



УДК 551.462.5

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.46>

Динамика эрозионной депрессии на входе в Калининградский залив

Р. Б. Закиров

*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, г. Калининград
Институт океанологии им. П. П. Шишова РАН, г. Москва*

Б. В. Чубаренко

Институт океанологии им. П. П. Шишова РАН, г. Москва

С. П. Сологуб, А. В. Шушарин

Северо-Западный бассейновый филиал ФГУП «Росморпорт», г. Калининград

Аннотация. Задачи работы: провести анализ основных морфометрических характеристик эрозионной депрессии на входе в Балтийский пролив, связывающий Калининградский залив с Балтийским морем, выявить закономерности ее эволюции за 9-летний период (2008–2016 гг.) и выдвинуть гипотезу о механизмах ее образования. Динамика морфометрических характеристик эрозионной депрессии оценивалась путем сопоставления данных цифровой модели рельефа, рассматривались изменения очертаний и смещения вершин депрессии, динамика глубин вдоль выделенных продольного и поперечного галсов, а также расчетные объемы глубинной части депрессии от изобат 21, 25, 27 м до ее максимальной глубины. В целом за исследуемый 9-летний период объем депрессии увеличивался, его рост в среднем – 2450 м³/год. Рост был не монотонный, отклонение от линии тренда составляло от –9 до 6 %. Минимум объема отмечался в период 2011–2013 гг. По отношению к минимально достигнутой за период исследования величине процентное изменение объема доходило до 27 %. В морфометрической структуре депрессии отмечены две вершины и три эрозионные ложбины, вытянутые в разные стороны от вершин, – северная, примоловая и огибающая, которые постепенно увеличивались. Синхронности в изменениях положения центральной и примоловой вершин не наблюдалось, но в целом обе вершины углубились примерно на 1 м. Анализ динамики глубин вдоль профилей показал, что происходил сильный подмыв основания стенки южного мола. Мористый склон депрессии условно стабилен, а внутренний немного сдвинулся вглубь канала на расстояние около 10 м. Предполагается, что эрозионная депрессия поддерживается сильными течениями со стороны северных румбов за счет взаимодействия вдольберегового морского течения и выдвинутых в море оградительных молов. Северный мол, значительно выдаваясь в море, уменьшает сечение потока, идущего с севера на юг, и способствует ускорению огибающего его течения. Этот поток, взаимодействуя с оголовком южного мола, отражается от него, формирует центральную вершинную область и северную ложбину, а затем огибает оконечность южного мола с двух сторон, формируя выходящие рукава примоловой и огибающей ложбин депрессии. Эрозионная депрессия не достигла состояния равновесия и продолжает увеличивать свои размеры. Сдвиг бровки внутреннего склона свидетельствует о медленном расползании депрессии вглубь канала.

Ключевые слова: донный рельеф, динамика, эрозионная депрессия, вдольбереговой поток наносов, Балтийское море.

Для цитирования: Динамика эрозионной депрессии на входе в Калининградский залив / Р. Б. Закиров, Б. В. Чубаренко, С. П. Сологуб, А. В. Шушарин // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 26. С. 46–59. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.46>

Введение

Объектом исследования является эрозионная депрессия, расположенная на морской оконечности пролива¹, соединяющего Калининградский/Вислинский залив с акваторией Гданьского залива Балтийского моря. Депрессия примыкает к оголовку оградительного южного мола и пересекает фарватер канала с юга на север (рис. 1).

Образовалась депрессия после строительства выдвинутых в море оградительных молов в XIII в., когда были приняты меры к сужению пролива для усиления промывного режима и, как следствие, естественному углублению русла. С целью защиты выходного фарватера от вдольберегового транспорта донных наносов с морской стороны были сооружены сначала южный (1767–1768 гг.), а затем и северный (1840 г.) молы путем наброски каменных глыб. Молы были выдвинуты в море до отметки глубин 5,5 м, в результате чего глубина русла пролива увеличилась с 3 до 7 м. В период 1871–1887 г. была проведена реконструкция (длина молов была доведена до отметки глубин 10 м) [Басс, 2007], в итоге уже к 1903 г. депрессия приобрела отчетливые контуры с глубинами до 11–14 м. В начале XXI в. максимальная глубина депрессии достигла 28,5 м, а после реконструкции оконечностей молов в 2006–2008 гг. увеличилась до 31 м [Басс, Жиндарев, 2011; Chubarenko, Babakov, 2016].

Южный мол, являясь гидротехническим сооружением, находится в неблагоприятных условиях, так как наличие депрессии создает угрозу устойчивости его морской оконечности, а постоянная и даже усиливающаяся в последнее время абразия морского берега южнее мола создает угрозу размыва его основания [Басс, Жиндарев, 2011].

Природа образования эрозионной депрессии на входе в Калининградский залив до конца не ясна. Доминирует представление о том, что депрессия является типичным морфометрическим образованием, возникающим при взаимодействии вдольберегового потока и выдвинутых в море гидротехнических сооружений, при этом ее форма и наличие вдольберегового простираения могут указывать на направленность вдольберегового потока наносов [Кнапс, 1952; Бабаков, 2008; Chubarenko, Babakov, 2016].

Нестабильные эрозионные образования (депрессии) на проходных участках морских каналов являются распространенной проблемой. В зарубежной литературе этой проблеме посвящены работы по изучению подмыва мостовых опор [Kirkil, Constantinescu, Ettema, 2005], формированию эрозии на извилистых участках русел рек [Flow Structure and ... , 2012], на участках

¹ Пролив в технической литературе называют входными воротами Калининградского морского канала (КМК) [Давыденко, 2011], а в научной литературе его называют Балтийским проливом [Chubarenko, Margonski, 2008].

