

УДК 573.632:502.7

## Оценка экологических последствий строительства и эксплуатации подводного перехода магистрального газопровода через Байдарацкую губу (Карское море)

С. Г. Миронюк<sup>1</sup>, кандидат геолого-минералогических наук  
ООО «Газпром инжиниринг»

*Представлены результаты оценки воздействия строительства многониточного подводного перехода газопровода через Байдарацкую губу (Карское море) на окружающую среду. Приведены данные о природных условиях морского и сухопутного участков строительства. Определены масштабы воздействия строительных работ и гипотетических аварий на морскую среду. Показано, что наибольшее воздействие на условия обитания морской биоты оказывает взмучивание грунтов при заглублении газопровода в донные осадки. Сделано заключение о незначительном ущербе при строительстве подводного перехода, который компенсируется согласно действующему законодательству.*

**Ключевые слова:** арктические моря, Байдарацкая губа, подводный газопровод, ОВОС, экарация, нефть, метан, гидробионты, экологическая безопасность.

В начале 2002 г. правление ОАО «Газпром» определило полуостров Ямал и прилегающий арктический шельф в качестве региона стратегических интересов компании и основного объекта освоения месторождений на период до 2010 г. и последующую перспективу. Первоочередными объектами разработки определены обустройство Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения и строительство газотранспортной системы «Ямал — Центр». При строительстве газопровода для транспортировки газа Бованенковского месторождения с полуострова в качестве альтернативных рассматривалось несколько вариантов его трассы: через Байдарацкую (с Усть-Карским и Ярыным подвариантами) и Обскую губы, а также сухопутный маршрут. Многокритериальное сравнение различных вариантов трассы газопровода (учитывались интересы и оператора объекта, и третьих лиц, осуществляющих природопользование в регионе) показало, что вариант, включающий подводный переход через Байдарацкую губу, предпочтительнее прочих вариантов.

Проект «Система магистральных газопроводов Бованенково — Ухта. Переход через Байдарацкую

губу» предусматривает строительство многониточного подводного перехода через Байдарацкую губу Карского моря. Цель строительства перехода — транспорт природного газа с месторождений полуострова Ямал в центральную Россию.

Начальной точкой трассы газопровода является установка комплексной подготовки газа Бованенковского месторождения. От нее трасса газопровода следует по полуострову Ямал, пересекает Байдарацкую губу и далее проходит по материковой части России. Общая протяженность трассы — около 2,5 тыс. км. В составе первой очереди строительства подводного перехода предусматривается прокладка двух ниток (основной и резервной) с минимальным расстоянием между ними 50 м. Подводный переход газопровода через Байдарацкую губу состоит из морского и сухопутных береговых участков. Общая протяженность перехода газопровода через Байдарацкую губу — около 72 км, собственно морского участка — 67 км, максимальная глубина моря в районе перехода достигает 22—23 м (рис. 1).

С августа 2005 г. на акватории Байдарацкой губы в районе трассы газопровода выполняются инженерно-экологические изыскания (ИЭИ).

Для экологического обоснования намечаемой деятельности проведена оценка воздействия строи-

<sup>1</sup> e-mail: mironyuk.sg@gazprom-engineering.ru.



Рис. 1. Трасса подводного перехода через Байдарацкую губу (снимок из космоса)

тельства перехода на окружающую среду (ОВОС). ОВОС выполнена в соответствии с «Положением об оценке воздействия намечаемой и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации» (приказ Госкомэкологии России от 16 мая 2000 г. № 372, зарегистрировано Минюстом России 4 июля 2000 г. № 2302) и «Практическим пособием по разработке раздела “Оценка воздействия на окружающую среду” при обосновании инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений» (к СП 11-101-95). В ходе подготовки раздела ОВОС были учтены также требования норм главы 10 ВН 39-1.9-005-98 «Нормы проектирования и строительства морского газопровода» (ОАО «Газпром», 1998).

Полученные сведения и анализ информации сделали возможным оценить фоновое состояние экосистемы района исследований, дать качественный прогноз изменения окружающей среды под воздействием строительства перехода, предложить рекомендации для проведения производственного экологического мониторинга и контроля на этапе строительства и эксплуатации.

