

**ЕРМОЛОВ А.А.**

Руководитель Управления геологических работ  
 ЗАО «Институт экологического проектирования и изысканий»,  
 Москва, научный сотрудник географического  
 факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.н.,  
 alexandr.ermolov@gmail.com

**ERMOLOV A.A.**

Head of the Geological Survey Department  
 of the «Ecological Design and Survey Institute» CJSC, staff scientist of  
 the Geography Faculty of Lomonosov Moscow State University,  
 PhD (candidate of science in Geography), Moscow,  
 alexandr.ermolov@gmail.com

## МОРФОЛИТОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОСТАВЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

### MORPHOLITHODYNAMIC RESEARCH AS A PART OF ENGINEERING SURVEYS FOR CONSTRUCTION

**Ключевые слова:** литодинамические процессы; морские берега; рельеф дна; инженерные изыскания; мониторинг.

**Key words:** lithodynamic processes; seashores; bottom topography; engineering surveys, monitoring.

**Аннотация:** в настоящей работе содержатся сведения об исследованиях литодинамических процессов, выполняемых в ходе инженерных изысканий и производственного мониторинга на инженерных объектах. Рассматриваются результаты проведения этих исследований на участке перехода магистральных газопроводов через Байдацкую губу Карского моря, их научная основа и нормативная база, методы и специфика работ в различных природных условиях.

**Abstract:** the paper contains information about investigations of lithodynamic processes for engineering surveys and production monitoring at engineering objects. Results of these studies in the area of the transition of main gas pipelines through Baidaratskaya Bay of the Kara sea, their scientific basis and regulatory framework, methods and specifics of the works in various natural conditions are considered.

Морфолитодинамические исследования, выполняемые при инженерно-гидрометеорологических изысканиях на континентальном шельфе [14, 15], выделяются среди других видов инженерных изысканий спецификой предмета изучения и применяемыми методами. Весьма специфичным является и назначение таких работ, которые в последние десятилетия наряду с задачами берегоукрепления и портового строительства все чаще применяются для це-

лей проектирования и возведения сооружений нефтегазового комплекса на мелководных участках шельфа. При этом для строительства таких объектов, как подводные магистральные трубопроводы, этот вид изысканий является одним из основных.

Предметом морфолитодинамических исследований являются динамика (перемещение) наносов и изменения (деформации) рельефа берегов и дна. Наиболее активно эти процессы проте-

кают на прибрежном мелководье, а основными факторами, определяющими условия и интенсивность их развития, являются гидрометеорологические (в том числе ледовые), литолого-геоморфологические и геокриологические.

Инженерное значение этих исследований заключается в получении качественных и количественных характеристик морфолитодинамических процессов, необходимых для проектирования, оценки надежности эксплуатации и



влияния сооружений на морфологию и динамику береговой зоны и дна при нарушениях режима транспорта наносов, устойчивости береговых систем и пр. На основе получаемых данных производится выбор участка строительства, тип и конструкция сооружения. Прогнозная оценка позволяет предотвратить нежелательные последствия строительства как для инженерных сооружений, так и для природной среды.

Основными результатами работ в наиболее общем виде принято считать выделение участков размыва дна и аккумуляции наносов, оценку динамики несвязных осадков, прогноз деформаций берегов и дна и оценку рисков воздействия морфолитодинамических процессов на эксплуатируемые и/или проектируемые инженерные сооружения. Выводы и рекомендации, сделанные по результатам морфолитодинамических изысканий, должны максимально полно учитываться при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений на шельфе и в прибрежной зоне. Это обусловлено необходимостью обеспечения промышленной и экологической безопасности объектов, расположенных в таких динамически активных и одновременно уязвимых областях. Немаловажным является и экономический фактор, от которого нередко зависят выбор проектных решений и возможность реализации того или иного проекта.

