 2013 г.).

С учетом средней плотности (влажного грунта) свежесоосажденных (1,17 × 10³ кг/м³) и консолидированных (1,3 × 10³ кг/м³) отложений [3, 15] скорость осадконакопления в морском судходном канале варьирует в пределах 31,2–349,4 мм/год.

Метод «искусственных каналов»

Метод «искусственных каналов» обычно заключается в проведении тестовых дноуглубительных работ с последующим наблюдением за их заносимостью с помощью промера глубин. Но в нашем случае этот метод был реализован без проведения тестового дноуглубления благодаря широко распространенной в районе исследования ледовой экзарации. Поскольку размеры борозд сопоставимы с размерами проектируемого канала, величины их заносимости должны быть с определенной долей вероятности близки между собой.

Анализ площадных обследований рельефа дна многолучевыми эхолотами в 2011–2013 годах позволил проанализировать динамику рельефа дна в исследованном районе. В северной части рассматриваемого канала (в секциях 7 и 6, см. рис. 1) были выделены две самые большие борозды ледовой экзарации различного размера. Более крупная из них, расположенная в секции 7, использовалась в качестве уменьшенной модели канала (табл. 1). Батиметрические карты выбранного сегмента и диаграммы глубин, проведенные вкрест простирания борозды,

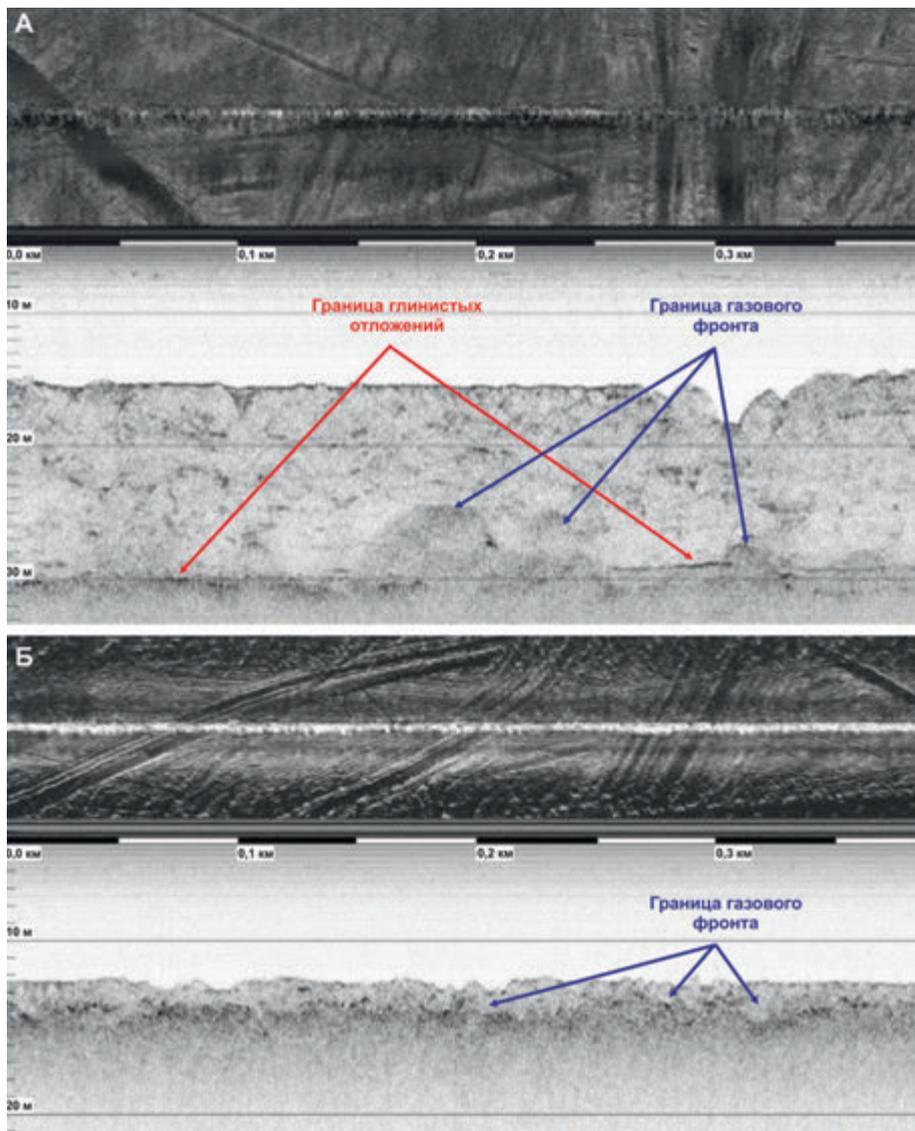


Рис. 4. Фрагменты совмещенных профилей ГЛО и НСП. Глубина моря 15–16 м (А) и 12–13 м (Б)

Таблица 1

Статистические данные для наиболее крупной борозды ледовой экзарации из выделенных в секциях 6 и 7