выхода крупных рек и каналов в открытое море [Kjerfve, Shao, Stapor, 1979; Steven, Hughes, Kamphuis, 1996; Hughes, 2002]. Во всех этих работах в качестве иницирующего механизма образования эрозионных депрессий рассматривается турбулентное течение, возникающее при взаимодействии потока с препятствием или из-за резкого расширения потока. Даже разработано специальное указание для гидротехников, в котором говорится о необходимости особого внимания к природным процессам в морских каналах, так как существует множество неудачных примеров антропогенного вмешательства в их естественный ход [Connecticut Department of ... , 2002]. Поэтому при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений гидротехникам рекомендуется проводить долгосрочный прогноз образования и эволюции эрозионных процессов с применением современных трехмерных математических моделей типа LES (Large Eddy Simulation) [Connecticut Department of ... , 2002; Acharya, Acharya, Duan, 2013]. Но на практике моделирование не всегда дает положительный результат из-за большого количества переменных, поэтому регулярный мониторинг эрозионных образований с использованием ГБО (гидролокатор бокового обзора) и многолучевых эхолотов остается главным инструментом в изучении каждого частного случая [Yutao Guan, Flood, 2010].

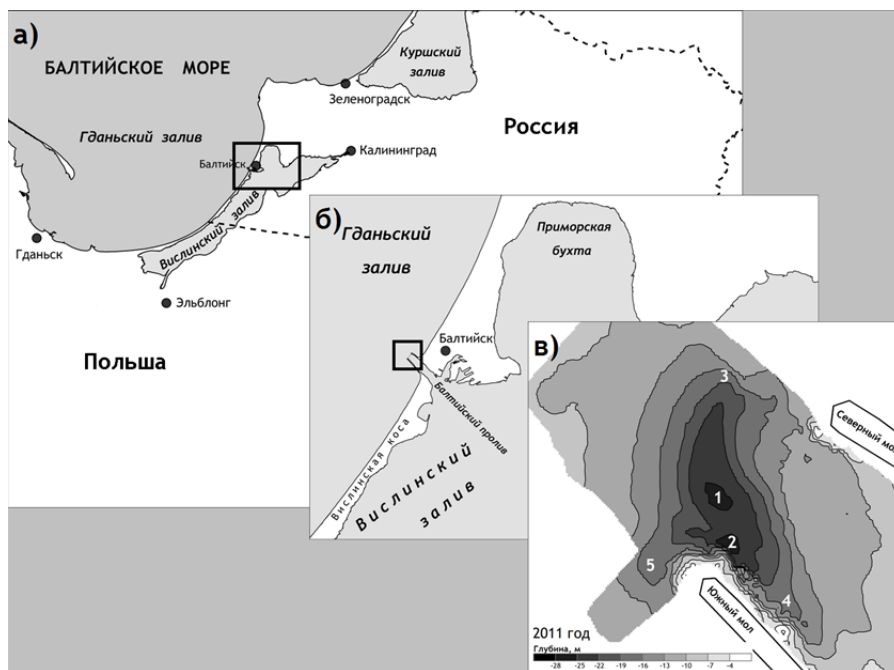


Рис. 1. Район исследования: а) Юго-Восточная Балтика, б) Балтийский пролив, в) эрозионная депрессия на входе в Калининградский залив. Фрагмент (в) иллюстрирует положение вершин и ложбин в пределах депрессии: 1 – центральная вершинная область, 2 – примоловая вершинная область, 3 – северная ложбина, 4 – вдольмоловая ложбина, 5 – огибающая ложбина

Целью настоящей работы было определение основных морфометрических характеристик депрессии, выявление закономерностей эрозионной эволюции за 9-летний период (2008–2016 гг.) и формирование гипотез о механизмах ее образования.

Район исследований

Балтийский пролив, соединяющий Калининградский/Вислинский залив с акваторией Гданьского залива Балтийского моря, имеет длину 2 км, ширину 0,4 км, проектная глубина фарватера судоходного канала – 10,5 м. Течения в проливе по своей структуре делятся на однослойные (имеют максимальную повторяемость), двухслойные и двухструйные и характеризуются постоянной сменой направлений [Лазаренко, 1971]. Двухструйные и двухслойные течения формируются только во время перестройки режима течений, связанной с изменением ветрового воздействия или колебаниями уровня моря [Chubarenko, Margonski, 2008]. Средняя скорость однослойного потока в проливе около 10–40 см/сек, при двухслойном или двухструйном режимах течений скорости небольшие, около 10–20 см/сек [Лазаренко, 1971].

Стабильное существование эрозионной депрессии уживается с процессом регулярного образования песчаных отмелей во входной части пролива (сразу за депрессией по направлению вглубь канала), и далее по всей его длине. Отмели образуются морским песком [Чечко, 2007], принимающим участие во вдольбереговом транспорте наносов и заносимым в канал входными течениями, причем весь этот поток преодолевает депрессию без каких-либо потерь. Объемы ежегодных дноуглубительных работ в проливе в период 2008–2016 гг. составляли от 2 до 63 тыс. м³, причем разборка отмели на участке Калининградского морского канала (КМК) за эрозионной депрессией проводилась ежегодно.

