

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА УЧАСТКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ПЕРЕХОДА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ БАЙДАРАЦКУЮ ГУБУ КАРСКОГО МОРЯ**

ЕРМОЛОВ А.А.

Научный сотрудник географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, руководитель отдела инженерно-геологических изысканий ЗАО «Институт экологического проектирования и изысканий», к.г.н., г. Москва

[alexandr.ermolov@gmail.com](mailto:alexandr.ermolov@gmail.com)

ПРЯДИЛИН Р.Ю.

Руководитель отдела инженерно-геодезических изысканий ЗАО «Институт экологического проектирования и изысканий», г. Москва

### **Аннотация**

В работе содержатся сведения о полевых исследованиях морфологии и динамики побережья и дна Байдарацкой губы Карского моря на участке строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Бованенково - Ухта. Нарушение устойчивости береговых систем стало причиной увеличения скорости термоабразии, которая представляет реальную опасность и может привести к повреждению существующих и проектируемых инженерных сооружений

### **Ключевые слова**

Байдарацкая губа; мониторинг; газопровод; переход; рельеф дна; ледовая эрозия; геологические процессы

### **Введение**

В условиях инженерного освоения территории устойчивость геологической среды определяется не только природными процессами, но и техногенным воздействием, которое, как правило, ее снижает. На берегах арктических морей, сложенных многолетнемерзлыми рыхлыми отложениями, это проявляется особенно ярко. Любое воздействие на тепловое состояние пород через условия их теплообмена с атмосферой и дополнительные теплопотоки (поверхностные и подземные воды) способно резко ускорить протаивание или промерзание многолетнемерзлых толщ и вызвать активизацию неблагоприятных и опасных геологических процессов. А нарушения динамики вещества в береговой зоне моря, вызванные строительством инженерных сооружений на мелководье, способны кардинально изменить тенденции развития берега.

Участок строительства подводного перехода магистральных газопроводов Бованенково - Ухта, рассматриваемый в данной статье, расположен в южной части Байдарацкой губы Карского моря, глубоко вдающейся в сушу и ограниченной с запада Югорским полуостровом, а с востока - полуостровом Ямал. Ширина губы в районе перехода - около 67 км. Рельеф морского дна на данном участке ровный, слабонаклонный (уклоны составляют порядка 0,1-2,0°), осложненный формами рельефа субаквального и субаэрального происхождения [1, 3-5]. Большую часть года, с середины октября до середины июля, акватория покрыта припайными и дрейфующими льдами, снижающими активность гидродинамических процессов.

Строительство подводного перехода системы магистральных газопроводов «Бованенково - Ухта» через Байдарацкую губу и необходимых объектов строительной и эксплуатационной инфраструктуры ведется с 2008 года. Прокладка трубопроводов осуществляется подземным способом в траншее с обратной засыпкой. В пределах береговой зоны ведется строительство коффердамов шириной 50 м, выдающихся в море на расстояние до 70-80 м и расположенных на расстоянии 100 м друг от друга вдоль оси проектируемых ниток газопровода. Строительство

сопровождается нарушениями естественных условий природной среды, снижающими устойчивость криогеосистемы и вызывающими деформации отдельных компонентов ландшафта.

Мониторинг литодинамических и опасных геологических процессов и гидрологических явлений в период строительства рассматриваемого объекта проводился с целью оценки возможных изменений геологической среды, прогнозирования их последствий при строительстве и выработка рекомендаций для принятия решений по снижению негативного воздействия экзогенных процессов.

При выполнении исследований в число основных входили следующие задачи: получение информации о рельефе дна на изучаемом участке после проведения строительных работ; картирование и оценка изменений морфометрических характеристик рельефа дна; характеристика экзарационных борозд; получение информации (в том числе геодезической) об источниках воздействия, состоянии и изменениях компонентов геологической среды в зоне влияния строительства; прогноз развития литодинамических (включая ледово-экзарационные) и геологических процессов; выработка рекомендаций по минимизации неблагоприятных воздействий на геологическую среду общего и детального характера.