Параметр	Год		
	2011	2012	2013
Средняя глубина моря, м	15,8	15,8	15,8
Ширина борозды, м	80	80	80
Высота бортика обваловки, м	1,60	1,55	1,52
Размах борозды, м	4,80	4,37	4,02
Средняя глубина борозды, м	3,20	2,82	2,50
Средняя заносимость, мм/год	-	380	280

представлены на рис. 5. На фрагментах площадных обследований рельефа МЛЭ (см. рис. 5), выполненных в разные годы, хорошо прослеживается динамика изменений положения, глубины и заилиenia борозд выпахивания. В частности, глубина наиболее крупной борозды за два года сократилась

на 60–70 см (в 2011–2012 гг. она составляла 35–40 см, в 2012–2013 гг. — 25–30 см). Заилиение мелких борозд в 2011–2012 гг. происходило со скоростью 25–30 см/год, а в 2012–2013 гг. — со скоростью 15–20 см/год. Бортики обваловки более крупной борозды были размыты в 2011–2013 гг. на 5–10 см.

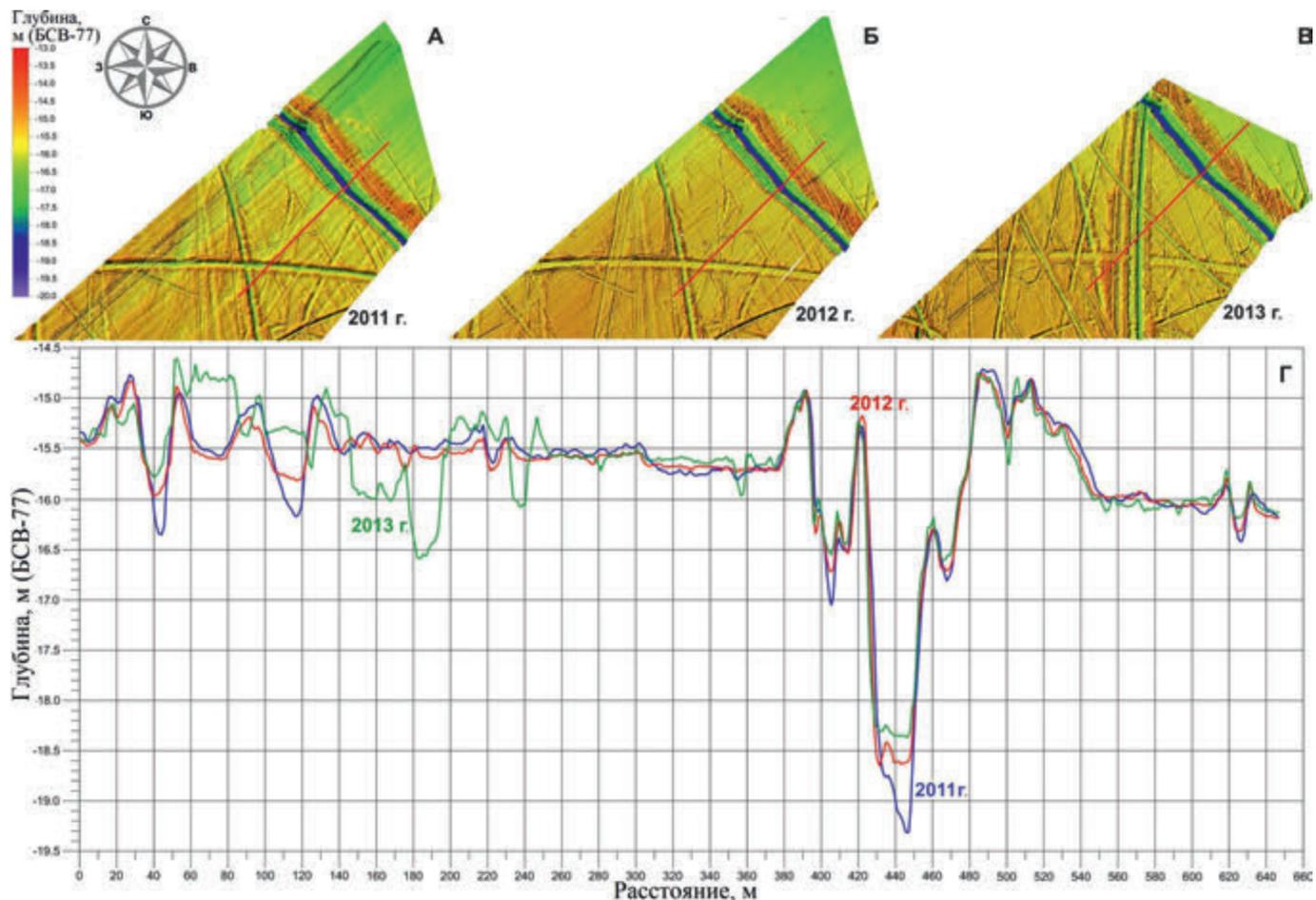


Рис. 5. Фрагменты 3D батиметрических карт морского судоходного канала порта Сабетта для секции 7 по результатам съемок в 2011, 2012 и 2013 гг. (А, Б, В соответственно) и графики глубин вкрест простираения наиболее крупной борозды (Г)

В секции 6 (со средней глубиной моря 14,5 м) была также выбрана самая крупная борозда. Ее размер уступал описанной выше (табл. 2), и она была названа средней. Результаты сравнения площадных обследований рельефа МЛЭ и батиметрических данных 2011–2013 гг., полученных при исследовании этой борозды, представлены на рис. 6.