Материалы и методика

Эрозионная депрессия была охвачена данными ежегодных (2008–2016 гг.) промеров глубин на входе в КМК, приведенных к единому многолетнему уровню Балтийского моря. Наибольший охват района исследования по площади имели промеры, выполненные в 2011 и 2012 гг., они охватывали депрессию до изобаты 18 м (глубины окружающего участка прибрежной зоны составляют 10–12 м). Практически все промеры выполнялись весной (апрель–май), за исключением 2009 и 2015 гг., когда работы проводились летом (июнь и август).

Динамика морфометрических характеристик эрозионной депрессии оценивалась путем сопоставления данных ЦМР (цифровая модель рельефа), рассматривались изменения очертаний и смещения вершин депрессии, динамика глубин вдоль выделенных продольного и поперечного галсов, а также расчетные объемы глубинной части депрессии от изобат 21, 25, 27 м до ее максимальной глубины.

Результаты

Структура эрозионной депрессии. Эрозионная депрессия имеет вытянутую форму, пересекает фарватер с севера на юг примерно параллельно берегу, примыкает к оголовку южного мола, частично охватывая его с морской стороны (см. рис. 1, в). Район максимальных глубин депрессии постоянно меняет свою структуру. Во время исследуемого периода в его пределах выделялись две вершины – центральная и примоловая, с максимальными глубинами до 30 м.

В структуре эрозионной депрессии явно выделяются три ложбины, простирающиеся от вершин депрессии до глубин 10–12 м (см. рис. 1, в). Самая широкая ложбина (северная) простирается от центральной вершины на север. От примоловой вершины вдоль стенки южного мола по направлению вглубь канала сформирована вторая ложбина – вдольмоловая. Третья ложбина (огигающая) вытянута от примоловой вершины в сторону Балтийского моря и огибают конечность южного мола с западной стороны.

Динамика эрозионной депрессии в целом. В целом за 9-летний период депрессия практически не изменила своих очертаний за исключением некоторых участков северной и вдольмоловой ложбин. Восточный склон северной ложбины постепенно сглаживался и приобрел правильные очертания эрозионной формы. Вдольмоловая ложбина постепенно удлинялась по направлению вглубь канала. Южная оконечность огигающей ложбины была недостаточно покрыта данными промеров, поэтому выполнить анализ изменения ее очертаний в деталях не представляется возможным, но по косвенным признакам (углубление ее основания) можно заключить, что она также увеличивалась.

Объем глубинной части эрозионной депрессии, рассчитанный от изобат 23, 25, 27 м до максимальных глубин (рис. 2), за исследуемый период немотонно возрастал (отклонение от линии тренда составляло от –9 до 6 %) и достигал минимума в период 2011–2013 гг.

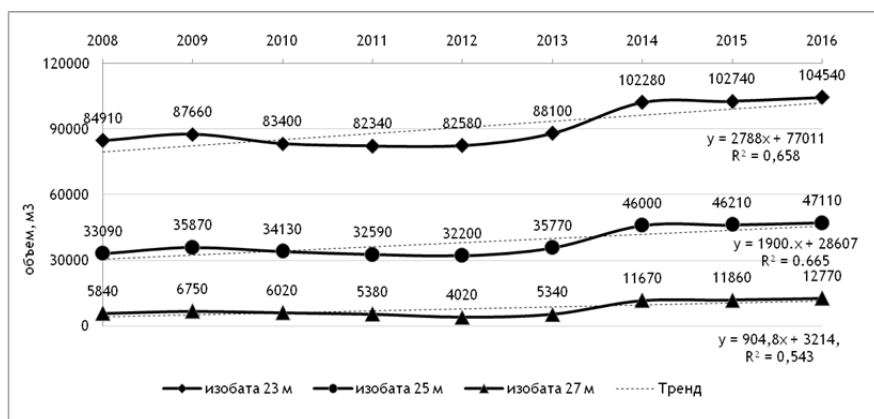


Рис. 2. Динамика объема (м³) глубинной части эрозионной депрессии до изобат 23, 25, 27 м за 2008–2016 гг.

Опишем имеющиеся тенденции на примере объема глубинной части депрессии глубже 23 м. В период 2008–2009 гг. объем депрессии увеличился на 2760 м³, в 2009–2010 гг. уменьшился на 4260, а в 2010–2011 гг. уменьшился на 1060 м³. В 2011–2012 гг. объем увеличился всего на 250 м³, а в 2012–2013 гг. на 5510. В период 2013–2014 гг. увеличение объема имело максимальное значение (14 180 м³). В 2014–2015 гг. объем уменьшился на 460 м³, а в 2015–2016 гг. увеличился на 1790. В среднем за весь период рост объема составил 2450 м³/год. Процентное изменение объема по отношению к минимально достигнутой за период величине – до 27 %.

Назовем вершинной областью эрозионной депрессии ее часть с глубинами более 28 м. В 2008 г. депрессия имела две вершинные области глубже 28 м – центральную и примоловую (см. рис. 1, в). В 2009 г. центральная вершинная область слилась с примоловой и имела вытянутую форму в северо-западном направлении. В 2010 г. вершинные области отделились друг от друга, примоловая вершинная область сместилась в сторону южного мола, а центральная не изменила своего положения. В 2011 г. центральная вершинная область незначительно уменьшила свою площадь, а примоловая вплотную примкнула к основанию южного мола. В 2012 г. центральная вершинная область не изменилась, а примоловая область значительно сократилась по площади. В 2013 г. обе вершинные области увеличили свою площадь. В 2014 г. центральная вершинная область вытянулась в юго-восточном направлении, и ее площадь увеличилась в разы, а примоловая вершинная область немного сместилась вдоль южного мола по направлению вглубь канала. В 2015 г. центральная вершинная область увеличилась по своей ширине и вплотную примкнула к примоловой вершинной области. В 2016 г. на изображении присутствовала только одна центральная вершинная область, которая поглотила примоловую вершинную область, имела сглаженные края и вытянутую в юго-восточном направлении форму.