### **Подводный участок перехода**

После укладки трубопроводов в траншее на дне и их засыпки одними из лучших методов исследования литодинамических и ледово-экзарационных процессов на сегодняшний день являются батиметрическая и гидролокационная съемка рельефа дна способом площадного обследования с использованием системы многолучевого эхолота и гидролокатора бокового обзора. Эти виды дистанционных исследований наряду с традиционной съемкой рельефа дна позволяют определять состояние грунта над трубой, участки всплытия и оголения трубы, области аккумуляции и размыва и, что особенно важно в арктических морях, наличие и параметры борозд ледового выпахивания, образовавшихся уже после засыпки трубопровода. Причем регулярные наблюдения на вновь засыпанных участках трубопроводов позволяют однозначно определять возраст борозд, их число за определенный период времени, глубину и ширину. Соответственно, повышается степень достоверности прогнозных оценок и снижаются риски возникновения аварийных ситуаций на инженерных объектах.

Материалы ранее проведенных исследований [1, 3-6] свидетельствуют о распространении борозд ледового выпахивания на дне Байдарацкой губы до глубины 26-28 м. При этом экзарация дна на глубине более 12-14 м является одним из основных рельефообразующих факторов в современных условиях.

Новые данные, полученные в ходе производственного мониторинга, подтверждают существующие представления. Выполненные с борта научно-исследовательского судна «Иван Петров» гидролокационные работы позволили составить уточненную батиметрическую карту коридора трассы перехода в масштабе 1:5000 и трехмерные модели рельефа, которые отражают актуальную на период проведения изысканий информацию о рельефе дна, ледово-экзарационных и иных остаточных деформациях после производства строительных работ (подготовки траншей, засыпки и др.).

Детальный анализ полученных изображений и их сравнение с имевшимися результатами работ прошлых лет показали, что в пределах обследованного коридора трассы перехода магистральных трубопроводов нет сколько-нибудь значительных изменений мезорельефа дна, появления и исчезновения аккумулятивных и эрозионных форм рельефа, за исключением ледовой экзарации. Вместе с тем результаты съемки демонстрируют большое число борозд выпахивания различного масштаба и возраста с узкими гребнями по их краям. Борозды ориентированы преимущественно параллельно оси губы - с северо-запада на юго-восток. Ближе к берегам количество их уменьшается в соответствии с увеличением активности гидродинамических факторов (волнения, приливно-отливных течений и пр.). В средней части губы (глубже 12-14 м) глубина борозд в среднем составляет около 0,8-1,0 м, достигая на отдельных участках 1,3-1,7 м.

Сопоставление полученных данных с материалами исследований предыдущих лет показало, что экзарационное воздействие на дно в течение двух последних лет происходило с довольно

низкой интенсивностью и количество вновь образованных форм на дне не превышает 3-7% от их общего числа. При этом наибольшим распространением пользуются сравнительно неглубокие борозды (до 0,6-0,8 м) сложной конфигурации, ориентированные как вдоль оси губы, так и в других направлениях. Длина этих форм различна - от первых десятков до сотен метров и первых километров.

Наиболее заметные и крупные деформации поверхности дна в коридоре трассы обусловлены строительными работами по дноуглублению, разработке траншей под укладку трубопроводов и их засыпке. Траншеи представляют собой линейные отрицательные формы рельефа, образованные механизированным способом в соответствии с проектными решениями по строительству перехода газопроводов. Всего в коридоре трассы в период проведения работ насчитывалось три параллельные траншеи, которые прослеживались фрагментарно на различных участках дна. В среднем их глубина составила 1,5-2,0 м, иногда до 3,0 м, ширина - до 5-7 м. На трехмерных моделях рельефа вдоль траншей прослеживаются отвалы грунта высотой 1-2 м, образованные при его выемке, местами размытые и деформированные.

Разработка траншей вызывает незначительные изменения в структуре баланса наносов литодинамических систем и способна вызвать краткосрочные изменения морфологии дна на участке работ и прилегающем мелководье. Особенно хорошо это заметно в районе устья реки Яраяха (на Ямальском берегу), где дноуглубительные работы привели к серьезной перестройке подводного берегового склона на приустьевом участке и увеличили ширину осушки на 200-300 м. При этом сами траншеи перехватывают часть наносов, перемещающихся вдоль берега, однако серьезного влияния на литодинамику не оказывают. Занос траншей происходит в соответствии с особенностями гидродинамической обстановки на различных участках подводного склона, при этом скорость аккумуляции осадков сопоставима со среднемноголетними региональными значениями этого параметра.