Научную базу для прикладных морфолитодинамических исследований составляют различные разделы географических и геологических наук: геоморфология морских берегов, общая геоморфология, гидродинамика прибрежного мелководья, морская геология, геология четвертичных отложений, палеогеография позднелайстоцен-голоценового периода и др. В соответствии с этим для решения задач морфолитодинамики применяется комплекс самых различных методов (литологических, геоморфологических, геодезических, геофизических и пр.), что связано как со сложностью изучаемых процессов и явлений, так и с разнообразием природных обстановок.

По сути изучаемых явлений принято выделять два основных направления исследований [6]. Первое заключается в изучении особенностей перемещения наносов под влиянием гидродинамических и других факторов, второе — в изучении и анализе геолого-геоморфологических результатов проявлений литодинамических процессов, таких как морфология и динамика различных

форм рельефа дна и берегов, стратиграфии чехла рыхлых прибрежных отложений, дифференциации наносов на подводном склоне и др. В этой связи выделяются следующие методы морфолитодинамических исследований: литодинамические (в том числе лабораторное (гидравлическое) и математическое моделирование), геоморфологические, литологические, геофизические, геологические, гидрологические, палеогеографические и др. Применяются самые разные технические средства и приборная база, нередко заимствованные из инженерно-геологических, инженерно-геофизических и инженерно-гидрологических изысканий. Подробно методы исследований, методика проведения работ и теоретические основы динамики морских берегов рассмотрены в специальной литературе [1, 5, 6, 8, 11, 12, 13].

Несмотря на выраженную специфику указанного вида работ, существующая нормативная база инженерных изысканий для строительства [14, 15] рассматривает литодинамические исследования в составе инженерно-гидрометеорологических изысканий. Рекомендуются их выполнение в комплексе с инженерно-геодезическими, инженерно-геологическими и инженерно-гидрометеорологическими изысканиями, что весьма рационально с точки зрения получения всесторонней информации для отдельных компонентов природной среды.

На практике нередко возникает необходимость выполнения морфо- и литодинамических исследований отдельно от других видов работ. Их назначением, как правило, являются инженерная защита территорий, повышение надежности, обеспечение промышленной и геологической безопасности отдельных зданий и сооружений, расположенных в непосредственной близости от береговой линии или на акватории, мониторинг опасных геологических, литодинамических, в том числе ледово-экскариционных процессов на строящихся и эксплуатируемых объектах.

ЗАО «Институт экологического проектирования и изысканий» (ЗАО «ИЭПИ») неоднократно выполняло подобные исследования как в составе комплексных изысканий, так и для решения частных задач берегозащиты на отдельных участках Черного, Карского и Охотского морей. Одним из наиболее интересных объектов с точки зрения морфолитодинамики остается подводный переход системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта че-

рез Байдарацкую губу Карского моря, где в 2011 году специалистами предприятия был проведен мониторинг литодинамических и опасных геологических процессов (и гидрологических явлений) в период строительства 1-й и 2-й ниток газопровода. Одной из основных задач работ являлось получение достоверной информации об изменении рельефа морского дна на подводном участке трубопровода для оценки возможной опасности различных литодинамических процессов (в том числе ледовой экскариации) на данном участке и выработки рекомендаций для принятия решений по снижению негативного воздействия строительно-монтажных работ на окружающую среду.

Участок перехода расположен в южной части Байдарацкой губы Карского моря, глубоко вдающейся в сушу и ограниченной с запада Югорским полуостровом (Уральским берегом), а с востока — полуостровом Ямал. Ширина губы в районе перехода составляет около 67 км. Рельеф морского дна здесь ровный, слабонаклонный, осложненный формами субаквального и субаэрального происхождения [2, 3, 7, 10], максимальная глубина по трассе перехода составляет 23 м. Большую часть года, с середины октября до середины июля, акватория покрыта припайными и дрейфующими льдами, снижающими активность морфолитодинамических процессов. Суровость ледовых условий проявляется также и в существовании потенциальной айсберговой угрозы для строящихся газопроводов, оценка вероятности которой проводится в последние годы широким кругом специалистов [9]. Берега Байдарацкой губы на значительном протяжении разрушаются в естественных условиях со скоростью 1–3 м/год [7].

