

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

4/2017

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

ENGINEERING SURVEY

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

При поддержке:

Саморегулируемая организация



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

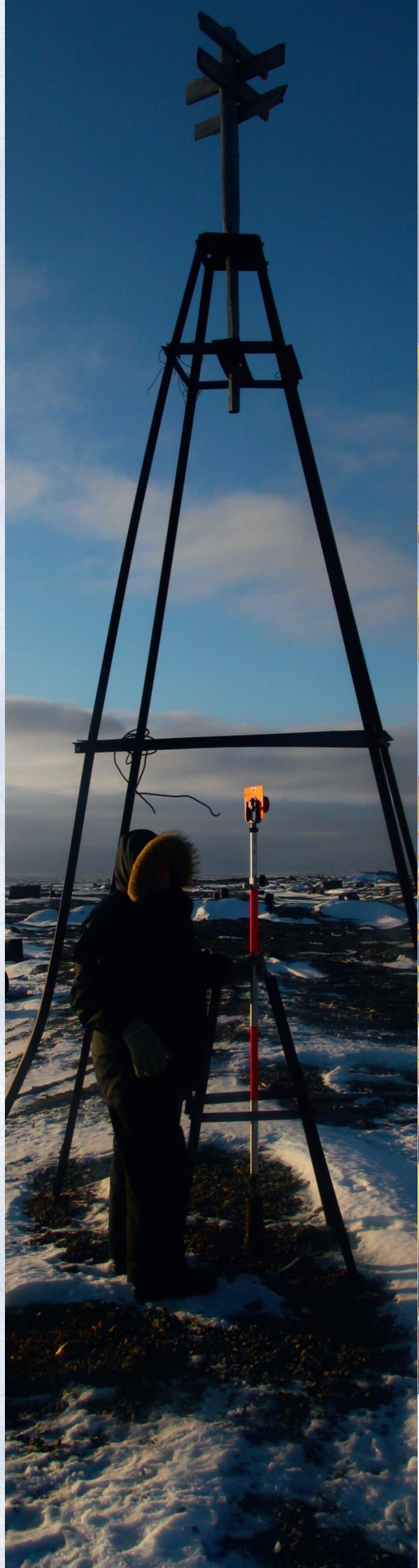
Glumova G.M. (compiler)

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





КОМПЛЕКСНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В ЗОНАХ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ ГАЗОПРОВОДОВ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ МЕТОДОВ ИХ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ)

INTEGRATED ENGINEERING SURVEYS IN UNDERWATER GAS PIPELINE ZONES FOR THE JUSTIFICATION OF METHODS OF THEIR RATIONAL OPERATION (A CASE STUDY FOR THE VOLGA DELTA)

БАБИЧ Д.Б.

Старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к. г. н., г. Москва, dmbabich@mail.ru

ИВАНОВ В.В.

Старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к. г. н., г. Москва, vvi06.56@mail.ru

КОРОТАЕВ В.Н.

Ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д. г. н., г. Москва, vlaskor@mail.ru

BABICH D.B.

Senior staff scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and River Bed Evolution, Geography Faculty, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, dmbabich@mail.ru

IVANOV V.V.

Senior staff scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and River Bed Evolution, Geography Faculty, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, vvi06.56@mail.ru

KOROTAEV V.N.

Leading staff scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and River Bed Evolution, Geography Faculty, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geography), Moscow, vlaskor@mail.ru

Ключевые слова: подводный переход газопровода; дельтовый рукав; деформации русла; инженерные мероприятия.

Key words: underwater gas pipeline crossing; delta arm; channel deformations; engineering measures.

Аннотация: рассмотрены особенности строительства и эксплуатации подводных переходов газопроводов в судоходных рукавах дельты Волги, выявлена специфика развития русловых деформаций. Представлен разработанный авторами прогноз горизонтальных и вертикальных деформаций русел на ближайшие десятилетия. Рекомендованы мероприятия по снижению или устранению негативных проявлений русловых процессов при эксплуатации подводных переходов.

Abstract: this paper considers features of the construction and operation of underwater gas pipeline crossings in the navigable arms of the Volga delta, and reveals the development specifics of channel deformations there. The authors present a developed forecast of horizontal and vertical channel deformations for the next few decades. They recommend some measures to reduce or eliminate the negative manifestations of channel processes during the operation of underwater crossings.

Введение

Крупные и малые реки, а также их рукава, включая дельтовые, являются природными препятствиями для строительства шоссейных и железных дорог, линий электропередачи, магистральных и местных трубопроводов, которые преодолеваются при помощи обустройства мостовых, воздушных и подводных переходов через эти водные объекты.

Дельта реки Волга принадлежит к числу наиболее освоенных районов Астраханской области, где располагаются объекты хозяйственного и бытового назначения и различные гидротехнические сооружения (мосты, вододелители, дамбы, причалы, водозаборы), которые испытывают значительное воздействие таких негативных процессов современного руслоформирования, как размыв берегов, заносимость водозаборов и подходов к причалам, подмыв трубопроводов и мостовых опор.

За последние 50 лет гидрологический режим в нижнем течении Волги и рукавах ее дельты подвергся существенному изменению в связи со строительством каскада водохранилищ, которые не только перераспределили внутригодовой водный сток реки, но и перехватили большую часть взвешенных и влекомых наносов и нарушили сложившееся динамическое равновесие между режимом стока воды и наносов и русловыми процессами. Так, после заполнения Волгоградского водохранилища начался взаимный процесс естественного приспособления между потоком и руслом в нижнем бьефе. В начальный период это нашло выражение в увеличении скорости горизонтальных и вертикальных деформаций русла, которые сопровождалась экстремальными по своей интенсивности размывами берегов и коренной перестройкой руслового рельефа [4, 8]. В дальнейшем основные тенденции руслоформирования сохранились, но интенсив-

ность русловых деформаций заметно снизилась.

В период заполнения и интенсивного регулирования речного стока каскадом водохранилищ одновременно происходило снижение уровня Каспийского моря (с 1929 по 1977 год — на 3 м), что привело к почти повсеместному врезанию русел дельтовых рукавов и появлению в них значительных по протяженности участков, практически лишенных речных наносов. На дне в контакт с потоком стали выходить ранее погребенные под слоем русловых отложений труднорастворимые морские глины, что на отдельных участках полностью изменило характер руслового рельефа.

Такие современные условия руслоформирования потребовали проведения углубленных исследований в районах переукладки подводных переходов газопроводов, в частности траншейным способом на участке газопровода Ермолинское — Промысловое — Астрахань в рукаве Волга и методом горизонтально-наклонного бурения газопровода-отвода ГРС4 — ГРС1А в рукавах Прямая Болда и Кривая Болда (рис. 1).