Расчет объема наносов, вносимых в канал в результате ледовой эскарации

Результаты исследований прошлых лет [1–3, 8–10, 14–16 и др.] показали, что ледовая эскарация в северной части Обской губы, где расположен объект исследований, имеет повсеместное распространение.

Для оценки объемов наносов, вносимых ледовыми образованиями, были проведены укрупненный анализ и статистическая обработка данных ледовой эскарации, полученных при площадных обследованиях рельефа МЛЭ в 2011–2013 годах. Для этого морской канал был условно разбит на 7 секций (см. рис. 1), статистические параметры каждой из которых представлены в табл. 3.

Таблица 2
Статистические данные для средней по размеру борозды ледовой эскарации из выделенных в секциях 6 и 7

Параметр	Год		
	2011	2012	2013
Средняя глубина моря, м	14,3	14,3	14,3
Ширина борозды, м	58	58	58
Высота бортика обваловки, м	1,00	0,95	0,95
Размах борозды, м	2,50	2,20	2,00
Средняя глубина борозды, м	1,50	1,25	1,05
Средняя заносимость, мм/год	-	250	200

Если принять, что киль отдельного ледового образования имеет усредненную эллиптическую форму и что объем привнесенных им наносов равен четверти объема эллипсоида, соответствующего по геометрическим параметрам борозде выпахивания, пересекающей кромку канала, то общий годовой объем привнесенных в канал наносов V можно определить как сумму наносов, внесенных киллями новых ледовых образований:

$$V = \sum_{i=0}^N \frac{4\pi \cdot A_i \cdot H_i^2}{3 \cdot 4}$$

где N — общее количество новых ледовых образований, возникших за год; i — номер новой борозды; A_i , H_i — соответственно глубина и ширина i -й борозды, пересекающей кромку канала.

Объем привнесенных наносов будет распределен по длине канала неравномерно. Наибольшее их количество будет сосредоточено в северной его части. Это обусловлено более высокой плотностью борозд выпахивания и их большей глубиной в этом месте.