Следует также учитывать, что строительство ведется в течение летнего динамически активного сезона, когда волновая активность достигает своего максимума. Поэтому первичная нивелировка техногенного рельефа на подводном склоне и его адаптация к существующим гидродинамическим условиям происходит под воздействием волноприливного поля, оказывающего основное влияние на рельеф дна за сравнительно короткий период времени. В зимний период основными гидродинамическими агентами помимо ледового покрова как на подводном береговом склоне, так и в центральной части Байдарацкой губы являются приливно-отливные, постоянные и стоковые течения, энергия которых существенно ниже.

В целом проведенный анализ не выявил заметной перестройки рельефа морского дна и изменений в тенденциях развития рельефообразующих процессов с началом строительства. Крупных очагов размыва и аккумуляции в пределах обследованной полосы дна установлено не было. Интенсивность развития литодинамических процессов, в том числе ледово-экзарационных, существенно не изменилась и по-прежнему определяется сезонными особенностями атмосферной циркуляции, климатическими особенностями конкретного года и ледовой обстановкой. Локальные изменения литодинамических условий на участках разработки траншей за пределами береговой зоны (на глубине более 6-10 м) и остаточные деформации являются малозначительными и обратимыми (при обратной засыпке) и не представляют серьезной опасности для инженерных сооружений.

## Береговые участки перехода

Исключением является верхняя часть береговой зоны, где масштабное техногенное воздействие уже привело к интенсификации термоабразии на Уральском берегу. И, что более важно, развитие опасных процессов прогнозируется в будущем. При этом наиболее заметные изменения в их динамике отмечаются на участках, непосредственно примыкающих к строящимся коффердамам.

До начала строительных работ Уральский берег Байдарацкой губы между устьями рек Ою-Яха и Нюдяко-Тамбяха развивался под воздействием комплекса береговых и термоденудационных процессов (термоабразии, термоэрозии, термокарста и пр.) и отступал со

среднемноголетней скоростью 1,7 м/год [5]. Этому способствовали относительно сильные вдольбереговые потоки волновой энергии и высокая льдистость пород, слагающих берег. Разрушению подвергался уступ террасового уровня высотой до 4-6 м, сложенный мелкими и пылеватыми мерзлыми песками с прослойми суглинков и супесей, включениями галечного материала и гравия. У подножия уступа формировались прислоненный пляж шириной 15-30 м и осушка сложного профиля, сложенные преимущественно песчаным материалом.

Строительство коффердамов вызвало активизацию процессов термоабразии на 70-метровом отрезке берега между коффердамами 1-2-й и 3-4-й ниток газопровода. При этом основными факторами дестабилизации береговой морфолитосистемы стали масштабное изъятие песчаного материала с пляжа, осушка для строительных нужд и дефицит наносов волнового поля, обусловленный нарушениями их вдольберегового транспорта.

Начавшийся «низовой» размыв осушки и пляжа был закономерен и предсказуем, а необходимость защиты берега на данном участке приобрела особую актуальность. Резкое сокращение полосы пляжа до 3-5 м привело к непосредственному воздействию волнения на береговой уступ в безледный период и резкому увеличению скорости отступания берега до 3-4 м/год. При этом все попытки стабилизировать берег на этом участке оказались безрезультатными.

Высокая эффективность абразионного процесса во многом обусловлена литологией пород, слагающих берег. Многолетнемерзлая песчаная толща характеризуется высокой льдистостью, в разрезе вскрываются ледяные линзы и повторно-жильные льды. Наряду с механической абразией здесь активно протекают процессы термоабразии и термоденудации. В нижней части берегового откоса формируется волноприбойная ниша глубиной до 1,0-1,5 м, и дальнейшее разрушение берега происходит при участии склоновых (гравитационных) процессов. Материал, поступающий к подножию уступа, перерабатывается волнением и выносится на глубину, где перераспределяется на пологом подводном склоне в соответствии с гидравлической крупностью частиц.