Методика и материалы исследований

Камеральные работы включали сбор опубликованных и фондовых гидрологических и картографических материалов [1, 3, 5, 6] и анализ русловых процессов в рукавах реки. Полевые работы состояли из комплекса гидрографических (эхолотных промеров и картографирования рельефа русел), гидрометрических (измерения расходов воды и уклонов водной поверхности, отбора проб донного грунта), инженерно-геологических (бурения на пойме и в русле до глубины 30 м) и геофизических (гидролокационного обследования [7] и сейсмоакустического зондирования дна) исследований.

Полученные результаты и их обсуждение

Участок подводного перехода газопровода Ермолинское — Промысловое — Астрахань

Между истоками левых оттоков Царев и Кизань (3 056–3 062 км судового хода по лонии) в пределах Астраханского водного узла (АВУ) на прямолинейном участке рукава Волга расположен подводный переход газопровода Ермолинское — Промысловое — Астрахань. Этот район отличается большой техногенной нагрузкой на реку благодаря жилой и промышленной застройке по обоим берегам реки. Правый берег участка расположения газопровода представлен набережной острова Заячий, левый берег — островом Пролетарский, имеющим подводное продолжение в виде кос и отмелей, отчленяющих от основного русла затон Золотой.

Гидрологический режим данного участка определяется его расположением между истоками крупных дельтовых рукавов Болда и Кизань, забирающих в зависимости от фазы гидрологического режима от 13 до 17% от общего стока рукава Волга. В более мелкие рукава (Царев, Дарма и др.) поступает не более 0,2–1,4% от общего стока воды. Таким образом, с учетом оттока в рукава Бузан и Рыча при больших расходах воды в вершине дельты в период весенних сбросов из Волгоградского водохранилища на прямолинейный участок в районе острова Заячий поступает от 7 700 до 17 000 м³/с. В межень расходы воды уменьшаются до 3 500 м³/с, то есть более чем на 50% от общего расхода Волги в вершине дельты [9].

Рельеф дна имеет сложное строение: стрежень потока и линия наибольших глубин постепенно смещаются из средней части русла к правому берегу и следуют вдоль острова Заячий. Вниз по течению глубина увеличивается от 17

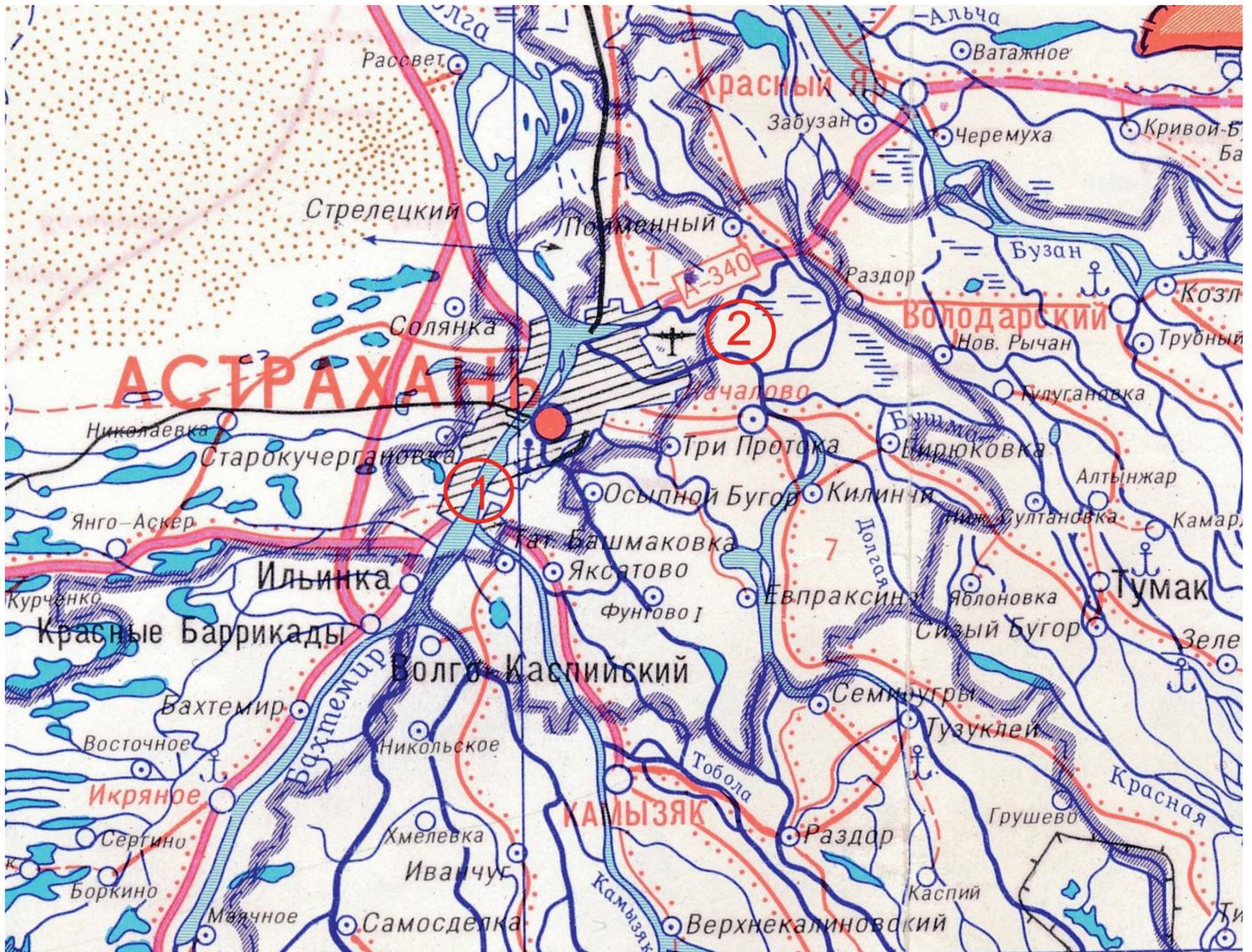


Рис. 1. Схема расположения подводных переходов газопроводов Ермолинское — Промысловое — Астрахань (1) и ГРС4 — ГРС1А (2)

до 23 м. На участке подводного перехода сразу под правым берегом отмечаются глубины до 5 м, а затем — днище глубокой (18–20 м) плесовой лощины. Подводный откос под левым берегом имеет более сложное строение. Здесь наблюдается чередование глубоких (15–17 м) ям и разделяющих их повышений дна, вытянутых вниз по течению потока. Ширина русла в районе ухвостья острова Заячий составляет 650 м.