### Морской участок

Байдарацкая губа расположена между Югорским полуостровом и полуостровом Ямал [1]. Трасса проектируемого перехода через Байдарацкую губу пролегает в ее центральной части между компрессорными станциями «Байдарацкая» (побережье Ямала) и «Ярынская» (побережье Полярного Урала). Район планируемого подводного перехода газопровода находится в центральной части Байдарацкой губы. Байдарацкая губа — один из наиболее крупных заливов Карского моря, она находится в его юго-западном секторе. Она представляет собой обширный, глубоко вдающийся в сушу мелководный залив, вытянутый с северо-запада на юго-восток (см. рис. 1).

Климат Байдарацкой губы — морской, арктический с низкими температурами воздуха, высокой влажностью и большой облачностью, малым количеством осадков, частыми туманами летом, штормами и метелями зимой. Он обусловлен географическим положением губы, особенностями атмосферной циркуляции и характером подстилающей поверхности. Географическое положение Байдарацкой губы и малые глубины создают благоприятные условия для формирования ледяного покрова, который существует в течение восьми-десяти месяцев в году.

В тектоническом отношении район исследований расположен на борту Западно-Сибирской плиты между Уральской складчатой системой

на западе и Юрибейской моноклиналию на востоке. Геологический разрез Байдарацкого прогиба представлен мезозойско-кайнозойским плитным комплексом, перекрытым толщей новейших отложений. Плита сложена терригенными, угленосными и кремнисто-глинистыми морскими и континентальными формациями. Мощность новейших осадочных отложений составляет 150—200 м. Верхний слой представлен прибрежно-морскими осадками — суглинками и глинами, чередующимися в разрезе и в плане с песками. Верхнеплейстоценовые аллювиально-морские отложения в Байдарацкой губе — прадельте Оби состоят из переслаивающихся песков, супесей и суглинков. Голоценовые морские осадки — это в основном суглинистые и глинистые илы, супеси, реже пески. Последние распространены преимущественно на западном прибрежном участке. Тонкодисперсные осадки характеризуются повышенным содержанием растворимых соединений железа, марганца и органического вещества растительного происхождения.

Рельеф дна Байдарацкой губы имеет достаточно сложное строение. На дне хорошо сохранились древние формы, соответствующие субаэральному этапу развития. Современный субаквальный рельеф в большей степени выражен в пределах подводного берегового склона в диапазоне глубин от 0 до 15 м. Это зона наиболее активного гидродинамического воздействия на дно, где формируются вдольбереговые валы и ложбины. Преимущественно в этой зоне поверхность дна губы осложнена бороздами выпахивания [2].

Анализ материалов бурения и геофизических исследований по трассе перехода показал, что инженерно-геологические условия района строительства подводного перехода являются сложными, что обусловлено наличием реликтовых многолетнемерзлых пород (ММП) и газосодержащих грунтов, а также экзарацией дна килиями торосов [3]. Реликтовые

ММП, находящиеся в стадии деградации, обнаружены на отдельных участках трассы перехода в интервале глубин 10—15 м — 100—150 м от дна моря. Их распространение весьма неоднородно и носит островной характер. Наблюдается возрастание прерывистости и глубины залегания кровли и сокращение их мощности при движении в сторону моря.

По данным сейсмоакустических исследований установлено, что на всем протяжении трассы проектируемого сооружения под слоем голоценовых морских осадков широко распространены газосодержащие грунты. Глубина кровли газонасыщенных отложений от поверхности дна, по данным сейсмоакустических исследований, изменяется от 1,5—2,0 до 10—15 м, достигая в отдельных местах глубин 18—22 м. По возрасту это верхнеплейстоценовые отложения, по генезису — морские фации, а по составу — пески и редко глинистые грунты. Состав биогенного газа — метановый, его фоновые концентрации не оценены. Зафиксированные газопроявления и газосодержащие породы существенной опасности для проектируемого объекта не представляют из-за небольших объемов газовых карманов и пластовых давлений. Аналогичный вывод относительно степени опасности рассматриваемого явления был сделан А. Локтевым [4].