Суммарный годовой объем наносов, дополнительно привнесенный в

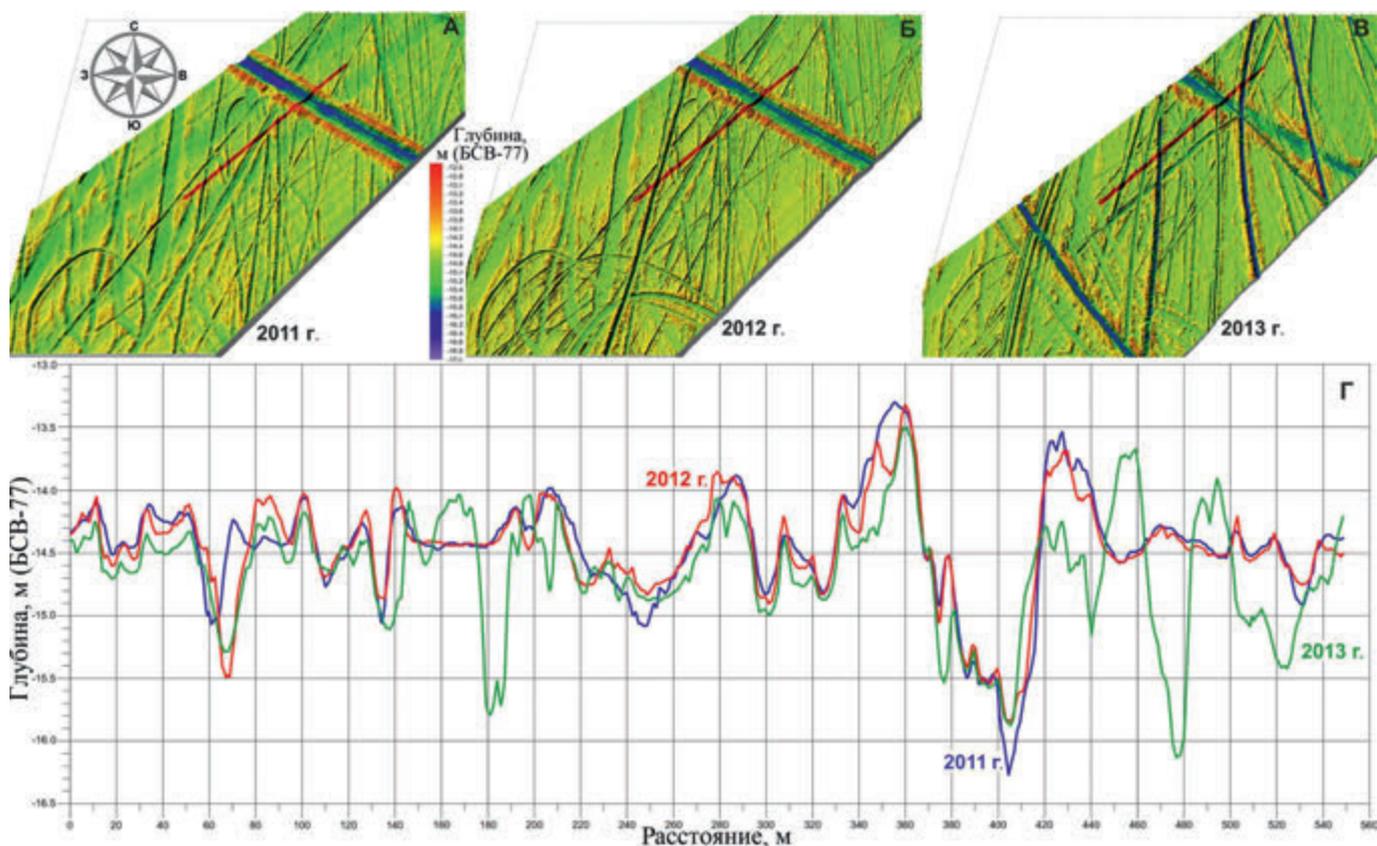


Рис. 6. Фрагменты 3D батиметрических карт морского судоходного канала порта Сабетта для секции 6: по результатам съемок в 2011, 2012 и 2013 гг. (А, Б, В соответственно) и графики глубин вкрест простираения средней борозды

Таблица 3

Параметры ледовой экзарации за 2011–2013 гг. в различных секциях морского судоходного канала порта Сабетта

Параметр	Секция						
	1	2	3	4	5	6	7
Средняя ширина борозд A_{cp} , м	17	18	19	18	19	23	28
Средняя глубина борозд H_{cp} , м	0,19	0,21	0,26	0,29	0,35	0,41	0,52
Преобладающее направление α , град.	25	20	25	10	15/105*	10/110*	5/120*
Количество новых борозд в год N	24	26	29	39	36	49	44
Средний объем наносов в секции V_i , м ³ /год	1380	1853	2850	3837	4763	11129	18785
Суммарный объем наносов V , м ³ /год	44597						

* Указаны два преобладающих направления.

канал, оценивается величиной $4,46 \times 10^4$ м³/год. Наносы, вносимые в канал килями ледовых образований, будут откладываться в основном вдоль кромок. При проектных длине и ширине морского канала соответственно 49 и 0,295 км величина усредненной по площади заносимости канала составит 3,1 мм/год.

Выводы

Величины заносимости для морского судоходного канала порта Сабетта, полученные авторами настоящей статьи ранее в результате теоретического расчета (37–362 мм/год [6]), под-

тверждены методом «искусственных каналов» (250–380 мм/год (2012 г.) и 200–280 мм/год (2013 г.)) и методом седиментационных ловушек (31,2–349,4 мм/год). Фоновое осадконакопление, обусловленное в первую очередь действием маргинального фильтра и составляющее не более 1,8 мм/год, оценено методом сейсмостратиграфии. Дополнительные величины заносимости канала (до 3,1 мм/год) определены при расчете объема наносов, вносимых в канал в результате ледовой экзарации.

Полученные значения для годового слоя наносов в морском канале порта

Сабетта несколько ниже усредненных величин заносимостей существующих гидротехнических сооружений в акваториях Российской Федерации. Основной причиной этого является небольшая продолжительность летнего (безледного) периода и, соответственно, периода штормов, в течение которого происходит передвижение основной массы влекомых наносов. Тем не менее интенсивность литодинамических процессов в рассмотренном канале оценивается как высокая/очень высокая в его северной части и как средняя/высокая в его центральной и южной частях. 🌐