Гидролокационное обследование показало, что на большей части поверхности дна развит мелкогрядовый рельеф с высотой гряд от 0,6–0,7 до 1,0–1,2 м и длиной от 12 до 20–25 м. Слагающий верхнюю часть донных отложений материал — мелкий песок с примесью битой ракушки. По данным сейсмоакустического зондирования, мощность аллювиального слоя над цоколем коренных морских глин состав-

ляет не более 2–3 м. В целом для участка характерны изменения параметров донных гряд вниз по течению. Ориентация гряд вблизи левого берега строго перпендикулярна оси потока; возле правого берега их оси расположены под углами 10–150°, что обусловлено различной скоростью смещений грядовых форм, попадающих в стрежневую зону потока у правого берега (рис. 2).

Русло рукава Волга в районе подводного трубопровода между истоками протоки Царев и рукава Кизань — песчаное. Мелкие (мелкозернистые) пески¹ со средним диаметром частиц 0,17–0,20 мм приурочены главным образом к стрежневой зоне и линии наибольших глубин. Мелкие (тонкозернистые) пески со средним диаметром частиц 0,12–0,16 мм слагают прибрежные отмели вдоль обоих берегов.

Вертикальные деформации дна на этом участке были связаны со сниже-

нием уровня Каспийского моря. Понижение уровня повлекло за собой образование волны регрессивной эрозии, выразившейся во врезании русел дельтовых водотоков, в том числе на участке нижнего течения рукава Волга (рис. 3). Горизонтальные деформации являются незначительными — контуры береговой линии за последние 100 лет мало изменились. Исключением является левый берег в районе острова Пролетарский, где цепочка низких островов объединилась в единый пойменный массив.

Более динамично изменялся рельеф дна. Около 40 лет назад динамическая ось потока и линия максимальных глубин устойчиво располагались в 200–250 м от правого берега. После проведения комплекса гидротехнических мероприятий (строительства набережной и причалов, искусственного удлинения острова Пролетарский до

¹ Здесь и далее приводятся определения песчаных фракций руслообразующих наносов равнинных рек по широко используемой при русловом анализе классификации Р.В. Лодиной и Р.С. Чалова (стр. 217 [10]).

21.09.96, 08:22:50
(3933.98, 0)

21.09.96, 08:22:32
(3883.97, 0)

21.09.96, 08:22:14
(3833.97, 0)

21.09.96, 08:21:57
(3783.96, 0)

Шаг вертикальных линий — 25 м
Шаг горизонтальных линий — 50 м
Горизонтальный масштаб — 1:1000
Вертикальный масштаб — 1:1000

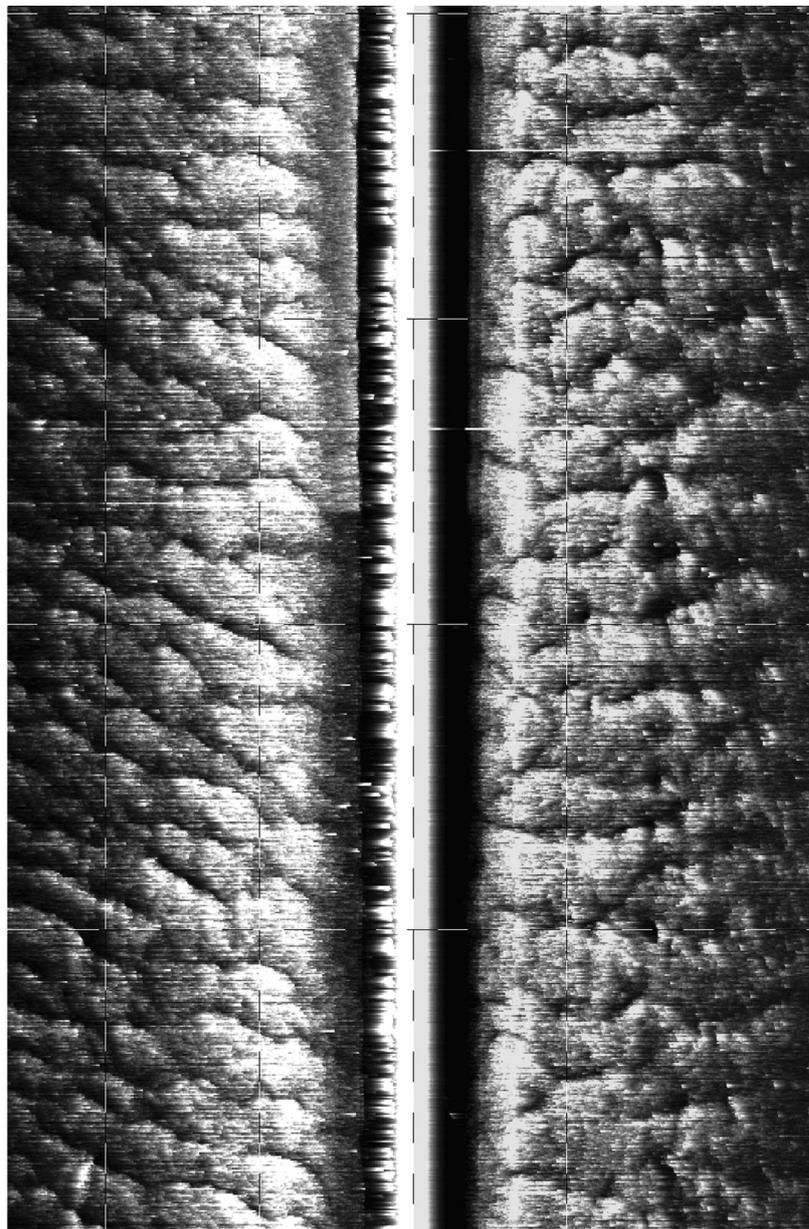


Рис. 2. Гидролокационное изображение дна в районе подводного перехода газопровода Ермолинское — Промысловое — Астрахань через прямолинейный участок дельтового рукава Волга. Слева от общей записи ГБО на разных уровнях приведены соответствующие дата, время и, в скобках, координата шага пути, м

истока Кизани) эти линии к 1989 году стали располагаться у левого берега. Их плавный перевал под правый берег происходит на 2,5 км выше по течению от линии подводного перехода. Ниже поток стал устойчиво делиться на две ветви, причем левая из них постепенно активизировалась вследствие выемки грунта под строительство причалов на острове Пролетарский. В 300–350 м от этого острова ниже по течению на глубине 5–6 м сформировался подводный осередок длиной 1,5 км.