В пределах вершинной области во все годы выделялись точки максимальных глубин – центральная и примоловая вершины. Синхронности в изменениях глубин этих вершин не наблюдалось (рис. 3). Глубина центральной вершины в целом немонотонно возрастала (см. рис. 3, а), минимальное значение было зафиксировано в 2011 г. и составляло 28,4, а максимальное – 29,8 м (в 2014 г). Глубина примоловой вершины изменялась хаотично. В период 2009–2011 гг. отмечалось интенсивное углубление, но в 2012 г. произошло резкое обмеление вершины, после которого динамика глубины приобрела характер немонотонного роста (см. рис. 3, б). Минимальное значение в 2012 г. – 28,2; максимальное в 2011 г. – 30,9 м.

За 9-летний период центральная вершина мигрировала вдоль направления север – юг, перемещаясь за год на расстояние около 10 м. Миграция примоловой вершины осуществлялась вдоль того же направления, но ежегодные перемещения имели более хаотичный характер.

Динамика эрозионной депрессии по данным вдоль профилей. Длина продольного профиля (рис. 4, профиль АВ) составляет 350 м, перепад высот – 12 м. Профиль проходит вдоль дна северной ложбины через обе вер-

шины и упирается в стенку южного мола. На данном профиле отчетливо выражены центральная и примоловая вершины депрессии, а также разделяющий их порог. В 2010 г. происходил подмыв основания стенки южного мола, при этом порог, разделяющий вершины, увеличился по высоте и сместился влево. В 2011 г. подмыв основания стенки мола достиг своего пика, как и высота порога, разделяющего вершины депрессии. В 2012 г. порог сгладился, а глубина примоловой и центральной вершин выравнивалась. За период 2013–2016 гг. максимальная глубина обеих вершин увеличивалась синхронно, а порог постепенно размывался.

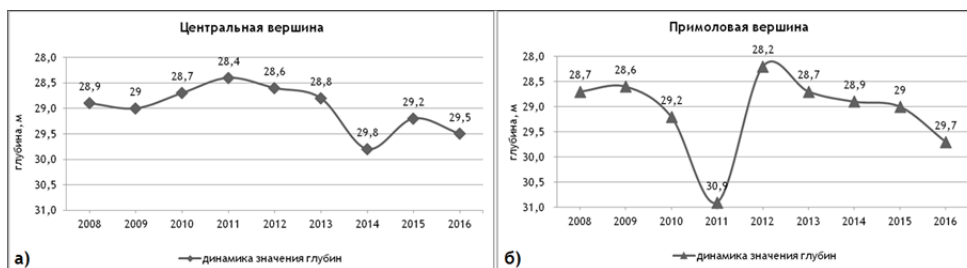


Рис. 3. Изменение глубин центральной (а) и примоловой (б) вершин эрозионной депрессии за 2008–2016 гг.

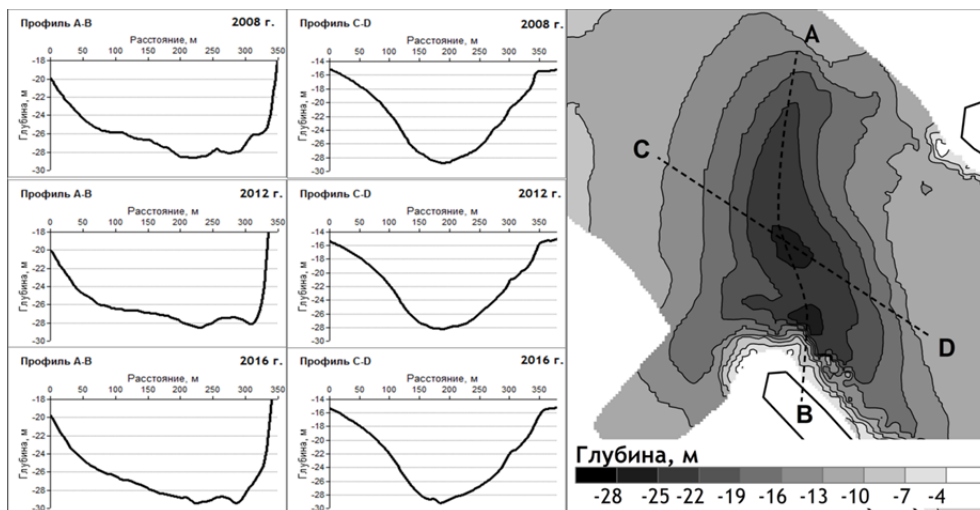


Рис. 4. Динамика эрозионной депрессии вдоль профилей АВ и CD за 2008–2016 гг.

Длина поперечного профиля (см. рис. 4, профиль CD) составляет 360 м, а перепад высот 16 м. Профиль проходит фактически по оси фарватера от морского склона через центральную вершину депрессии. Судя по изменению профиля, мористый склон эрозионной депрессии условно стабилен. Внутренний склон несколько менял свои очертания, характеризовался наличием бровки на глубинах 15 м, которая за 9-летний период сместилась по направлению вглубь пролива на расстояние около 10 м.