Список литературы

1. Инженерные гидрометеорологические изыскания для проектирования объектов по сжижению и отгрузке природного газа в районе п. Сабетта: технический отчет: в 3 т. СПб.: Изд-во ААНИИ, 2011.
2. Комплекс работ по проведению гидрометеорологических исследований с целью дополнения и уточнения данных для проектирования объектов морского порта в районе п. Сабетта на полуострове Ямал, включая создание судоходных морского и подходного каналов в Обской губе и предоставление данных по выбору грузовых ледовых площадок в районе п. Сабетта для постановки судов под разгрузку, проведение мониторинга состояния ледового припая на время проведения подготовительных и грузовых работ в 2013 г.: технический отчет по проекту. СПб.: Изд-во ААНИИ, 2013. 337 с.
3. Летние экспедиционные работы в районе северо-восточной части п-ва Ямал: пояснительная записка по результатам дополнительных работ по объекту. Мурманск: изд-во АМИГЭ, 2010. 161 с.
4. *Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
5. Литература по русловым процессам // Веб-сайт «Русловые процессы». Дата обращения: 01.05.2017. URL: <http://bedload.narod.ru/Channel/list.htm>.
6. *Логвина Е.А., Гладыш В.А., Кубышкин Н.В., Нестеров А.В., Виноградов Р.А.* Оценка заносимости подходного и морского каналов к порту в поселке Сабетта полуострова Ямал // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2012. № 4. С. 105–120.
7. *Лоция Карского моря. Часть II. Обь-Енисейский район.* СПб.: Изд-во ГУНиО МО РФ, 2015.
8. Морские исследования в северной части Обской губы (район мыса Дровяной и о-ва Халэвнго) для выбора местоположения морского искусственного сооружения, включающего завод по сжижению природного газа, хранилище природного газа и терминал по отгрузке сжиженного природного газа и других углеводородов: технический отчет. Мурманск: Изд-во АМИГЭ, 2006. 106 с.
9. Обоснование необходимости сооружения ледозащитной дамбы и рекомендации по ее оптимальному расположению на основе анализа исходных данных: научно-технический отчет по проекту. СПб.: Изд-во ААНИИ, 2012. 126 с.
10. Освоение Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения. Строительство объектов морского порта в районе пос. Сабетта на полуострове Ямал, включая создание судоходного подходного канала в Обской губе (объекты подготовительного периода): технический отчет об инженерно-гидрометеорологических изысканиях. СПб.: Изд-во НПА «Севморгеология», 2011. ОМ 3.2. 87 с.
11. Порт Сабетта // Веб-сайт ГК «СК МОСТ». Дата обращения: 02.11.2016. URL: <http://skmost.ru/objects/gidro/port-sabetta>.
12. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях / под ред. М.Н. Костяницына, Л.А. Логачева, Г.А. Зенковича. М.: Гидрометеоздат, 1975. 239 с.
13. *Спирин А.М., Чачин Д.А., Смирнов А.А.* Круглогодичная навигация на порт Сабетта // *Арктика: экология и экономика*. 2015. № 3 (19). С. 88–95.
14. Строительство объектов морского порта в пос. Сабетта полуострова Ямал, включая создание судоходного подходного канала в Обской губе. Морской канал. Инженерно-гидрографические работы и геофизические исследования: технический отчет об инженерно-гидрографических работах и геофизических исследованиях. СПб.: Изд-во ЗАО «НПП «Севзапгидропроект», 2011. Т. 4. 79 с.
15. Строительство объектов морского порта в районе пос. Сабетта на полуострове Ямал, включая создание судоходного подходного канала в Обской губе (морской канал): технический отчет по объекту: в 2 т. Мурманск: Изд-во АМИГЭ, 2011.
16. *Щербаков В.А., Мотычко В.В., Сличенков В.И., Константинов В.М., Самойлович Ю.Г., Соколов Г.Н., Петрова В.И., Опекунов А.Ю., Николаев В.В., Котов С.Р., Карташев А.О., Сазонов В.О.* Геоэкологический атлас прибрежно-шельфовой зоны юго-западной части Карского моря (северная часть Обской губы и Байдарацкая губа). СПб.: Изд-во ФГУП «ВНИИОкеангеология», 2010. 80 с.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ



«ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ»,
«ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ»,
«ГЕОТЕХНИКА» И «ГЕОРИСК»

www.geomark.ru

3. Karta del'ty reki Volga [Map of the Volga River delta]. Gor'kiy: Glavvodput' MRF RSFSR, 1979 (Rus.).
4. Korotaev V.N., Ivanov V.V. Ruslovye deformatsii na Nizhney Volge [Channel deformations in the Lower Volga] // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya [Bulletin of Moscow University. Ser. 5. Geography]. 2000. № 6. S. 37–43 (Rus.).
5. Navigatsionnaya karta reki Volgi (Volgogradskiy gidrouzel — Bertyul') [Navigation chart of the Volga River (Volgograd water-engineering system — Bertyul')]. Gor'kiy: Izd-vo Volzhskogo basseynovogo upravleniya puti MRF RSFSR, 1965 (Rus.).
6. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1971–1975 gg. i ves' period nablyudeniya). T. 12. Nizhnee Povolzh'e i Zapadnyy Kazakhstan. Vyp. 1. Nizhnee Povolzh'e [The main hydrological characteristics (for 1971–1975, and for the entire observation period)]. L.: Gidrometeoizdat, 1980 (Rus.).
7. Rimskiy-Korsakov N.A., Dolotov Yu.S., Pronin A.A. Tekhnicheskie sredstva issledovaniya rel'efa dna i osadochnoy tolshchi estuarnykh zon Belogo morya [Technical means to study the bottom topography and sedimentary strata of the estuarial zones in the White Sea] // Okeanologiya [Oceanology]. 2009. T. 49. № 3. S. 468–473 (Rus.).
8. STO GU GGI 08.29-2009. Uchet ruslovogo protsessa na uchastkakh podvodnykh perekhodov truboprovodov cherez reki [Taking the river bed evolution in areas of underwater pipeline crossings into account]. SPb.: Nestor-Istoriya, 2009. 184 s. (Rus.).
9. Ust'evaya oblast' Volgi: gidrologo-morfologicheskie protsessy, rezhim zagryaznyayushchikh veshchestv i vliyaniye kolebaniy urovnya Kaspiskogo morya [The estuarial area of the Volga River: hydrologic-morphological processes, pollutant regime, and influence of fluctuations in the Caspian Sea level]. M.: GEOS, 1998. 278 s. (Rus.).
10. Chalov R.S. Ruslovedeniye: teoriya, geografiya, praktika. T. 1: Ruslovye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel [Riverbed science: theory, geography, practice. V. 1. Channel processes: factors, mechanisms, manifestation forms, and conditions of riverbed formation]. M.: Izd-vo LKI, 2008. 608 s. (Rus.).