К 1992 году произошли некоторые изменения в очертаниях левого берега,

выразившиеся в формировании косы ниже подводного перехода и в почти полном перекрытии прорана между островом Пролетарский и косой. Последовали изменения и в рельефе дна у оголовка острова Заячий — у левого берега сформировалась плесовая ложина на глубине 10–13 м, а правобережная плесовая ложина оказалась практически занесенной. Положение подводного осередка и ложбины за ним с 1989 года не изменилось, но отметки дна понизились в среднем на 1,0–1,5 м. В 1 км ниже подводного перехода стала формироваться ложбина

на слиянии правой и левой ветвей речного потока. После 1995 года изменения берегов и дна продолжились в результате обустройства причала в районе оголовка острова Пролетарский и проведения дноуглубления до отметок минус 40 — минус 42 м в Балтийской системе высот² (БС).

Начиная с 1960-х годов на участке русла рукава Волга в районе подводного перехода происходили существенные изменения в интенсивности и направленности эрозионно-аккумулятивных процессов. При этом наблюдался интенсивный размыв дна в централь-

² Далее высотные отметки также будут приводиться в этой системе.

ной части русла одновременно с усилением аккумуляции наносов в его прибрежных частях. Особенно интенсивно наносы стали накапливаться у правого берега вдоль набережной на острове Заячий. Однако на участке расположения газопровода в районе ухвостья острова размыв дна у неукрепленного берега усилился. В результате последовало смещение днища плесовой ложины к правому берегу с увеличением ее глубины на 1 м, что привело к обнажению части газопровода. Это потребовало проведения работ по засыпке переуглубленного участка (рис. 4) крупнообломочным материалом с целью предотвращения дальнейшего размыва дна и провисания трубы.

Переукладка газопровода в рукавах Прямая Болда и Кривая Болда

Створ перехода газопровода через рукава Прямая Болда и Кривая Болда расположен в нижней по течению части острова Свободный приблизительно в 1,5–2,0 км от истоков рукавов Рычан и Болда. Руслу Прямой и Кривой Болды от прорана Маневка до прорана Яманцуг в целом можно отнести к свободно меандрирующим и прямолинейным. В пределах пойменных массивов и в руслах отмечается чередование песков различной крупности с прослоями глин и суглинков, имеющих различные пластичные свойства, что ограничивает развитие русловых деформаций.

Гидрологический режим на участке переукладки газопровода в рукавах Прямая Болда и Кривая Болда по отношению к периоду естественного речного водного стока значительно изменился в результате строительства Волгоградского водохранилища и вододелителя в вершине дельты Волги. В настоящее время при прохождении половодья водность рукавов понизилась на 9–14%. Наиболее существенные изменения характерны для Прямой Болды, где расходы воды уменьшились на 80–100 м³/с при прохождении суммарных расходов в диапазоне 1 200–1 900 м³/с. А в Кривой Болде они понизились на 50 м³/с.

В пределах русел этих двух рукавов и на прилегающих к ним пойменных берегах литологические разности подстилающих грунтов определялись на основании данных буровых работ. В ходе исследований было установлено, что помимо береговых уступов, сложенных с поверхности трудноразмываемыми грунтами (суглинками и глинами), в инженерно-геологических разрезах также присутствуют глини-



Рис. 3. Вертикальные деформации дна в районе перехода газопровода Ермолинское — Промысловое — Астрахань через дельтовый рукав Волга по трассе судового хода за 1963–1995 гг. (БС — Балтийская система высот)

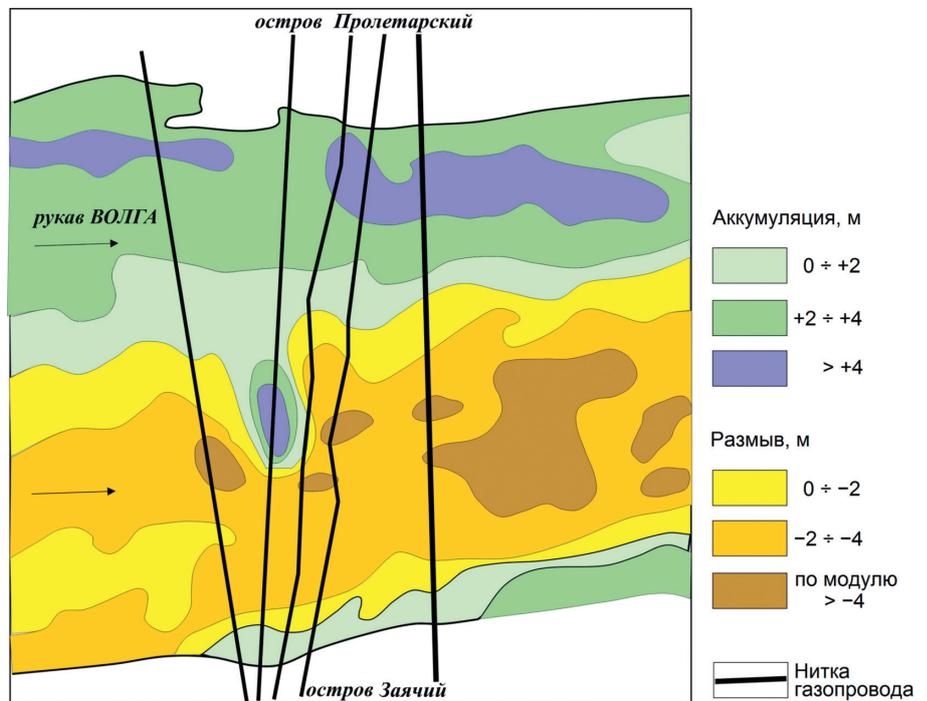


Рис. 4. Схема деформаций дна на участке подводного перехода газопровода Ермолинское — Промысловое — Астрахань через дельтовый рукав Волга за период 1967–1988 гг.

стые слои, ограничивающие развитие русловых деформаций (рис. 5).

В пределах левого пойменного берега Кривой Болды верхняя высотная отметка залегания кровли глин составляет минус 34,9 м при мощности слоя 1,5 м. В правобережной и центральной частях русла этого рукава на дне на приблизительно таких же отметках местами встречаются выходы глинистых грунтов, однако их мощность не превышает 0,7 м. Слой глинистых грунтов большей мощности (до 1,5 м) расположен под руслом рукава у левого берега. Подошва этого слоя находится

на отметке минус 43,5 м. У правого берега Кривой Болды подошва слоя глин залегает на отметке минус 35,7 м, однако мощность этого слоя достигает 2,1 м. На правом берегу рукава (на острове Свободный) помимо глинистой толщи, слагающей остров с поверхности (до отметки минус 26,1 м), были вскрыты еще два слоя глинистых отложений. Верхний из них имеет мощность 0,8 м, его кровля находится на отметке минус 35,0 м. Нижний слой крайне тонок (первые сантиметры) и располагается на отметке минус 43,8 м.