По материалам сонарной съемки, сейсмоакустического профилирования и эхолотных промеров дна проведен анализ донных микроформ по профилю перехода трубопровода. Исследования показали наличие современных борозд выпахивания на дне моря различной глубины и ширины (рис. 2). Глубина борозд в песчаных и суглинистых грунтах не превышает 1,5—2,5 м, ширина составляет 10—40 м, длина может достигать нескольких километров.

Наибольшее количество борозд замечено на береговом склоне губы на участках с повышенными величинами уклона дна. Снижение количества экзарационных

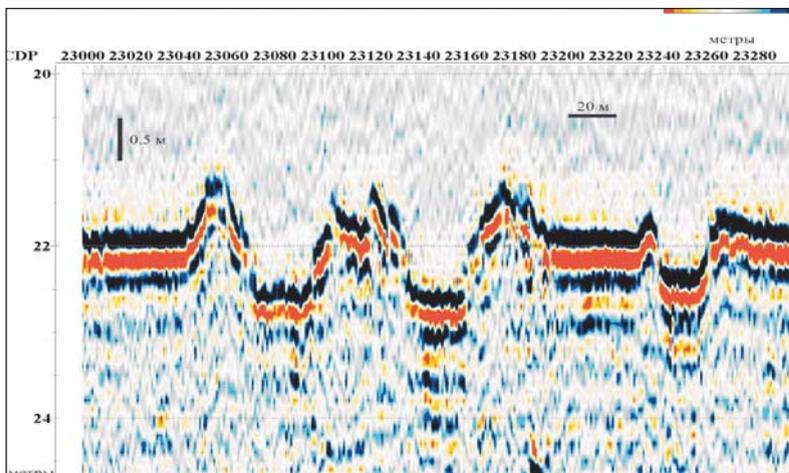


Рис. 2. Следы выпахивающей деятельности торосов на дне Байдарацкой губы (профилограмма)

борозд отмечается в пределах наиболее глубоких участков трассы. Образование более глубоких борозд, чем указано выше, айсбергами или их обломками в Байдарацкой губе маловероятно [5]. Для получения оперативной информации о состоянии ледяного покрова в губе и разработки методов прогноза опасных ледовых явлений в период строительства газопровода необходима организация круглогодичного мониторинга ледовых условий.

В Байдарацкой губе присутствуют морские воды с хорошо выраженными признаками распреснения и сравнительно низкими температурами воды при наличии вертикальной стратификации вод и широкого диапазона изменчивости содержания взвешенных веществ. По солевому составу воды рассматриваемого района относятся к морским распресненным водам хлоридного класса натриевой группы. Соленость вод губы в районе трассы перехода в период проведения наблюдений находилась в пределах от 19‰ до 26‰ для поверхностного горизонта и от 26‰ до 29‰ для придонного. В состав загрязняющих веществ, определяемых в воде и донных отложениях губы, вошли фенолы, нефтяные углеводороды и тяжелые металлы. Исследования показали, что содержание нефтяных углеводородов в губе сравнительно низкое. Их наиболее характерная (медианная) концентрация для поверхностного и придонного горизонтов составила 0,03 мг/дм<sup>3</sup>. Повторяемость значений этого показателя выше уровня предельно допустимой концентрации (ПДК) достигала 10%, при этом в придонном горизонте величины нефтяных углеводородов не превышали 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. Подобная ситуация в целом типична для прибрежных малозагрязненных районов российской Арктики [6]. Загрязненность донных отложений нефтяными углеводородами также была низкой. Их медианная концентрация не превышала 5 мг/кг сухого грунта, а максимальная концентрация равнялась 39 мг/кг сухого грунта. Для сравнения можно отметить, что содержание нефтяных углеводородов в донных отложениях наиболее загрязненных районов Белого моря может достигать 100—300 мг/кг сухого грунта и даже больше. Содержание тяжелых металлов в водах губы в целом можно считать незначительным. Исключение составила медь, для которой повторяемость концентраций более ПДК (0,005 мг/дм<sup>3</sup>) достигала 73%. Кроме того, зафиксировано наличие по одному значению, превышающему уровень ПДК, для никеля и марганца (повторяемость значений более ПДК — 3%). Наиболее высокая загрязненность вод губы вышеупомянутыми тремя металлами отмечалась на участках

предполагаемого дампинга грунта. Очевидно, это обусловлено мелководностью данных участков и их близостью к береговой черте. Здесь обменные процессы металлами на границе раздела систем «донные отложения — вода» и «взвеси — вода» в штормовых условиях получают наиболее благоприятное развитие. Указанное содержание тяжелых металлов в донных отложениях губы в целом свойственно для прибрежной зоны Арктики. При этом наибольшие концентрации в грунтах были характерны для железа и марганца.