ASSESSING THE INTENSITY OF LITHODYNAMIC PROCESSES IN THE SEAWAY NAVIGATION CANAL OF THE SABETTA PORT

GLADYSH V.A.

Head of the Sector of Sea Geologic-Geophysical Research Methods of the "I.S. Gramberg All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean" FSBI, chief engineer of the "Lenark" LLC, Saint Petersburg, rusonic@bk.ru

LOGVINA E.A.

Senior scientist of the Laboratory for Unconventional Hydrocarbons Resources of the "I.S. Gramberg All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean" FSBI, geologist of the "Lenark" LLC, Saint Petersburg, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), liza_logvina@mail.ru

NESTEROV A.V.

Research scientist of the "Arctic-Shelf" laboratory of the "Arctic and Antarctic Research Institute" FSBI, Saint Petersburg, nest@aari.ru

KUBISHKIN N.V.

Senior scientist of the "Arctic-Shelf" laboratory of the "Arctic and Antarctic Research Institute" FSBI, PhD (Candidate of Science in Physics and Mathematics), Saint Petersburg, kuba@arctic-shelf.com

The seaway navigation canal (the survey target) is a subaquatic part of the Sabetta port that is a key infrastructure facility of the Yamal LNG project.

The authors of this paper used their own, published and stock materials of integrated engineering surveys performed in 2011–2013. To assess the sediment accumulation rate, they used sediment traps that were installed along the canal in the field seasons in

2012 and 2013. In 2011–2013, the authors carried out an areal survey of the underwater topography with the use of multibeam echo sounders (MBES). To study sea-bottom deformations and the upper part of the section, they performed a survey with the SONIC-9L marine hydroacoustic complex that included a three-frequency side-scan sonar (SSS, frequencies: 100, 200, 350 kHz) and a high-resolution seismoacoustic profilograph (HRSP, frequencies:

6–16 kHz, radiation pulse duration: 100 μs). The surveys by MBES, SSS and HRSP were carried out using a system of lines (traverses) that were parallel to the canal centerline (the distance between the neighbouring lines was 40 m). The total width of the area (strip) studied by SSS was about 800 m, the length of the traverses was more than 50 km, the survey area was more than 40 km².

The sediment accumulation of the seaway canal is characterized by such three main factors as: background silting due to suspension sedimentation; bed-load movement due to wind waves and currents; and transportation of bottom material due to ice gouging. The authors had calculated (estimated) the bed load accumulation in the canal before, with the use of L.A. Logachev's method. The calculated values of the sediment accumulation had been 37–362 mm/year (they had been minimal in the north and in the south of the canal, and maximal in its central part).

To estimate the sediment accumulation rates, the authors combined surveys by SSS and HRSP, and compared the results with drilling (stratigraphic) data. The boundary of the revealed stratigraphic-genetic complex is at various sub-bottom depths that were

equal to 13–22 m. Thus, the sediment accumulation rates were 1.0–1.3 mm/year in the north part, and up to 1.9 mm/year in the central and south parts of the canal.

The above mentioned sedimentation traps (that caught suspended load and bed load) were placed on the bottom of the canal in the ice-free period.

The obtained values (43–120 g/(m²·day)) were extrapolated for a year.

The sediment accumulation rates (taking into account the average density of the asdeposited/consolidated sediments, which was equal to 1.17/1.3 kg/m³) were 31.2–349.4 mm/year.

The calculations by the artificial canals method resulted in high sediment accumulation rates (up to 380 mm/year in 2012, and up to 280 mm/year in 2013). For this purpose, the largest ice gouge scars were chosen. The dynamics of the bottom topography in the studied area was analyzed using the MBES data acquired in 2011–2013.

To assess the volume of sediments introduced by ice bodies, the authors analyzed and statistically processed the ice gouge data acquired in 2011–2013. The estimated total annual volume of sediments that were additionally brought into the canal is equal to 4.46×10^4 m³/year.

The sediment accumulation rate averaged by the canal area will be 3.1 mm/year for the project seaway canal length of 49 km, and the project canal width of 0.295 km.

The obtained values of the annual sediment layer in the canal are slightly lower than these values for the existing hydraulic structures in the water areas of the Russian Federation. The main reason is the short duration of the summer (ice-free, storm) period when the main volumes of bed load are transported. Nevertheless, the estimated intensities of lithodynamic processes in the seaway canal of the Sabetta port are high or very high in the north, and medium or high in the center and in the south of the canal. 