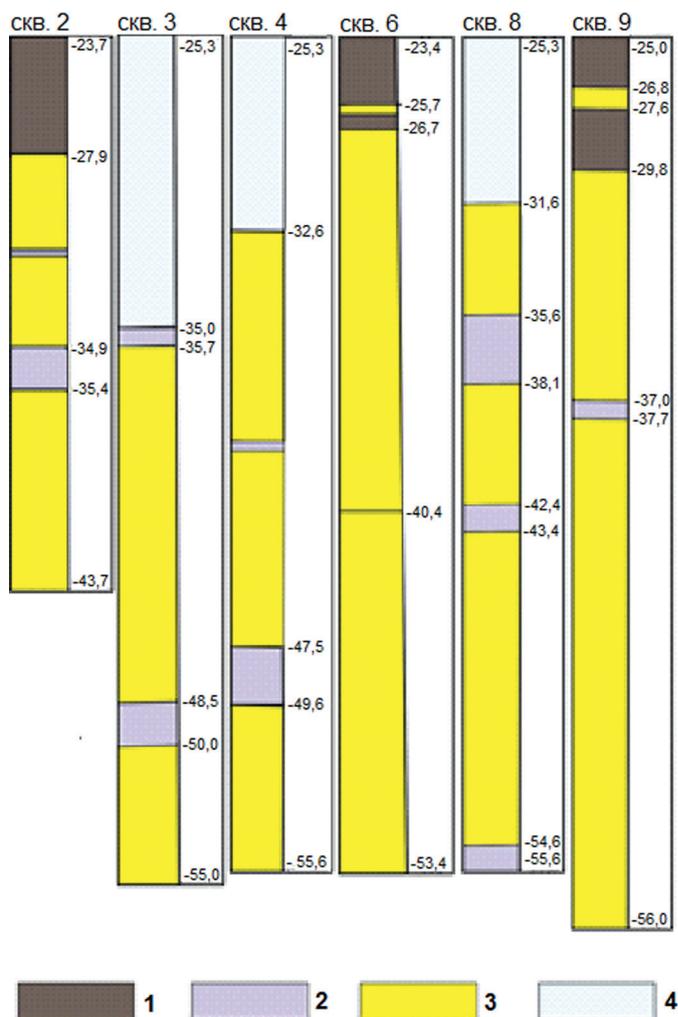


Рис. 5. Геологическое строение дна по трассе перехода газопровода через рукава Прямая Болда и Кривая Болда. Условные обозначения: 1 — суглинок; 2 — глина; 3 — песок; 4 — вода; скв. — скважина; цифрами справа от колонок показаны отметки в Балтийской системе высот, м

Остров Свободный в центральной части сложен в основном песчаными отложениями с незначительными прослойками глины и суглинков. Суглинки встречаются начиная с поверхности острова до отметки минус 26,7 м, а глины залегают начиная с отметки минус 54,4 м. Мощность этого глинистого слоя также невелика (около 0,8 м).

Под руслом Прямой Болды глинистая толща располагается на отметке минус 35,6 м, а ее мощность достигает 2,5 м. Глины подстилаются песками до отметки минус 42,4 м, где они вновь сменяются слоем глины мощностью до 1,0 м. Следующий глинистый горизонт вскрывается на отметке минус 54,6 м.

На правом берегу Кривой Болды расположенные у поверхности суглинки мощностью до 1,8 м переслаиваются с линзой песка мощностью до 0,8 м. Ниже песков начиная с отметки минус 27,6 м залегают глинистый слой мощностью 2,2 м. Следующий про-

слой глины (толщиной 0,7 м) наблюдается на отметке минус 33,8 м, а ниже до отметки минус 55,0 м вновь залегает песчаная толща.

Анализ расположения трудноразмываемых грунтов в пределах участка строительства перехода газопровода показывает неровное залегание кровли глинистых отложений. Кроме того, полученные данные позволяют утверждать, что горизонтальные деформации, связанные с размывом берегов, развиваются невысокими темпами в результате сложения надводных частей берегов суглинками и глинами. Вертикальные деформации в руслах могут идти более быстро. Сдерживающими факторами их развития могут служить выходы трудноразмываемых глинистых пород в Кривой и Прямой Болде на отметках около минус 35,0 м.

Для рукава Кривая Болда выходы глины на отметках минус 35,0 м не станут существенным препятствием для продолжения углубления русла, то есть

ограничивающим фактором для развития вертикальных деформаций. При достаточно высоких скоростях течения и длительном воздействии потока глины могут быть размывы вследствие их незначительной (до 0,7–0,9 м) мощности. Более серьезным препятствием для развития вертикальных (локальных) деформаций могут стать выходы нижележащих слоев глины. У левого берега в Кривой Болде они залегают на отметке минус 43,5 м, а у правого берега — на отметке минус 37,5 м, при этом мощность этих слоев изменяется по ширине русла от 1,5 до 2,1 м.

Для рукава Прямая Болда наиболее вероятным ограничением развития локальных вертикальных деформаций может стать глинистый слой, расположенный на отметке примерно минус 35,6 м. Мощность этого слоя составляет до 2,5 м, однако локально он частично был размыв к 2009 году. В пределах плесовой ложины, расположенной выше по течению от створа перехода газопровода, отметки дна составляли около минус 37,5 м. Другими словами, при дальнейшем углублении русла на 0,6 м горизонт залегания глины может быть пройден и процесс размыва дна продолжится до достижения отметки минус 42,4 м, где поток вновь вступит в контакт с трудноразмываемыми глинами.

При выборе местоположений устьев скважин для выполнения горизонтального наклонного бурения потребовалось разработать прогноз русловых деформаций на длительный период. Вертикальные деформации русел рукавов оценивались на основании рекомендаций по построению профилей предельного размыва [8]. В результате расчетов было установлено, что максимальный возможный размыв дна в Прямой Болде не приведет к понижению отметок дна глубже минус 38 м, а в Кривой Болде — ниже минус 44,7 м.