В Байдарацкой губе и прилегающих районах, устьях и низовьях впадающих в нее рек размножаются навага, полярная камбала, корюшка, девятииглая колюшка. Здесь расположены места, пригодные для размножения чешско-печорской сельди, мигрирующей в отдельные годы из Баренцева моря. По комплексу условий прибрежная зона губы пригодна для нагула молоди рыб, как обитающих в Карском море, так и заходящих сюда из Баренцева моря. Из всех видов морских рыб губы только навага является объектом специализированного промысла. Другие виды, такие как корюшка, полярная камбала, сайка, вылавливаются в виде прилова в период промысла наваги и используются, как правило, местным населением в пищу или на подкормку пушного зверя. Остальные виды морских рыб (сельдь, мойва и др.) промыслового значения в Байдарацкой губе не имеют. В экосистеме губы важное место занимают морские млекопитающие, однако число их видов сравнительно невелико. Из китообразных это белуха, из ластоногих — нерпа, морской заяц, гренландский тюлень и морж. Байдарацкая губа лежит на одном из главных пролетных путей сезонно мигрирующих птиц, являясь местом их наибольшей концентрации на северном побережье Евразии. Как и для многих арктических морей, для губы характерны массовые гнездовья морских птиц. Промыслового значения Байдарацкая губа не имеет из-за малых биоресурсов и неразвитой береговой инфраструктуры промысла. Коренное население занимается береговым промыслом морского зверя для личных нужд, но он незначителен и нерегулярен.

### **Береговые участки**

Описываемый район относится к Северной геокриологической зоне или зоне практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород [7—10]. Среднегодовые температуры пород изменяются от  $-8^{\circ}\text{C}$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ . Мощность многолетнемерзлых пород в ряде мест превышает 150 м.

Для береговой зоны Байдарацкой губы характерно сплошное распространение многолетнемерзлых пород практически на всех геоморфологических элементах. Наличие этих пород обусловило широкое распространение современных мерзлотных процессов. Среди них наиболее распространены термоабразия, сезонное протаивание грунтов, термокарст, термоэрозия и морозобойное растрескивание

грунтов. В меньшей степени проявляются процессы морозного пучения, криогенные оползни и др.

Наибольшая активность литодинамических процессов имеет место в безледный период, продолжающийся в Байдарацкой губе в среднем 66 сут. Максимальные скорости отступления берегов зафиксированы на уральском участке побережья, где скорость термоабразии может достигать 3,5 м/год (на ямальском участке — за пределами створа перехода — 0,9 м/год). Опасность абразионного вреза для эксплуатации трубопровода заключается в постепенном уменьшении слоя осадков над трубопроводом, в результате чего труба может оголиться, что способно вызвать ее прогиб или повреждение льдами. Поэтому при принятии проектных решений относительно прокладки труб в прибрежной зоне следует учесть возможную величину абразионного вреза за 30-летний период эксплуатации системы трубопроводов. Характеризуемые территории ямальского и уральского берегов губы расположены в зоне тундр, в подзоне южных субарктических тундр. Зональной является тундровая растительность с участием кустарников, сочетающаяся с болотами и зарослями кустарников.

ОВОС проекта строительства подводного перехода выполнялась для обоих режимов функционирования газопровода: штатного и вероятного аварийного. Ниже рассмотрены основные результаты оценки применительно к периодам строительства и эксплуатации объекта.

В период строительства на береговых участках возможны следующие основные негативные последствия:

- нарушение почвенного покрова в полосе землеотвода (механическое воздействие), изменение температурного режима почв;
- воздействие на атмосферный воздух работающих механизмов;
- беспокоящее воздействие на живые организмы от производства работ;
- изменение уровня залегания вечномерзлых пород в полосе землеотвода за счет проходки траншей, дренажных канав и пр.