Строительство подводного перехода на этом участке ведется с 2008 года. Прокладка трубопроводов осуществляется подземным способом в траншее с обратной засыпкой теми же грунтами. 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, деформациями береговой зоны и подводного склона.

Результаты мониторинговых работ по изучению динамики берегов и рельефа дна частично освещались ранее [4]. В настоящей статье хотелось бы отме-



Рис. 1. Коффердам на Ямальском берегу Байдарацкой губы Карского моря

тить их практическую значимость для безопасности инженерных и природных систем в течение прошедшего с момента проведения работ трехлетнего периода. Дело в том, что исследованиями 2011 года была выявлена резкая активизация разрушительного термоабразивного процесса на 70-метровом отрезке Уральского берега между коффердамами 1–2-й и 3–4-й ниток газопровода, серьезно осложнившая выполнение строительных работ и представлявшая непосредственную опасность для строившихся и проектируемых объектов газотранспортной системы.

Выполненные специалистами ЗАО «ИЭПИ» мониторинговые работы и анализ сведений, накопленных за период многолетних (1988–2008 гг.) исследований динамики этих берегов [7, 10], позволили выявить основные причины и факторы дестабилизации береговой морфолитосистемы, выполнить прогнозную оценку и разработать рекомендации по снижению интенсивности опасных процессов.

До начала строительных работ Уральский берег Байдарацкой губы между устьями р. Ою-Яха и р. Нюдяко-Тамбьяха развивался под воздействием комплекса термоденудационных про-

цессов (термоабразии, термоэрозии, термокарста и пр.) и отступал со среднесреднегодной скоростью 1,7 м/год [7]. Этому способствовали относительно сильные вдольбереговые потоки волновой энергии и литология пород, слагающих берег. Разрушению подвергался уступ террасового уровня высотой до 4–6 м, сложенный мелкими и пылеватыми мерзлыми песками с прослоями суглинков и супесей, включениями галечного материала и гравия. У подножия уступа формировался прислоненный пляж шириной 20–30 м и осушка сложного профиля, сложенные преимущественно песчаным материалом.

Начавшееся строительство сопровождалось масштабными изъятиями песчаного материала с пляжа и осушки для строительных нужд и усилением дефицита наносов волнового поля, обусловленного нарушениями их вдольберегового транспорта при сооружении коффердамов. Сокращение ширины пляжа до 3–5 м привело к непосредственному воздействию волн на береговую уступ в безледный период и вызвало резкое увеличение скорости отступления берега до 3–4 м в год. При этом все попытки стабилизировать берег на этом участке в первый год строи-

тельства оказались безрезультатными. Эффективности абразионного процесса здесь способствовала высокая льдистость многолетнемерзлых пород и широкое распространение полигонально-жильных льдов, вследствие чего механическая абразия усиливалась за счет процессов термоденудации.

Сложившаяся ситуация требовала незамедлительных мер по защите инженерных сооружений и укреплению берега. Важнейшими условиями для снижения интенсивности термоабразивного процесса являлись: прекращение изъятия песчаного материала с пляжа и осушки; устройство (восстановление) защитной волногасящей пляжевой полосы перед береговым уступом. Для стабилизации береговой зоны на участке строительства в условиях дефицита пляжеобразующих рыхлых отложений также были предложены меры по повышению устойчивости пляжа и берегового уступа за счет набросок каменного материала (создания каменно-набросных бун, бетонных матов и пр.) и сооружения подпорно-волноотбойной стенки на ключевых участках берега. Дефицит пляжеобразующих наносов предлагалось ликвидировать путем регулярных подсыпок песка





**Рис. 2. Термоабразионный берег между строящимися коффердамами на Уральском берегу Байдарацкой губы Карского моря (2011 г.)**

наиболее крупных фракций. Кроме того, было рекомендовано выполнять работы на бровке берегового уступа и на близлежащей поверхности террасового уровня, сложенной сильнольдистыми грунтами, в зимний период с последующими теплоизоляцией нарушенных участков и укреплением склонов.

Повторные наблюдения в 2012–2013 годах показали, что строители учли часть рекомендаций и проведенные берегозащитные мероприятия дали положительный эффект — активного отступления берега больше не наблюдалось.