Горизонтальные деформации оценивались с помощью сопоставления разновременного картографического материала. Была установлена устойчивая тенденция к постепенному смещению излучин и плесовых ложин вниз по течению с максимальной скоростью не более 1,2 м/год. За 50 лет (1961–2011 гг.) левый берег рукава Кривая Болда на участке от ерика Мошкара до Яманцугского прорана размывся на 15–50 м, при этом прирост правого выпуклого берега не превышал 10–15 м. Расширился Яманцугский проран за счет размыва ухвостья острова Долгий и привера безымянного острова в районе

поселка Яманцуг. В Прямой Болде вогнутый участок берега на излучине размывся на 15–60 м, а выпуклый прирос на 20–60 м. С учетом выявленных темпов и направленности горизонтальных деформаций было установлено прогностическое положение русла рукавов через 100 лет. При этом для излучин учитывалось постепенное снижение темпов их продольного смещения и увеличение скорости поперечного смещения.

Профили предельного размыва русел для рукавов Прямая Болда и Кривая Болда

Построение профилей предельного размыва русел (ППР) выполнялось на основании рекомендаций СТО ГУ ГГИ 08.29-2009 (далее — СТО) [8] и расчетов по ВСН 163-83 (далее — ВСН) [2]. Согласно пункту 11.2.1 СТО определялись основные параметры для построения этих профилей.

На первом этапе определялась ориентировочная максимальная длина размыва $L_{нпр}$, согласно пункту 11.3.1 СТО принятая равной ширине пояса руслоформирования $B_{нр}$. С учетом определенного ранее характера руслового процесса в районе строительства подводного перехода (ограниченного меандрирования) величина $L_{нпр}$ (м) определялась с использованием таблицы 11.1 СТО по формуле:

$$L_{нпр} = 3,41B + 0,71, \quad (1)$$

где B — ширина русла в районе створа подводного перехода, м.

Для Кривой Болды значение $L_{нпр}$ составило 727 м, для Прямой Болды — 396 м.

Дальнейшие уточнения основных характеристик ППР проводились с учетом раздела 11.4 СТО. Максимальная глубина профиля предельного размыва $T_{нр}$ согласно пункту 11.4.17 СТО должна устанавливаться по совмещенным поперечникам. При этом длина участка совмещения поперечников L (м) определяется по формуле:

$$L = t_s C, \quad (2)$$

где t_s — время эксплуатации, лет ($t_s = 100$ лет согласно ВСН); C — скорость сползания излучин по схеме, приведенной в СТО на рис. 8.1б, определяемая при совмещении крупномасштабных карт за различные годы, м/год.

Сопоставление картографического материала за различные годы (1961–2010 гг.)

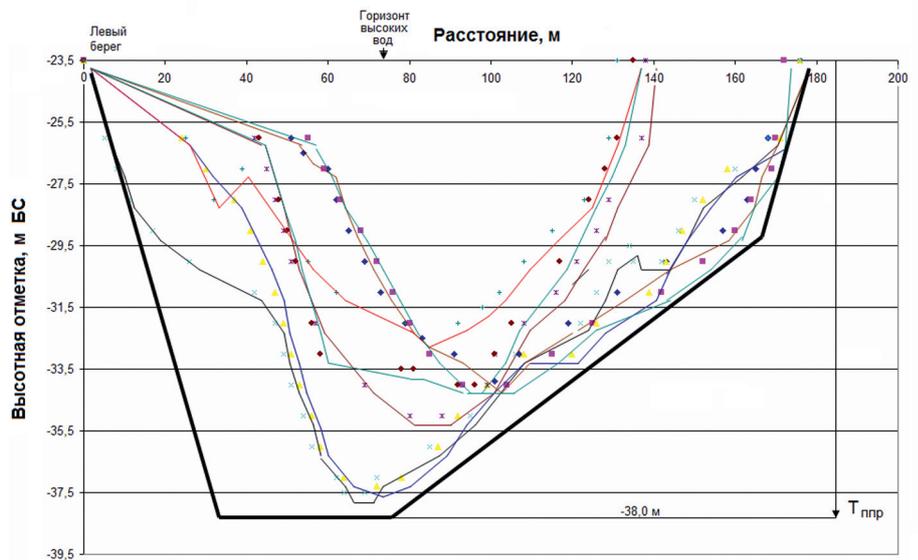


Рис. 6. Совмещенные разновременные профили поперечного сечения русла рукава Прямая Болда для определения максимальной глубины профиля предельного размыва $T_{нпр}$

показало, что в Кривой Болде продольное смещение вершины излучины относительно невелико или вообще отсутствует. Однако в то же время происходит размыв берега в нижнем крыле рукава, то есть отмечается асимметричное смещение излучины. Максимальные темпы этого смещения в среднем составляют 1,0–1,2 м/год и наблюдаются при размыве вогнутого берега в вершине излучины. Другими словами, скорости продольного и поперечного смещения излучины приблизительно одинаковы. Обычно выравнивание этих скоростей на свободной излучине наблюдается при достижении ею характерной крутизны, близкой к высокой степени ее развитости, когда отношение длины пути потока по руслу к шагу излучины приближается по значению к 1,5. Для излучины в пределах рассматриваемого участка равенство скоростей продольного и поперечного смещения еще раз указывает на ограниченные условия развития процесса меандрирования.

В Прямой Болде наблюдается аналогичная картина. Максимальные темпы размыва берегов в русле не превышают 1,0–1,2 м/год. При этом скорости продольного смещения излучины немного больше скоростей ее поперечного смещения.

Таким образом, при сохранении стационарности естественных процессов размыва берегов можно ожидать, что смещение излучин как в Прямой, так и в Кривой Болде не превысит 120 м за 100 лет. По мере развития излучин (увеличения их крутизны) более интен-

сивными темпами будет развиваться поперечное смещение, то есть скорости поперечного смещения будут выше скоростей продольного.

Подставляя значения максимальных скоростей размыва в формулу (2), получим, что длина участков совмещения поперечников L от расположения линии проектируемого газопровода не должна превышать 120 м. Для Прямой Болды это вполне реально. В пределах участка совмещения расположена глубокая плесовая ложина, имеющая наибольшие глубины по сравнению с прилегающими участками русла (рис. 6).