References

1. Inzhenernye gidrometeorologicheskie izyskaniya dlya proektirovaniya ob"ektov po szhizheniyu i otgruzke prirodnogo gaza v rayone p. Sabetta: tekhnicheskii otchet: v 3 t. [Engineering hydrometeorological surveys to design objects for liquefaction and shipment of natural gas in the region of the Sabetta settlement: a technical report]. SPb.: Izd-vo AANII, 2011 (Rus.).
2. Kompleks rabot po provedeniyu gidrometeorologicheskikh issledovaniy s tsel'yu dopolneniya i utochneniya dannykh dlya proektirovaniya ob"ektov morskogo porta v rayone p. Sabetta na poluostrove Yamal, vklyuchaya sozdanie sudokhodnykh morskogo i podkhodnogo kanalov v Obskoy gube i predostavlenie dannykh po vyboru gruzovykh ledovykh ploshchadok v rayone p. Sabetta dlya postanovki sudov pod razgruzku, provedenie monitoringa sostoyaniya ledovogo pripaya na vremya provedeniya podgotovitel'nykh i gruzovykh rabot v 2013 g.: tekhnicheskii otchet po proektu [A work package on hydrometeorological surveys to supplement and improve data for designing of objects of the seaport in the region of the Sabetta settlement on the Yamal Peninsula, including: the creation of the seaway navigation canal and of the approach canal in the Gulf of Ob; the data submission on the selection of ice load platforms in the region of the Sabetta settlement for unloading of vessels; the monitoring of the state of fast ice for the period of preliminary and loading operations in 2013: a technical report on the project]. SPb.: Izd-vo AANII, 2013. 337 c. (Rus.).
3. Letnie ekspeditsionnye raboty v rayone severo-vostochnoy chasti p-va Yamal: poyasnitel'naya zapiska po rezul'tatam dopolnitel'nykh rabot po ob"ektu [Summer expedition work in the northeast part of the Yamal Peninsula: an explanatory note on the results of additional work on the project]. Murmansk: izd-vo AMIGE, 2010. 161 s. (Rus.).
4. Lisitsyn A.P. Marginal'nyy fil'tr okeanov [The marginal filter of oceans] // Okeanologiya [Oceanology]. 1994. T. 34. № 5. S. 735–747 (Rus.).
5. Literatura po ruslovyim protsessam [Literature on channel processes] // Veb-sayt «Ruslovye protsessy» [The “Channel Processes” website]. Data obrashcheniya: 01.05.2017. URL: <http://bedload.narod.ru/Channel/list.htm> (Rus.).
6. Logvina E.A., Gladyshev V.A., Kubyshev N.V., Nesterov A.V., Vinogradov R.A. Otsenka zanosimosti podkhodnogo i morskogo kanalov k portu v poselke Sabetta poluostrova Yamal [An assessment of the sediment accumulation in the seaway navigation canal and in the approach canal to the port in the Sabetta settlement on the Yamal Peninsula] // Problemy Arktiki i Antarktiki [Problems of the Arctic and Antarctic]. 2012. № 4. S. 105–120 (Rus.).
7. Lotsiya Karskogo morya. Chast' II. Ob'-Eniseyskiy rayon [Sailing directions of the Kara Sea. Part II. The Ob-Yenisey region]. SPb.: Izd-vo GUNiO MO RF, 2015 (Rus.).
8. Morskie issledovaniya v severnoy chasti Obskoy guby (rayon mysy Drovyanoy i o-va Khalevngo) dlya vybora mestopolozheniya morskogo iskusstvennogo sooruzheniya, vklyuchayushchego zavod po szhizheniyu prirodnogo gaza, khranilishche prirodnogo gaza i terminal po otgruzke szhizhennogo prirodnogo gaza i drugikh uglevodородov: tekhnicheskii otchet [Offshore surveys in the northern part of the Gulf of Ob (the region of the Drovyanoy cape and of the Khalevngo island) to choose the location of a sea man-made structure, including a plant for liquefaction of natural gas, a storage of natural gas, and a terminal for shipment of liquefied natural gas and other hydrocarbons: a technical report]. Murmansk: Izd-vo AMIGE, 2006. 106 s. (Rus.).
9. Obosnovanie neobkhodimosti sooruzheniya ledozashchitnoy damby i rekomendatsii po ee optimal'nomu raspolozheniyu na osnove analiza iskhodnykh dannykh: nauchno-tekhnicheskii otchet po proektu [Justification of the need for construction of an ice protection dam, and recommendations on its optimal location on the basis of an analysis of initial data: scientific and technical report on the project]. SPb.: Izd-vo AANII, 2012. 126 s. (Rus.).