Обсуждение

За 9-летний период эрозионная депрессия не находилась в состоянии равновесия, ложбины постепенно сглаживались и удлинялись, а объем и глубина в целом возрастали, хотя в отдельные периоды наблюдалось обмеление (2011–2013 гг.). Был замечен явный подмыв стенки оконечности южного мола, что создает угрозу его разрушения.

Стабильное увеличение размеров эрозионной депрессии в совокупности с процессом регулярного формирования песчаных отмелей в глубине пролива, образованных морскими песками, указывает на постоянно действующие эрозионные процессы, поддерживающие стабильное существование и даже рост депрессии. Песчаный материал, транспортируемый вдоль морского берега, заносится входными течениями в пролив [Чечко, 2007], но проходит транзитом и откладывается позади депрессии, а не в ее «теле». В случае, если бы отложение заносимого из моря песчаного материала происходило в «теле» депрессии, она была бы занесена наносами от максимальной глубины до изобаты 23 м за 3–4 года (из расчета оценки поступающих в пролив объемов песчаного материала по средней скорости нарастания песчаных отмелей в проливе – 27 000 м³/год).

С опорой на конфигурацию эрозионной депрессии предлагается гипотеза, что эрозионные потоки, поддерживающие ее существование, возникают во время сильных течений со стороны северных румбов (рис. 5). Вдольбереговое морское течение, идущее с севера на юг, встречается с выдвинутым в море оградительным северным молом, который уменьшает проходное сечение, в результате чего происходит существенное ускорение потока при огибании северного мола. Далее при взаимодействии этого потока с оконечностью южного мола возникает ситуация, сходная с подмывом опор мостов набегающим речным потоком. Идущий с севера поток подмывает основание южного мола и формирует выходящие рукава вдольмоловой и огибающей ложбин: часть потока устремляется вдоль стенки южного мола вглубь пролива, а другая его часть огибает оконечность южного мола с западной стороны. К тому же возникает отраженное течение вдоль дна навстречу набегающему потоку, которое формирует северную ложбину (см. рис. 5).

При вдольбереговых течениях с юга на север поток аналогично ускоряется около оконечности южного мола, но вершины эрозионной депрессии с южной стороны северного мола не возникает, так как северный мол не находится на пути потока, он «спрятан» в динамической тени южного мола.

В качестве дискуссионного момента следует отметить, что высказанное предположение о механизмах образования эрозионной депрессии не позволяет считать ее вытянутые с севера на юг очертания доказательством преимущественной направленности вдольберегового потока в сторону северных румбов.

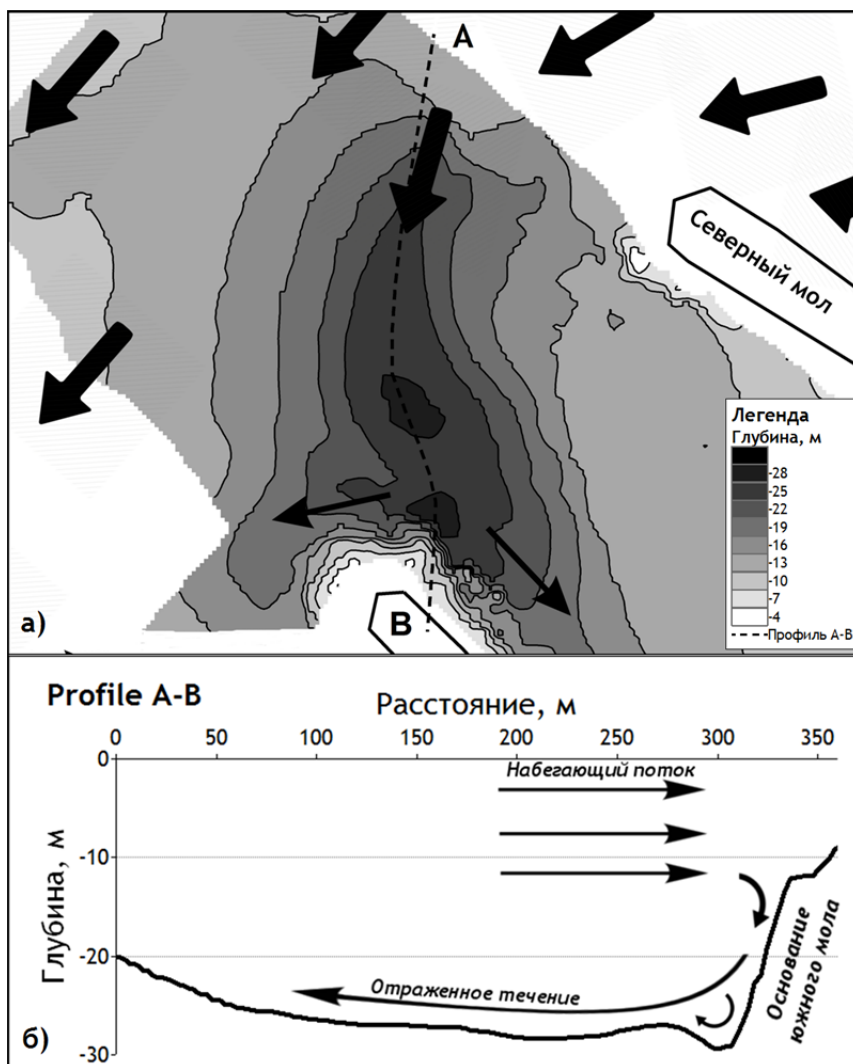


Рис. 5. Схема направления размывающих потоков согласно гипотезе о поддержании существования эрозионной депрессии северными вдольбереговыми течениями: а) схема векторов вдольберегового морского потока северных румбов и набегающего потока при огибании оконечности южного мола, б) схема векторов набегающего потока в плоскости профиля АВ

Заключение

В целом за исследуемый 9-летний период (2008–2016 гг.) объем депрессии увеличивался, его рост в среднем – 2450 м/год. Рост был не монотонный, отклонение от линии тренда составляло от –9 до 6%. Минимум расчетного объема отмечался в период 2011–2013 гг. По отношению к минимально достигнутой за период исследования величине процентное изменение объема составило до 27%.