Для рукава Кривая Болда протяженность отрезка совмещения профилей (рис. 7) также удовлетворяет условию определения предельной глубины размыва. В этот отрезок входит участок русла с ямой размыва, сформированной в районе существующего газопровода. Однако, на взгляд авторов, в течение 100 лет процесс размыва дна на участке существующего газопровода может продолжиться. Происходящие здесь деформации русла отвечают условиям формирования новой плесовой ложины, отражая общий процесс развития излучины. Следует ожидать, что по мере размыва левого берега рукава и постепенного сползания вершины вышерасположенной излучины плесовая ложина примет в плане вытянутую вдоль берега форму. При этом продолжатся вертикальные деформации и не исключено, что размыв дна приведет к увеличению глубин на этом участке до значений, наблюдавшихся в

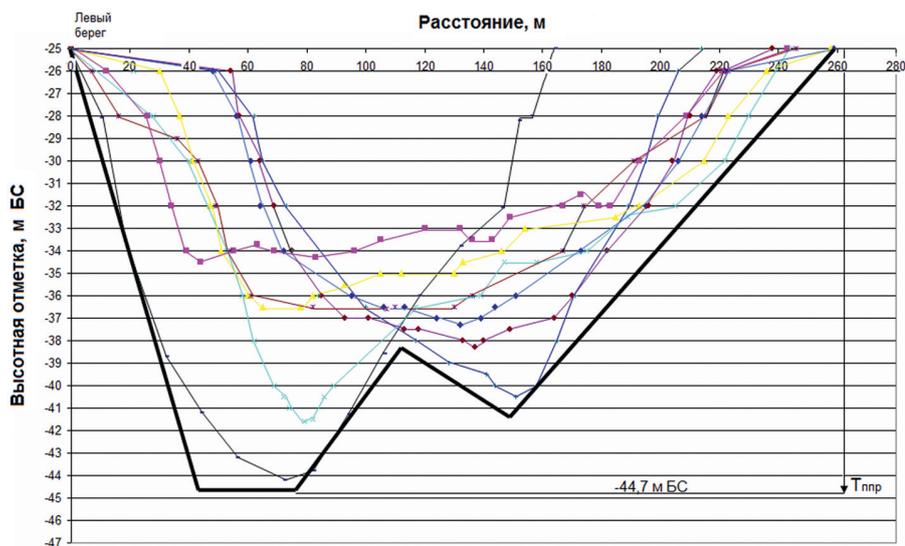


Рис. 7. Совмещенные разновременные профили поперечного сечения русла рукава Кривая Болда для определения профиля предельного размыва T_{npp}

районе вершины излучины в 1985 году. Исходя из этих соображений, при совмещении поперечных профилей следует внести дополнительный профиль, характеризующий размыв дна при переуглублении плесовой ложины. Совмещение таких профилей проводилось авторами с учетом пункта 11.4.17 СТО — по средней линии пояса руслоформирования.

Согласно проведенным расчетам размыв дна может достичь отметок минус 38,0 м для Прямой Болды (с учетом рекомендуемого запаса на грядовое движение наносов) и минус 44,7 м для Кривой Болды.

Уточнение информации о развитии русловых деформаций и построение профилей предельного размыва проводились на основе расчетов, рекомендуемых ВСН.

Для определения знакопеременных деформаций дна находились геометрические размеры и динамические показатели русловых микроформ (гряд) в соответствии с пунктами 5.1–5.3 ВСН.

Высоту гряд h_2 определяли по зависимости:

$$h_2 = 0,2 + 0,1H, \quad (3)$$

где H — глубина потока, м.

Длину гряд l_2 находили по формуле:

$$l_2 = H \cdot \sqrt[3]{\frac{C^2}{g}}, \quad (4)$$

где C — коэффициент Шези, $m^{0,5}/c$; g — ускорение свободного падения, m/c^2 .

Согласно проведенным расчетам для периода активного движения гряд их высота в Кривой Болде не должна превышать 0,6 м, а их длина составляет 15–25 м. Для Прямой Болды получены значения: $h_2 = 0,3$ м; $l_2 = 10 \div 15$ м. Таким образом, дополнительное увеличение глубины при определении T_{npp} для Прямой Болды можно принять равным 0,5 м (по рекомендации СТО), а для Кривой Болды — равным 0,6 м.

Скорость смещения гряд C_2 устанавливалась на основе использования номограммы приложения 5 ВСН. Для Кривой Болды значение C_2 равно 0,4 м/сут, а для Прямой Болды — 0,2 м/сут в межень. Для периода половодья величины C_2 для обоих рукавов в среднем составляют 4–5 м/сут. Однако эти скорости смещения гряд распространяются на перекатные участки, к которым исследуемые отрезки русла не относятся. Практически полное отсутствие гряд (относительно ровное дно), выявленное авторами согласно гидролокационному обследованию дна на подходе к створам переходов и в самих створах, в большей мере характеризует преобладание гладкой формы движения наносов в период половодья. Формирование крупных гряд в меженный период здесь достаточно проблематично вследствие недостаточных скоростей течения (0,1–0,2 м/с). Сток влекомых наносов в меженный период минимален и, вероятнее всего, осуществляется за счет перемещения микрорифелей высотой в несколько сантиметров.

Прогнозирование и расчет скоростей смещения мезоформ для участков

строительства подводных переходов газопроводов не проводились, что объясняется их отсутствием. Некоторые их элементы (в виде маломощного побочня) прослеживаются только в русле Прямой Болды в районе вершины излучины, где формируется выпуклый берег. Анализ имеющихся разновременных картографических материалов и космоснимков показал, что нарастание берега за 50 лет здесь не превысило 15–20 м, причем большая часть поверхности успела зарастить древесно-кустарниковой растительностью.

Совмещение планов русел показало, что плесовые ложины на участках, прилегающих к створам планируемого строительства газопровода, обладают малой подвижностью. Их продольное смещение согласно результатам анализа наиболее переуглубленных частей не превышает 1–2 м/год, и в них в большей мере наблюдаются вертикальные изменения высотных отметок дна.

Заключение

1. Размывы дна и смещение плесовой ложины привели к провисанию дюкера на участке подводного перехода газопровода Ермолинское — Промысловое — Астрахань у правого берега. Аварийное состояние этого перехода устранимо с помощью предложенного авторами ряда мероприятий. Рекомендовано провести берегоукрепительные работы в створе подводного перехода на правом берегу и засыпку провисов трубопровода крупнообломочным материалом. Указано на настоятельную необходимость проведения мониторинга русловых деформаций в районе подводного перехода в дальнейшем.