Во второй период:

- тепловое воздействие трубопровода на вечномерзлые породы;
- воздействие на почвенный и растительный покров, связанное с эксплуатационным обслуживанием трубопровода.

Одним из основных источников воздействия на морскую среду при строительстве подводного перехода являются земляные работы при проходке траншеи и подходных каналов, заглублении и засыпке трубопроводов и дампинге грунта, сопровождающиеся:

- повышением содержания в воде взвеси, образованной мелкими (илистыми и глинистыми) фракциями донных отложений (взмучивание);

- изменением гидрохимического режима морской воды при высвобождении загрязняющих веществ из донных осадков во время земляных работ.

Основные изменения окружающей среды в процессе строительства подводного перехода в первую очередь отразятся на наиболее чувствительном компоненте экосистем — морской биоте. В этот период могут наблюдаться следующие эффекты:

- гибель бентосных форм в местах проведения земляных работ;
- угнетение и гибель бентоса и планктона на участках увеличения мутности при дноуглубительных работах;
- нанесение ущерба рыбным запасам, обусловленное снижением кормовой базы;
- нарушение мест обитания ихтиофауны;
- отпугивающее воздействие шумов и вибрации, а также световое воздействие на орнитофауну.

В соответствии с законодательством предусмотрены компенсационные платежи за потенциальный ущерб рыбным запасам. Следует заметить, что этот ущерб весьма незначителен из-за крайней бедности экосистем Байдарацкой губы и всего Карского моря [11].

Наибольшее воздействие на условия обитания биоты оказывает деятельность трубозаглубителя. По данным моделирования, во время его работы вдоль одной нитки газопровода максимальное количество единовременного содержания взвеси в воде может достигнуть 18 тыс. т. Максимальная площадь распространения взвеси составляет 12 км<sup>2</sup> при концентрации ее более чем на 0,25 мг/л выше фоновой, а при концентрации взвешенных частиц более чем на 100 мг/л выше фоновой — 5 км<sup>2</sup>.

При строительстве подводного перехода через Байдарацкую губу будет оказываться воздействие на сравнительно ограниченное число видов ихтиофауны — омуля, сига, полярную камбалу, девятиглавую корюшку. Рыбы, как правило, покидают места с неблагоприятными условиями обитания. Поэтому какое-либо влияние на них может отразиться в тот период жизненного цикла, когда они еще не способны к активному передвижению, т. е. на стадии икры и личинки. В целом воздействие на ихтиофауну губы при проведении земляных работ на ее акватории будет незначительным (площадь нарушаемых участков дна не превысит 1%) и не повлияет на динамику ее многолетней изменчивости. Шумы и вибрация во время строительства могут оказывать отпугивающее воздействие на птиц. Косвенное воздействие на орнитофауну может быть выражено через снижение кормовой базы, так как птицы играют заметную роль как потребители планктона, бентоса, рыб и различных растений. При нормальной эксплуатации газопровода существенных воздействий на большую часть морской биоты наблюдаться не будет. После восстановления сообществ, нарушенных при прокладке трубопровода, воздействия практически будут сведены к нулю.

Серьезную опасность для экосистемы Байдарацкой губы может представлять аварийная ситуация на плавсредствах на этапе строительства, сопровождающаяся попаданием в морскую среду нефтепродуктов (дизельного топлива) [12—15] (в соответствии с [16, ст. 1] «нефть» означает сырую нефть, топливную нефть, тяжелое дизельное топливо и смазочные масла).

Арктические моря особенно уязвимы к нефтяным загрязнениям из-за суровых климатических условий, слабо связанных и уязвимых пищевых цепей, низкой скорости био- и фоторазложения нефтепродуктов. В ходе строительства подводного перехода планируется использовать разнообразные плавсредства (трубоукладочные суда, буксиры, баржи, изыскательские суда и др.). Для заправки топливом части этих судов планируется использовать танкеры-заправщики с дедвейтом около 3000 т с двойным корпусом. Предварительные расчеты показали, что в результате возможной аварии танкера-заправщика в районе строительства масса разлива дизельного топлива из одного резервуара (грузового танка) может составить около 450 т. Согласно исследованиям Международной морской организации основными причинами аварий судов (84—88% аварий танкеров) являются человеческий фактор и условия навигации [17], а частота аварий (для морей с интенсивным судоходством) равна: посадки на мель — 5,4 на 106 миль; столкновения — 1,9 на 106 миль; повреждения конструкции — 0,48 на 106 миль; пожара, взрыва — 0,063 на 106 миль. При этом вероятность вылива более 100 т нефти при авариях танкеров с двойным корпусом в случае посадки на мель или столкновения с другим судном составляет 0,03 [18].