В морфометрической структуре депрессии отмечены две вершины и три эрозионные ложбины, вытянутые в разные стороны от вершин, – северная, примоловая и огибающая, которые постепенно увеличивались. Синхронности в изменениях положения центральной и примоловой вершин не наблюдалось, но в целом обе вершины углубились примерно на 1 м. Анализ динамики глубин вдоль профилей показал, что происходил сильный подмыв основания стенки южного мола. Мористый склон депрессии условно стабилен, а внутренний немного сдвинулся вглубь канала на расстояние около 10 м.

Предполагается, что эрозионная депрессия поддерживается сильными течениями со стороны северных румбов за счет взаимодействия вдольберегового морского течения и выдвинутых в море оградительных молов. Северный мол, значительно выдаваясь в море, уменьшает сечение потока, идущего с севера на юг, и способствует ускорению огибающего его течения. Этот поток, взаимодействуя с оголовком южного мола, отражается от него, формирует центральную вершинную область и северную ложбину, а также огибает оконечность южного мола с двух сторон, формируя выходящие рукава примоловой и огибающей ложбин депрессии.

Эрозионная депрессия не достигла состояния равновесия и продолжает увеличивать свои размеры. Сдвиг бровки внутреннего склона свидетельствует о медленном расползании депрессии по направлению вглубь канала.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность коллегам из группы контроля глубин Калининградского управления Северо-Западного бассейнового филиала ФГУП «Росморпорт» за предоставленную возможность использования данных регулярных промеров глубин на фарватере Калининградского морского канала.

Первичный анализ данных проведен при подготовке магистерской работы Р. Б. Закирова в РГГМУ. Настоящая публикация подготовлена при поддержке темы 0149-2018-0012 Государственного задания Федерального агентства научных организаций.

Список литературы

Бабаков А. Н. Характеристика придонных течений Гданьского залива вблизи входных молов порта Балтийск по данным натурных измерений // Учен. зап. Рус. геогр. о-ва (Калинингр. обл.). Калининград, 2008. Т. 7, ч. 1. С. G1-G6.

Басс О. В. Эволюция взаимодействия природных и техногенных процессов в ходе строительства порта Балтийск // Вестн. Рос. гос. ун-та им. И. Канта. 2007. № 7. С. 35–43.

Басс О. В., Жиндарев Л. А. Техногенез в береговой зоне песчаных побережий внутренних морей (ст. 2. Влияние портовых оградительных сооружений на морфодинамику береговой зоны Юго-Восточной Балтики) // Геоморфология. 2011. № 2. С. 35–41.

Давыденко Л. В. Калининградский морской канал : монография. Калининград : Живем, 2011. 120 с.

Кнапс Р. Д. Оградительные сооружения типа молов и движение наносов на песчаных побережьях // Изв. АН Латв. ССР 1952. № 6 (59). С. 87–130.

Лазаренко Л. Л. Гидрометеорологический режим Вислинского залива : монография / под ред. Н. Н. Лазаренко, А. Маевского. Л. : Гидрометиздат, 1971. С. 130–142.

Чечко В. А. Процессы современного осадкообразования в Вислинском заливе Балтийского моря : автореф. дис. ... канд. геол. минерал. наук: 25.00.28. М., 2007. 25 с.

Acharya, A., Acharya A. Duan, J. G. Three dimensional simulation of flow around series of spur dikes / *International Refereed Journal of Engineering and Science*. 2013. Vol. 2, N 7. P. 36–57.

Flow Structure and Channel Stability at the Site of a Deep Scour Hole, Mackenzie Delta, Canada / S. Beltaos, B. Krishnappan, R. Roswell, T. Carter, R. Pilling, E. Bergeron // *Journal of Arctic*. 2012. Vol. 65, N 2. P. 182–194.

Chubarenko B., Babakov A. Sediment transport near the Vistula spit (Baltic Sea) / *Proceedings of International Conference «Managing risks to coastal regions and communities in a changing world»*, Saint-Petersburg, 2016. P. 22–27.

Chubarenko B., Margonski P. The Vistula Lagoon. Ecology of Baltic Coastal Waters. Ecological Studies. Schiewer, 2008. P. 167–195.

Connecticut Department of Transportation (ConnDOT). Erosion, Sedimentation, and Debris Control. “ConnDOT drainage manual” [Electronic recourse]. 2002. P. 2. URL: <http://www.ct.gov/dot/cwp/view.asp?a=3200&q=260108>.

Hughes S. A. Equilibrium cross sectional area at tidal inlets. *Journal Coastal Research*, West Palm Beach (Florida). 2002. P. 160–174. ISSN 0749-0208.

Kirkil G., Constantinescu G., Ettema R. The Horseshoe Vortex System around a Circular Bridge Pier on Equilibrium Scour Bed // *World Water and Environmental Resources Congress*, Alaska, USA. 2005. May. P. 1–12.