2. Прогноз русловых деформаций на участках подводных переходов через рукава волжской дельты Прямая Болда и Кривая Болда, выполненный авторами на многолетний период, позволил дать рекомендации по расположению трассы и по заглублению трубопроводов ниже высотных отметок минус 43,4 м и минус 50 м для первого и второго рукава соответственно. В обоих случаях рекомендовано расположение труб газопровода ниже кровли залегания глин. Максимальные размывы берегов, установленные для указанных рукавов, позволили рекомендовать выбор мест расположения устьев скважин наклонного бурения. При этом отмечено, что вероятность полной реализации прогноза останется высокой в случае неизменности (стационарности) протекания природных и антропоген-

ных процессов в дельте Волги (климатических, гидрологических, водохозяйственных), а также при отсутствии антропогенного вмешательства в естественные процессы на участках русел ру-

кавов, расположенных выше и ниже по течению от места строительства газопровода. В случае возникновения подобных факторов, способных повлиять на развитие русловых процессов на

данных участках, необходимо проведение более тщательного мониторинга как состояния подводных переходов, так и текущих изменений рельефа русел рукавов. 

Список литературы

1. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РСФСР. Т. 7. Река Волга от Саратовского гидроузла до Астрахани. М.: Главводпуть МРФ РСФСР, 1982.
2. ВСН 163-83 (Миннефтегазстрой). Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов). Л.: Гидрометеиздат, 1985.
3. Карта дельты реки Волга. Горький: Главводпуть МРФ РСФСР, 1979.
4. *Коротаев В.Н., Иванов В.В.* Русловые деформации на Нижней Волге // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2000. № 6. С. 37–43.
5. Навигационная карта реки Волги (Волгоградский гидроузел — Бертюль). Горький: Изд-во Волжского бассейнового управления пути МРФ РСФСР, 1965.
6. Основные гидрологические характеристики (за 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Вып. 1. Нижнее Поволжье. Л.: Гидрометеиздат, 1980.
7. *Римский-Корсаков Н.А., Долотов Ю.С., Пронин А.А.* Технические средства исследования рельефа дна и осадочной толщи эстуарных зон Белого моря // Океанология. 2009. Т. 49. № 3. С. 468–473.
8. СТО ГУ ГГИ 08.29-2009. Учет руслового процесса на участках подводных переходов трубопроводов через реки. СПб.: Нестор-История, 2009. 184 с.
9. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря. М.: ГЕОС, 1998. 278 с.
10. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.



4. Fedoseev Yu.E., Kuznetsov S.P., Kupriyanov A.O., Lebedev S.V. Obosnovanie razrabotki metodiki rekonstruktsii mestnykh sistem koordinat na territoriyakh gorodov i vysokourbanizirovannykh rayonov s ispol'zovaniem sputnikovykh metodov [Justification of the development of a technique of reconstruction of local coordinate systems in urban areas with the use of satellite methods] // Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Proceedings of higher schools. Geodesy and Aerial Photography]. 2014. № 1. S. 13–16 (Rus.).

INTEGRATED ENGINEERING SURVEYS IN UNDERWATER GAS PIPELINE ZONES FOR THE JUSTIFICATION OF METHODS OF THEIR RATIONAL OPERATION (A CASE STUDY FOR THE VOLGA DELTA)

BABICH D.B.

Senior staff scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and River Bed Evolution, Geography Faculty, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, dmbabich@mail.ru

IVANOV V.V.

Senior staff scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and River Bed Evolution, Geography Faculty, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, vvi06.56@mail.ru

KOROTAEV V.N.

Leading staff scientist of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and River Bed Evolution, Geography Faculty, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geography), Moscow, vlaskor@mail.ru

Both large and small rivers, as well as their arms (including delta ones) are natural obstacles to the construction of highways, railways, power lines, major and local pipelines. These hurdles are overcome using the construction of bridge, aerial and underwater crossings.

In the last 50 years, the hydrological regimes of the Volga River lower reaches and of its delta arms changed significantly in connection with the construction of a cascade of reservoirs along Volga. They not only redistributed the intra-annual river water flow, but also intercepted most of suspended and bed loads, as well as disturbed the dynamic equilibrium between the river flow (water flow and sediment yield) and channel processes. These channel formation conditions required detailed surveys in the areas of underwater gas pipeline relaying, including: by the trench method for the underwater crossing of

the Ermolinskoe-Promyslovoe-Astrakhan gas pipeline in the Volga arm; and by the horizontal directional drilling method for the underwater crossing of the GRS4-GRS1A gas pipeline branch in the delta arms of Pryamaya Bolda and Krivaya Bolda.

The cameral work included an acquisition of published and stock hydrological and cartographic materials and a channel analysis. The field work consisted of integrated hydrographic (echo-sounding surveys), hydrometric (measurement of water flows and water surface slopes, bottom soil sampling), geological (drilling and sampling to a depth of 30 m in channels and floodplains), and geophysical (sonar mapping of the bottom) surveys.

In the area of the surveyed underwater crossing of the Ermolinskoe-Promyslovoe-Astrakhan gas pipeline, the erosion of the bottom and the displacement of

the river stretch hollow led to the sagging of the underwater gas pipeline near the right bank. The emergency state of this underwater crossing can be eliminated by a set of measures proposed by the authors. They recommended: to protect the right bank at the section line of the underwater crossing; and to fill the pipeline sags by macrofragmental material. The authors pointed out that monitoring of channel deformations in the underwater crossing areas is necessary.

The authors performed a long-term forecast of channel deformations in the areas of the underwater crossings in the delta arms of Pryamaya Bolda and Krivaya Bolda. This forecast made it possible to recommend the route location and the optimal embedding depth for the pipeline in the crossing areas. In the both cases, the authors recommended to embed the gas pipeline below the clay strata roof. The revealed maximal stream-bank erosion made it possible to recommend the location of wellheads for directed drilling. At that, the authors notes that the reliability of the full forecast implementation will be high in the case of the invariability (stationarity) of the natural and anthropogenic processes (climatic, hydrological, water management ones) in the Volga delta, as well as in the absence of human intervention into the natural processes in the sections of the delta arms upstream and downstream of the constructed underwater gas pipeline crossings. 🌐

References

1. Atlas edinoi glubokovodnoy sistemy Evropeyskoy chasti RSFSR. T. 7. Reka Volga ot Saratovskogo gidrouzla do Astrakhani [Atlas of a single deep-water system of the European part of the RSFSR. V. 7. The Volga River from the Saratov water-engineering system to Astrakhan]. M.: Glavvodput' MRF RSFSR, 1982 (Rus.).
2. VSN 163-83 (Minneftegazstroy [Ministry of Construction of Oil and Gas Enterprises of the USSR]). Uchet deformatsiy rechnykh rusel i beregov vodoemov v zone podvodnykh perekhodov magistral'nykh truboprovodov (neftegazoprovodov) [Taking deformations of river beds and water body shores into account for the zones of underwater major oil-and-gas pipeline crossings]. L.: Gidrometeoizdat, 1985 (Rus.).

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 Kaspiyskogo 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. Ruslovedenie: 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