Учитывая особенности грунтовых условий и рельефа дна Байдарацкой губы, отсутствие регулярного судоходства, можно утверждать, что вероятность аварии на ее акватории с проливом нефти значительно ниже указанных значений. Например, за многолетнюю историю проведения дноуглубительных работ в Печорской губе Баренцева моря не зафиксировано каких-либо аварий на плавсредствах с разливом нефтепродуктов. Это можно объяснить относительной безопасностью работы судов в таких заливах, как Печорская, Обская и Байдарацкая губы, где отсутствуют берега, сложенные скальными грунтами, скопления крупных камней и валунов, рифы и другие навигационные опасности. Даже при посадке судна на мель в Байдарацкой губе опасность повреждения топливных или грузовых танков крайне мала. Столкновение судов в губе также маловероятно из-за ее удаленности от основных судоходных трасс и специфики гидротехнических работ, которые предполагают использование малых скоростей движения и очень осторожное маневрирование. Гипотетически, однако, нельзя исключить возможность аварийного разлива нефтепродуктов в Байдарацкой губе. При этом возможными последствиями нефтяных разливов могут быть загрязнение водной толщи

и донных отложений. Конкретный сценарий такого загрязнения сильно зависит от гидрометеорологической обстановки в момент аварии и в последующие сутки, а масштаб последствий в значительной мере определяется траекторией переноса и устойчивостью нефтяного пятна. В случае отсутствия его контакта с береговой линией (т. е. при дрейфе в открытом море) часть нефтяного пятна может быстро (в течение нескольких суток) рассеяться в больших объемах воды, если скорость ветра будет достаточна, чтобы вызвать большое волнение. Если нефтяной разлив достигнет берега, экологические последствия, как правило, носят более масштабный характер. Восстановление экосистемы Байдарацкой губы, если учитывать опыт исследования последствий подобных разливов в арктических морях, произойдет в течение 1—5 лет в зависимости от объема нефтепродуктов, метеорологической обстановки и особенностей дрейфа нефти по поверхности воды.

Технические решения проекта направлены на безаварийную работу рассматриваемого газопровода (тепловая изоляция газопровода на участках распространения ММП, замена слабых грунтов, сплошное бетонное покрытие труб и др.). Однако, как показывает мировая практика эксплуатации подводных трубопроводов, имеется определенная вероятность их повреждения. По оценкам различных авторов частота аварий на подводных газопроводах оценивается величинами порядка  $8,8 \cdot 10^{-5}$ — $2,4 \cdot 10^{-3}$  (год·км)<sup>-1</sup> [19—21]. Установлено, что доминирующими причинами аварийных ситуаций на подводных трубопроводах являются коррозия (50%), механические повреждения вследствие воздействия якорей, тралов, вспомогательных судов и строительных барж (20%) и повреждения, вызванные штормами, размывами дна (12%) [20]. В замерзающих морях наибольшую опасность для подводных трубопроводов представляет ледовая экзарация дна [22; 23]. Ледовое пропахивание происходит при контакте киля торосов или айсберга с донной поверхностью. Современные борозды ледового пропахивания в арктических морях могут достигать 7 м в глубину, 100 м в ширину и формироваться на глубинах до 45 м и более [24].

В случае аварийной ситуации негативное воздействие на окружающую среду будет проявляться прежде всего в загрязнении воды и атмосферы метаном. Подсчитано, что максимальные потери газа в случае аварии на подводном переходе составят около 10 000 т. При этом лишь небольшая его часть успеет раствориться в воде. Негативное воздействие аварии подводного газопровода на морскую биоту происходит в результате частичного растворения метана, выхода его на поверхность моря, локального придонного взмучивания осадков и их последующего осадения на дно [25—29].