Рассматриваемый участок является ярким примером негативного техногенного вмешательства в развитие береговой зоны моря и пренебрежения имеющимися геоэкологическими рисками. В современных условиях возникла серьезная угроза устойчивости и безопасной эксплуатации коффердама и собственно 2-й нитки газопровода. Дальнейшее разрушение берега может привести к возникновению прямой опасности повреждения трубопровода под воздействием волнения, припайных льдов, криогенных процессов и пр. При этом морфология берегового уступа на данном участке, невыработанный профиль подводного берегового склона и литология пород не создают предпосылок для снижения интенсивности термоабразионного процесса в будущем, а продолжающиеся строительные работы и сокращение ширины пляжа и осушки, напротив, позволяют предполагать, что скорость отступания берега будет увеличиваться.

## Выводы и рекомендации

Ситуация, сложившаяся на участке строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов «Бованенково - Ухта» через Байдарацкую губу Карского моря, требует незамедлительных мер по защите инженерных сооружений и укреплению берега. При этом важнейшим условием стабилизации термоабразионного процесса является прекращение изъятия песчаного материала с пляжа и осушки и устройство (восстановление) защитной волногасящей пляжевой полосы перед береговым уступом. Устойчивость пляжа и берегового уступа может быть обеспечена наброской каменного материала (каменно-набросными бунами, матами и пр.) и сооружением подпорно-волноотбойной стенки, а дефицит пляжеобразующих наносов должен обеспечиваться регулярными подсыпками песчаного грунта наиболее крупных фракций. Строительные работы на бровке берегового уступа и близлежащей поверхности террасового уровня, сложенной сильнольдистыми грунтами, рекомендуется проводить в зимний период с последующими теплоизоляцией нарушенных участков и укреплением склонов.

Прогноз динамики берегов на этом участке в сложившейся ситуации сильно затруднен из-за быстро меняющейся ситуации на площадке строительства. Можно предполагать, что вне зависимости от техногенных факторов сохранятся основные тенденции развития береговых

процессов, чему будут служить коффердамы и дефицит наносов волнового поля, обусловленный нарушениями их вдольберегового транспорта. А вот результат их воздействия на берег во многом будет определяться влиянием инженерных сооружений и мероприятий, проводимых в пределах береговой зоны (берегоукрепления, подсыпки грунта и пр.). Весьма вероятно, что разрушение берега будет продолжаться. Ведь термоабразионные берега могут разрушаться очень долго даже при крайне низких значениях уклонов подводного склона, так как в процессе отступания берега происходит увеличение глубины над подводным склоном [2]. Аккумуляция возможна лишь на участках, примыкающих к коффердамам при заполнении входящего угла наносами, однако выдвижение береговой линии на этих участках в течение ближайших 10-15 лет, по оценке авторов, не превысит 15-20 м.

### Список литературы

1. Авенариус И.Г., Ермолов А.А., Мысливец В.И., Репкина Т.Ю. Рельеф и некоторые аспекты палеогеографии позднего валдая - голоцен в районе о. Варандей (Баренцево море) // Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. Кн. 1. Апатиты, 2001. С. 135-147.
2. Арэ Ф.Э. Термоабразия морских берегов. М.: Наука, 1980. 160 с.
3. Бирюков В.Ю., Ермолов А.А., Огородов С.А. Рельеф дна Байдацкой губы Карского моря // Вестник Московского государственного университета. Сер. 5. География. 2008. № 5. С. 80-84.
4. Бирюков В.Ю., Совершаев В.А. Геоморфология дна Карского моря // Динамика арктических побережий России / под ред. В.И. Соломатина и др. М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 102-115.
5. Камалов А.М., Огородов С.А., Бирюков В.Ю., Совершаева Г.Д., Цвецинский А.С., Архипов В.В., Белова Н.Г., Носков А.И., Соломатин В.И. Морфолитодинамика берегов и дна Байдацкой губы на трассе перехода магистральными газопроводами // Криосфера Земли. 2006. № 3. С. 3-14.
6. Огородов С.А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: Изд-во Московского университета, 2011. 173 с.

**Выходные данные:** Журнал «Инженерные изыскания», №10-11/2013, С. 88-91