Kjerfve B., Shao, C.C., Stapor Jr. Formation of deep scour holes at the junction of tidal creeks: an hypothesis // *Mar. Geol.* 1979. Vol. 33. P. M9-M14.

Steven A. Hughes, J. Kamphuis W. Scour at coastal inlet structures / *Proceedings of 25 th Conference on Coastal Engineering*, Orlando, Florida, 1996. P. 1–14.

Yutao Guan Y., Flood R. Morphologic analysis of Shinnecock Inlet using multibeam sonar // *Long Island Geologists' Abstracts Collection [SBU]*, Marine Sciences Research Center State University of New York at Stony Brook, 2010. 3 p.

Dynamics of Scour Hole the Entrance to Kaliningrad Bay

R. B. Zakirov

*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad
Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow*

B. V. Chubarenko

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow

S. P. Sologub

FSUE “Rosmorpport” North-Western Basin Branch, Kaliningrad

A. V. Shusharin

FSUE “Rosmorpport” North-Western Basin Branch, Kaliningrad

Abstract. The paper presents the results of an analysis of the morphometric characteristics of scour hole located in the Strait of Baltiysk, which is the entrance to the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. The temporal variation of main morphometric characteristics of the hole was analyzed for 9-year period (2008–2016) by year-to-year comparing the data of the digital relief model, changes of the contours of isobaths and displacement of the peaks in hole bathymetry. Specific attention was put the volume of deepest part of the hole – the volume below the isobaths of 21 m, 25 m, 27 m till maximum depths. It was found that, in general for the 9-year

period (2008–2016), the volume of the hole increased, the average volume growth was 2450 m³/year. The growth was not monotonous, the deviation from the trend line was -9–6 %. The minimum volume was observed in the period of 2011–2013. The percentage changes in volume were up to 27 % in relation to the minimum volume found for the study period. Two peaks ('northern', the 'near-mole') and three erosive troughs (which volume gradually increased during studied period) were revealed in the morphometric structure of depression. These troughs elongated in different directions from the peaks, were marked, as the 'northern', the 'near-mole' and the 'wraparound' troughs. Synchronicity in the changes in the position of these two peaks was not observed, but on the whole both peaks were deepened approximately by 1 meter during the study period. Analysis of the dynamics of the depths along main longitudinal and transverse transects showed strong erosion of the base of the wall of the southern mole. The offshore slope of 'northern' troughs is conditionally stable, and the onshore slope has moved a little inside the strait for a distance of about 10 m. Analyzed information allows to put forward a hypothesis about the mechanisms of scour hole formation. It is assumed that it is supported by strong currents from the northern rumba due to the interaction of the alongshore current and the southern protective mole considerably protruding into the sea. The northern mole protruding into the sea reduces the cross-section of alongshore flow going from north to south. It is the reason of the acceleration of the flow near the end of the mole. This stream, interacting with the tip of the southern mole staying on its way, reflects from it, forms the central peak and the northern through, and also flow round the tip of the south mole from two sides, forming the outgoing arms of the 'near-mole' and the 'wraparound' troughs. The scour hole has not reached equilibrium and continues to increase in size. The shift of the onshore slope of the hole indicates a slow spreading of the hole deep into the Strait.

Keywords: bottom relief, dynamics, erosion depression, alongshore sediment flow, the Baltic Sea.

For citation: Zakirov R.B., Chubarenko B.V., Sologub S.P., Shusharin A.V. Dynamics of Scour Hole the Entrance to Kaliningrad Bay. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2018, vol. 26, pp. 46-59. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.46> (in Russian)

References

Babakov A.N. *Harakteristika pridonnyh techenij Gdan'skogo zaliva v blizi vhodnyh molov porta Baltijsk po dannym naturnyh izmerenij* [Characteristics of the bottom currents of the Gdansk Bay in the region of the entrance port of Baltijsk according to field measurements]. *Uchenye zapiski Russkogo geograficheskogo obshhestva (Kaliningradskaja oblast')* [Scientific notes of the Russian Geographical Society (Kaliningrad Region)], 2008, vol. 7, part 1, pp. G1-G6. (in Russian)

Bass O.V. *Jevoljucija vzaimodejstvija prirodnyh i tehnoennyh processov v hode stroitel'stva porta Baltijsk* [Evolution of the interaction of natural and man-made processes during the construction of the port of Baltijsk]. *Vestnik Kaliningradskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Kaliningrad State University], 2007, no. 7, pp. 35-43. (in Russian)

Bass O.V., Zhindarev L.A. *Tehnogenez v beregovej zone peschanyh poberezhij vnutrennih morej (st. 2. Vlijanie portovyh ograditel'nyh sooruzhenij na morfodinamiku beregovoj zony Jugo-Vostochnoj Baltiki)* [Technogenesis in the coastal zone of sandy coasts of inland seas (art. 2. Influence of port fencing structures on the morphodynamics of the coastal zone of the South-Eastern Baltic)]. *Geomorfologija* [Geomorphology], 2011, no. 2, pp. 35-41. (in Russian)

Davydenko L.V. *Kaliningradskij morskoy kanal* [The Kaliningrad Sea Channel]. Kaliningrad, Zhivem Publ], 2011, 120 p. (in Russian)

Knaps R.D. *Ograditel'nye sooruzhenija tipa molov I dvizhenie nanosov na peschanyh poberezh'jah* [Fencing structures such as mounds and sediment movement on sandy coasts]. *Izvestija akademii nauk Latv. SSR* [Izvestiya of the Academy of Sciences of Latvia. SSR], 1952, no. 6, pp. 87-130. (in Russian)