Экспериментальное изучение аварийного выброса газа на морскую биоту проводилось в условиях экосистем Баренцева моря. Согласно предварительным выводам природный газ оказывает отрицательное

влияние на планктонных ракообразных в концентрациях от 2 мг/л и выше, а концентрации менее 0,4 мг/л не сказывались ни на выживаемости, ни на плодовитости этой группы. На бентосных ракообразных не сказывается влияние природного газа в концентрации 2,0 мг/л, токсический эффект начинался в диапазоне концентраций 2,6—4,7 мг/л, концентрации 5,0 мг/л и выше вызывали остротоксический эффект. В экспериментах на литоральных брюхоногих моллюсках токсическое действие природного газа проявилось начиная с концентраций 1,6 мг/л, а уменьшение репродуктивной способности моллюсков обнаружено при концентрациях 3,3—7,2 мг/л. Прямое воздействие метана и его гомологов на ранние стадии развития рыб практически не изучено. Предполагается, что метан и другие углеводороды обладают наркотическим, нервно-паралитическим, «общетоксическим» влиянием на водные организмы, возрастающим при увеличении температуры воды. В основе его воздействия лежит гипоксия, резко усиливающаяся в присутствии этана, пропана, бутана и других гомологов этого ряда. Считается, что первичные сублетальные эффекты начинают проявляться при концентрации метана в морской воде около  $10^{-1}$ , а острая токсичность — при уровнях более 1 мл/л.

В случае аварийной ситуации на газопроводе в зимний период в акватории со сплошным ледовым покровом негативные экологические последствия будут более масштабными. Гибель организмов, преимущественно планктонных, вследствие токсичности метана возможна лишь в непосредственной близости от места выхода газа к поверхности воды. Пелагические рыбы, млекопитающие, птицы, способные избегать зоны воздействия, будут находиться в ней слишком короткое время, чтобы погибнуть или получить заметные повреждения. Воздействие на бентос будет носить точечный характер из-за низкой растворимости метана в воде и его быстрого подъема к поверхности моря. Популяционные реакции и нарушения в случае аварии не прогнозируются. При разрыве газопровода на мелководье негативное воздействие природного газа на ранние стадии развития рыб будет усилено мощным гидродинамическим ударом, который возникнет при залповом выбросе перекачиваемого под большим давлением газа. Однако негативный эффект такого удара будет иметь локальный характер, и его влияние на иктиопланктон можно оценить как слабое. Установлено, что при наиболее мощных воздействиях упругих волн от взрывов многокилограммовых зарядов взрывчатых веществ радиусы зоны летального поражения для рыб не превышают нескольких десятков метров. Аварийные выбросы газа при разрыве подводного трубопровода приведут к формированию котлована (воронки) и локальной зоны повышенной мутности, которые представляют опасность для биоты на участке, примыкающем к месту аварии. В целом взмучивание осадков при аварийном разрыве газопровода будет

иметь локальный и кратковременный характер и не окажет существенного негативного воздействия на морские организмы.

Таким образом, выполненные в рамках ОВОС исследования показали, что техногенные нагрузки при реализации проекта не превысят самовосстановительный потенциал морских экосистем, различные параметры экосистемы Байдарацкой губы будут колебаться в рамках природной изменчивости. Экологические последствия при строительстве подводного перехода можно оценить как слабые.

На сегодняшний день закончено масштабное строительство четырехниточного подводного перехода газопровода через акваторию Байдарацкой губы в Карском море, качество строительных работ оценивается как соответствующее требованиям экологической безопасности.