10. Osvoenie Yuzhno-Tambeyskogo gazokondensatnogo mestorozhdeniya. Stroitel'stvo ob"ektov morskogo porta v rayone pos. Sabetta na poluostrove Yamal, vklyuchaya sozdanie sudokhodnogo podkhodnogo kanala v Obskoy gube (ob"ekty podgotovitel'nogo perioda): tekhnicheskii otchet ob inzhenerno-gidrometeorologicheskikh izyskaniyakh [Development of the South Tambey gas condensate field. Construction of seaport facilities in the region of the Sabetta settlement on the Yamal Peninsula, including creation of the approach navigation canal in the Gulf of Ob (facilities of the preliminary period): a technical report on engineering-hydrometeorological surveys]. SPb.: Izd-vo NPA «Sevmorgeologiya», 2011. OM 3.2. 87 s. (Rus.).
11. Port Sabetta [The Sabetta port] // Veb-sayt GK «SK MOST» [The “SK MOST” GC website]. Data obrashcheniya: 02.11.2016. URL: <http://skmost.ru/objects/gidro/port-sabetta> (Rus.).
12. Rukovodstvo po metodam issledovaniy i raschetov peremeshcheniya nanosov i dinamiki beregov pri inzhenernykh izyskaniyakh [A manual on the methods of research and calculation of bed load transport and coast dynamics for engineering surveys] / pod red. M.N. Kostyanitsyna, L.A. Logacheva, G.A. Zenkovicha [edited by M.N. Kostyanitsyn, L.A. Logachev, G.A. Zenkovich]. M.: Gidrometeoizdat, 1975. 239 s. (Rus.).
13. Spirin A.M., Chachin D.A., Smirnov A.A. Kruglogodichnaya navigatsiya na port Sabetta [Year-round navigation to the Sabetta port] // Arktika: ekologiya i ekonomika [The Arctic: Ecology and Economy]. 2015. № 3 (19). S. 88–95 (Rus.).
14. Stroitel'stvo ob"ektov morskogo porta v pos. Sabetta poluostrova Yamal, vklyuchaya sozdanie sudokhodnogo podkhodnogo kanala v Obskoy gube. Morskoy kanal. Inzhenerno-gidrograficheskie raboty i geofizicheskie issledovaniya: tekhnicheskii otchet ob inzhenerno-gidrograficheskikh rabotakh i geofizicheskikh issledovaniyakh [The construction of seaport facilities in the Sabetta settlement on the Yamal Peninsula, including the creation of the approach navigation canal in the Gulf of Ob. The seaway canal. The engineering-hydrographic and geophysical surveys: a technical report on engineering-hydrographic and geophysical surveys]. SPb.: Izd-vo ZAO «NPP “Sevzapgidroproekt”», 2011. T. 4. 79 s. (Rus.).
15. Stroitel'stvo ob"ektov morskogo porta v rayone pos. Sabetta na poluostrove Yamal, vklyuchaya sozdanie sudokhodnogo podkhodnogo kanala v Obskoy gube (morskoy kanal): tekhnicheskii otchet po ob"ektu: v 2 t. [The construction of seaport facilities in the region of the Sabetta settlement on the Yamal Peninsula, including the creation of the approach navigation canal in the Gulf of Ob (seaway canal)]. Murmansk: Izd-vo AMIGE, 2011 (Rus.).
16. Shcherbakov V.A., Motychko V.V., Slichenkov V.I., Konstantinov V.M., Samoylovich Yu.G., Sokolov G.N., Petrova V.I., Opekunov A.Yu., Nikolaev V.V., Kotov S.R., Kartashev A.O., Sazonov V.O. Geoekologicheskii atlas pribrezhno-shel'fovoy zony yugo-zapadnoy chasti Karskogo morya (severnaya chast' Obskoy guby i Baydaratskaya guba) [A geoecological atlas of the coastal-and-shelf zone of the southwest part of the Kara Sea (the northern part of the Gulf of Ob, and the Gulf of Baidarata)]. SPb.: Izd-vo FGUP «VNIIOkeangeologiya», 2010. 80 s. (Rus.).

ENGINEERING-GEOPHYSICAL STUDY OF ACTIVE TECTONIC FAULTS IN SOUTHERN YAKUTIA

ERMAKOV A.P.

Leading researcher of the Department of Seismometry and Geoacoustics, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, ermakov@geol.msu.ru

SKOBELEV A.D.

Engineer of the Department of Geophysical Methods of Earth Crust Study, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, leading specialist of the “RGI” LLC, Moscow, askobelev.msu@gmail.com

STROM A.L.

Chief expert of the Geodynamics Research Center in the Electric Power Industry — branch of the “Hydroproject Institute” JSC, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, strom.alexandr@yandex.ru

BOGDANOV M.I.

General director of the “RGI” LLC, PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, mail@igiis.ru

MODIN I.N.

Professor of the Department of Geophysical Methods of Earth Crust Study, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Technics), Moscow, imodin@yandex.ru

VLADOV M.L.

Head of the Department of Seismometry and Geoacoustics, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Physics and Mathematics), professor, Moscow, vladov@geol.msu.ru

In areas with active tectonics, underground and above-ground line engineering structures inevitably cross tectonic faults. When designing a crossing of a line structure with a fault zone, it is necessary to take into account

the geodynamic situation in this zone. Depending on this, the route of the line structure, the way of its laying, its constructional features in the crossing area are determined.

The main objectives of study of tectonic faults are to acquire the initial data for the development of economically justified and safe designs of crossings of line structures with fault zones or for