Lazarenko L.L. *Gidrometeorologicheskij rezhim Vislinskogo zaliva* [Hydrometeorological regime of the Vistula Lagoon]. Leningrad, Gidrometizdat Publ., 1971, pp. 130-142. (in Russian)

Chechko V.A. *Processy sovremennogo osadkoobrazovaniya v Vislinskom zalive Baltijskogo morja. Avtoref. dis. Na soisk. uchen. step. kand. geol.-miner. nauk* [Processes of modern sedimentation in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea. Cand. sci. diss. abstr.]. Moscow, 2007, 25 p. (in Russian)

Acharya A., Acharya A., Duan J.G. Three dimensional simulation of flow around series of spur dikes. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 2013 vol. 2, no. 7, pp. 36-57.

Beltaos S., Krishnappan B., Roswell R., Carter T., Pilling R., Bergeron E. Flow Structure and Channel Stability at the Site of a Deep Scour Hole, Mackenzie Delta, Canada. *Journal of Arctic*, 2012, vol. 65, no. 2, pp. 182-194.

Chubarenko B., Margonski P. The Vistula Lagoon. *Ecology of Baltic Coastal Waters. Ecological Studies*. Schiewer, 2008, pp. 167-195.

Connecticut Department of Transportation (ConnDOT). Erosion, Sedimentation, and Debris Control. "ConnDOT drainage manual" 2002. pp. 2. URL: <http://www.ct.gov/dot/cwp/view.asp?a=3200&q=260108>.

Hughes S.A. Equilibrium cross sectional area at tidal inlets. *Journal Coastal Research, West Palm Beach (Florida)*. 2002. pp. 160-174. ISSN 0749-0208.

Kirkil G., Constantinescu G., Etema R. The Horseshoe Vortex System around a Circular Bridge Pier on Equilibrium Scour Bed. *World Water and Environmental Resources Congress, Alaska, USA*, 2005, pp. 1-12.

Kjerfve B., Shao C.C., Stapor Jr. Formation of deep scour holes at the junction of tidal creeks: an hypothesis. *Mar. Geol.*, 33, 1979, pp. M9-M14.

Steven A., Hughes J., Kamphuis W. Scour at coastal inlet structures / *Proceedings of 25th Conference on Coastal Engineering*, Orlando, Florida, 1996. pp. 1-14.

Yutao Guan y., Flood R. Morphologic analysis of Shinnecock Inlet using multibeam sonar // *Long Island Geologists' Abstracts Collection [SBU], Marine Sciences Research Center State University of New York at Stony Brook*, 2010, 3 p.

Закиров Руслан Баядитович

аспирант

Балтийский федеральный университет
им. И. Канта
236016, г. Калининград, ул. А. Невского, 14
старший инженер, лаборатория
прибрежных систем
Институт океанологии
им. П. П. Ширшова РАН
Россия, 117997, г. Москва,
Нахимовский пр., 36
тел.: (909)783-54-04
e-mail: kotruslan2@gmail.com

Zakirov Ruslan Bajaditovich

Postgraduate

Immanuel Kant Baltic Federal University
14, A. Nevski st., Kaliningrad, 236041,
Russian Federation
Senior Engineer
Shirshov Institute of Oceanology RAS
36, Nakhimovski pr., Moscow, 117997,
Russian Federation
tel.: (909)783-54-04
e-mail: kotruslan2@gmail.com

Чубаренко Борис Валентинович

кандидат физ.-мат. наук, ведущий
научный сотрудник, заведующий
лаборатория прибрежных систем
Институт океанологии
им. П. П. Ширшова РАН
Россия, 117997, г. Москва,

Chubarenko Boris Valentinovich

Candidate of Sciences (Physical and
Mathematical), Leading Researcher, Head
Laboratory of Coastal Systems
Shirshov Institute of Oceanology RAS
36, Nakhimovski pr., Moscow, 117997,
Russian Federation

*Нахимовский пр., 36
тел.: (906)239-10-32
e-mail: chuboris@mail.ru*

*tel.: (906)239-10-32
e-mail: chuboris@mail.ru*

Сологуб Сергей Петрович
*начальник группы контроля глубин
Калининградское управление
Северо-Западный бассейновый филиал
ФГУП «Росморпорт»
Россия, 236006, г. Калининград,
наб. Петра Великого, 7
тел.: (921)260-20-56
e-mail: sologub@portkld.ru*

Sologub Sergej Petrovich
*Head of Depth Control Group
FSUE "Rosmorport" North-Western
Basin Branch
7, Pyetr Vyelikiy Quay, Kaliningrad,
236006, Russian Federation
tel.: (921)260-20-56
e-mail: sologub@portkld.ru*

Шушарин Алексей Витальевич
*главный гидрограф
Калининградское управление
Северо-Западный бассейновый филиал
ФГУП «Росморпорт»
Россия, 236006, г. Калининград,
наб. Петра Великого, 7
тел.: (4012)36-21-00
e-mail: a.shusharin@kld.rosmorport.ru*

Shusharin Aleksey Vital'evich
*Chief Hydrograph
FSUE "Rosmorport" North-Western Basin
Branch
7, Pyetr Vyelikiy Quay, Kaliningrad, 236006,
Russian Federation
tel.: (4012)36-21-00
e-mail: a.shusharin@kld.rosmorport.ru*