### Литература

1. Природные условия Байдарацкой губы: Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Ямал — Центр. — М.: ГЕОС, 1997. — 432 с.
2. Огородов С. А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. — 173 с.
3. Наумов М. А., Онищенко Д. А. Требования к исходным данным, необходимым для моделирования воздействия ледовой экзарации на заглубленные трубопроводы // Арктика: экология и экономика. — 2013. — № 2 (10). — С. 4—17.
4. Локтев А. С. Инженерно-геологические изыскания в районах распространения ММП на Арктическом шельфе // Труды 11-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore 2013). 10—13 сентября 2013 года, Санкт-Петербург. — СПб.: Химиздат, 2013. — С. 199—203.
5. Кульпин Л. Г., Савченко В. И., Обморочева Л. Б. и др. Особенности освоения потенциальных месторождений Байдарацкой губы Карского моря // Труды 10-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore 2011). 13—16 сентября 2011 года, Санкт-Петербург. — СПб.: Химиздат, 2011. — С. 206—209.
6. Геоэкология шельфа и берегов морей России / Под ред. действ. члена РАЕН, проф. Н. А. Айбулатова. — М.: Ноосфера, 2001. — 428 с.
7. Природа Ямала. — Екатеринбург: УИФ «Наука», 1995. — 436 с.
8. Урал и Приуралье. — М.: Наука, 1968. — 461 с.
9. Трофимов В. Т. Зональность инженерно-геологических условий Земли. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. — 348 с.
10. Геоэкология СССР: Западная Сибирь / Под ред. Э. Д. Ершова. — М.: Недра, 1989. — 454 с.
11. Ишнов А. Г., Коняев С. В., Вильчек Г. И. и др. Сравнительный анализ экологических аспектов строительства морских газопроводов // Газ. пром-сть (Спецвыпуск «Экология и энергосбережение в газовой промышленности»). — 2013. — № 688. — С. 27—30.
12. Научно-методические подходы к оценке воздействия газонефтедобычи на экосистемы морей Арктики (на примере Штокмановского проекта) / Под ред. Г. Г. Матишова и Б. А. Никитина. — Апатиты: КНЦ РАН, 1997. — 393 с.
13. Грищенко А. И., Аكوпова Г. С., Максимов В. М. Экология: Нефть и газ. — М.: Наука, 1997. — 598 с.
14. Хаустов А. П., Редина М. М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. — М.: Дело, 2006. — 552 с.
15. Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе / Отв. ред. Г. Г. Матишов. — Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. — 500 с.
16. Международная конвенция по предотвращению загрязнения моря нефтью. Лондон, 12 мая 1954 г.
17. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. — М.: Ин-октаво, 2005. — 368 с.
18. Семанов Г. Н. Разливы нефти в море и обеспечение готовности к реагированию на них // Журн.-кат. «Транспортная безопасность и технологии». — 2005. — № 2.
19. Мансуров М. Н., Астафьев В. Н., Алексеев С. Б. Как повысить надежность подводных трубопроводов на шельфе замерзающих морей // Газ. пром-сть. — 1987. — № 10. — С. 59—61.
20. Аварийность на морских нефтегазовых объектах / М. Лисанов, А. Савина, Е. Самусева, С. Сумской // Oil and Gas J. Russia. — 2010. — № 5 (39). — С. 48—53.
21. Лаптева Т. И. Совершенствование методов оценки устойчивости и эксплуатационной надежности морских трубопроводов: Дис. ... канд. техн. наук. — М.: ВНИИГАЗ, 2008. — 130 с.
22. Акимов В. А., Соколов Ю. И. Риски чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне России // Проблемы анализа риска. — 2010. — Т. 7, № 4. — С. 26—47.
23. Миронов Е. У., Смирнов В. Н., Торянов А. Б., Вербицкая О. А. Исследования ледяных образований и параметров экзарации морского дна в Байдарацкой губе для обеспечения строительства подводного трубопровода // Труды 10-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore 2011). 13—16 сентября 2011 года, Санкт-Петербург. — СПб.: Химиздат, 2011. — С. 185—189.
24. Palmer A. C., Konuk I., Niedoroda A. W. et al. Arctic seabed ice gouging and large sub-gouge deformation // Proceedings, International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics. — Perth, Australia, 19—21 Sept., 2005.
25. Миронов О. Г. Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводородами. — Л.: Гидрометеоздат, 1985. — 128 с.
26. Патин С. А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. — М.: Изд-во ВНИРО, 1997. — 350 с.
27. Патин С. А. Нефть и экология континентального шельфа. — М.: Изд-во ВНИРО, 2001. — 247 с.
28. Морские трубопроводы / Ю. А. Горяинов, А. С. Федоров, Г. Г. Васильев и др. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. — 131 с.
29. Максимов В. М., Лимар Е. Ф., Клименко Е. Т. и др. Экологические последствия возможных аварийных ситуаций при эксплуатации морского газопровода // Потенциал. — 2001. — № 5. — С. 61—65.