На рассматриваемом участке было выполнено укрепление берега бетонными матами и мешками с песком, набросками крупнообломочного материала. Прилегающие склоны были отсыпаны щебнем крупных фракций. Кроме того, сооружение коффердамов и подсыпки материала между ними привели к изменениям уклонов в верхней части подводного берегового склона, что нашло отражение в изменении морфологии прилегающих участков берега. Так, наметились тенденции к расширению осушки и отмиранию клифов за счет частичной

разгрузки вдольберегового потока наносов с северо-западной стороны коффердамов, и, напротив, к сокращению осушки и началу размыва некогда стабильных берегов низкого террасового уровня с юго-восточной стороны сооружений.

Таким образом, литодинамические исследования способствовали проведению эффективных мероприятий по стабилизации берега на участке строительства коффердамов и предотвращению аварийных ситуаций и больших материальных потерь. Однако принятые меры являются недостаточными для коренной перестройки береговых процессов на этом участке с низкой естественной устойчивостью и унаследованной тенденцией к отступанию береговой линии. Соответственно, ежегодный мониторинг литодинамических процессов на участках промышленного освоения должен выполняться в течение всего периода строительства и эксплуатации газопроводных систем для обеспечения экологической и промышленной безопасности. Ведь термоабразионные берега могут разрушаться очень долго даже при крайне низких значениях уклонов подводного склона, так как в процессе отступления берега происходит увеличение глубин над поверхностью подводной части склона [1], а дефицит наносов волнового поля не способствует их обильной аккумуляции даже в условиях изменения контура берега.

### Список литературы

1. Арэ Ф.Э. Термоабразия морских берегов. М.: Наука, 1980. 160 с.
2. Бирюков В.Ю., Ермолов А.А., Огородов С.А. Рельеф дна Байдарацкой губы Карского моря // Вестник Московского государственного университета. Сер. 5. География. М., 2008. № 5. С. 80–84.
3. Бирюков В.Ю., Совершаев В.А. Геоморфология дна Карского моря // Динамика арктических побережий России / под ред. В.И. Соломагина и др. М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 102–115.
4. Ермолов А.А., Прядилин Р.Ю. Особенности производственного мониторинга геологических и литодинамических процессов на участке строительства перехода магистральных газопроводов через Байдарацкую губу Карского моря // Инженерные изыскания. 2013. № 10-11. С. 88–91.
5. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 710 с.
6. Инженерно-гидрометеорологические изыскания на континентальном шельфе. Практическое руководство / под ред. Б.Х. Глуховского. М.: Гидрометеиздат, 1993. 377 с.
7. Камалов А.М., Огородов С.А., Бирюков В.Ю., Совершаева Г.Д., Цвезинский А.С., Архипов В.В., Белова Н.Г., Носков А.И., Соломатин В.И. Морфолитодинамика берегов и дна Байдарацкой губы на трассе перехода магистральными газопроводами // Криосфера Земли. 2006. № 3. С. 3–14.
8. Леонтьев О.К. Основы геоморфологии морских берегов. М., 1961. 418 с.
9. Огородов С.А., Шестов А.С., Архипов В.В., Баранская А.В., Вергун А.П., Кокин О.В., Марченко А.В., Цвезинский А.С. Современный ледово-эскарпационный рельеф на шельфе Западного Ямала: натурные исследования и моделирование // Вестник НГУ. Сер. Математика, механика, информатика. 2013. Т. 13. Вып. 3. С. 78–90.
10. Природные условия Байдарацкой губы. Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Ямал — Центр. М.: ГЕОС, 1997. 432 с.
11. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях. М., 1975. 240 с.
12. Сафьянов Г.А. Инженерно-геоморфологические исследования на берегах морей. М., 1987. 150 с.
13. Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов. М., 1996. 400 с.
14. СП 11-103-97. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. М.: Гидрометеиздат, 1997.
15. СП 11-114-2004 Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромышленных сооружений. М.: Госстрой России, 2004.