



УДК 551.4: 551.243. 11 (235. 35)

Геологические опасности и риски по нефтегазопроводам на севере о. Сахалин

Качура Р. А., Куклин А. С.,
Лапердин В. К. (laperdin@crust.irk.ru),
Тимофеев Н. В. (nik.diamond@gmail.com)

Аннотация. В работе дана оценка современного состояния геологической среды и основополагающих факторов формирования опасных геологических процессов по коридору трасс нефтегазопроводов, пересекающих северную часть о. Сахалин.

Ключевые слова: нефтегазотранспортирующие, углеводородные системы, комплексы, эндогенные, экзогенные, техногенные факторы, процессы, грунты, риски, опасности, экология.

Введение

Инженерно-геологические изыскания, послужившие основой написания данной статьи, были выполнены по трассе газопровода «Сахалин-2», который запроектирован вдоль действующего нефтепровода Оха – Комсомольск-на-Амуре и газопровода «Сахалин-1», проложенных в северной части острова параллельно. Рассматриваемый участок трасс достаточно сложный для строительства и эксплуатации нефтегазотранспортирующей линейной системы и сопутствующих ей сооружений. Особая сложность предопределена сочетанием эндогенных и экзогенных факторов, отрицательно действующих на устойчивость геологической среды. Прежде всего отметим, что Сахалин, расположенный между двумя крупнейшими на планете географическими объектами – Азиатским континентом и Тихим океаном, находится в зоне экстремальных условий и высокого природного риска, определяющихся сеймотектонической активностью и циклоническим климатом, способствующих развитию катастрофически опасных геологических процессов. В суровых природных условиях необходимо применение специально разработанных мероприятий для защиты существующих и проектируемых линейных природно-технических комплексов, осуществляющих транспортировку углеводородного сырья, добываемого в северо-восточной части острова и шельфа, со стороны Охотского моря. В местах добычи и транспортировки сырья также необходимо проводить постоянно экологический мониторинг не только в нефтегазовых компаниях, но и во всей жизнеобеспечивающей цепочке субъектов острова, куда входит природоохранная составляющая, требующая соблюдения законо-

дательных и нормативных актов, а также выполнения экологических стандартов. Высокая степень ранимости территории Сахалина в процессе природопользования обусловлена пониженной устойчивостью геологической среды к техногенным воздействиям, а её способность возвращаться в исходное состояние не всегда оправданна или, вернее, не возможна за короткий, по геологическим меркам, промежуток времени.

1. Факторы развития геологических опасностей

В целом о. Сахалин в тектоническом отношении представляет Сахалинскую складчатую систему. По характеру рельефа остров делится на две части: горную – Средний и Южный Сахалин и равнинную – Северный Сахалин.

1.1. Морфо-тектонические условия северного Сахалина характеризуются интенсивным проявлением и контрастностью неотектонических движений, определивших современные формы рельефа. Северные отроги Западно- и Восточно-Сахалинских гор в настоящий период испытывают восходящие сводовые поднятия, унаследованные с палеогена, благодаря которым сформирован эрозионный глубоко расчленённый, преимущественно крутосклонный низко- и среднегорный рельеф, с остатками верхнемиоценовой поверхности выравнивания. Между гор, отделяющих остров от прибрежных низменностей со стороны Охотского моря и Татарского пролива, находится Северо-Сахалинская полого-холмисто-грядовая равнина, с абсолютными отметками 90–180 м, с отдельными горными вершинами (300–600 м – Даахурия, Вагис и др.) и густой (1,0–1,5 км на 1 км²) речной сетью. Прибрежная ее часть представляет плоскую заболоченную низменность, высоты которой не превышают 100 м, с многочисленными заливами и озерами лагунного типа, отчлененными от моря песчаными косами и барами.

Долины рек на равнине широкие – террасированы, а в горах борта долин заметно сужаются, становятся крутосклонными и даже отвесными, особенно в местах их заложения по тектоническим нарушениям.

На большей части Северо-Сахалинской равнины, а также в пределах предгорий и внутри горных депрессий поднятие земной коры уравнивается денудацией. Вследствие чего здесь сформировался денудационно-эрозионный холмисто-увалистый низкогорный рельеф. Межгорные депрессии Северо-Сахалинской равнины испытывают новейшие погружения и представляют аккумулятивные низменности, слаборасчленённые и большей частью заболоченные.

Современная тектоническая активность различных участков трассы неоднородна, что доказывается характером распределения на данной территории эпицентров землетрясений. Сгущение эпицентров приурочено к районам пересечения длительно развивающихся разломов различных направлений, что может свидетельствовать о современных подвижках блоков. При прохождении сейсмических волн вблизи тектонических зон реакция геологической среды и, как следствие, деформации сооружений мо-

гут иметь величины, угрожающие устойчивости их работы, здоровью и благополучию проживания населения.

1.2. Сейсмичность. На основании «Временной схемы сейсмического районирования Сахалинской области и повторяемости сейсмических воздействий 1995 г.», утвержденной Минстроем России, часть территории прохождения магистральных трубопроводов по Сахалину находится в 9-балльной зоне интенсивности сейсмических воздействий [4]. Вместе с тем, на участках, пораженных современными природно-техногенными геологическими процессами, возможно увеличение сейсмической интенсивности на 1–2 балла. Факторами, ухудшающими сейсмические условия и повышающими сейсмическую опасность, являются: широкое развитие водонасыщенных дисперсных грунтов, наличие высокого уровня подземных вод и верховодки. Например, Северо-Сахалинский прогиб представляет артезианский бассейн равнинного типа, где основными водосодержащими породами являются пески и песчаники, разделенные глинистыми водупорными прослоями на многочисленные водоносные пласты, мощностью от 10 до 200 м. Водонасыщенные грунты при сильных сейсмических событиях имеют свойства разжижаться до плывунов.

Факторами, улучшающими сейсмические условия и снижающими сейсмическую опасность, являются: наличие в геологическом разрезе инертных гравийно-галечниковых, дресвяно-щебенистых и скальных пород и ограниченное распространение сенсорных – чувствительных грунтов – глин, суглинков, супесей, торфяников, техногенных насыпных и намывных отложений.

Очаги землетрясений, в основном сосредоточенные у восточного побережья Северного Сахалина, свидетельствуют о существовании и современной активности субмеридиональной Восточно-Сахалинской системы разломов – северного и северо-западного простирания. К наиболее опасным территориям возникновения землетрясений с магнитудой более 5,1–5,5 относится восточное побережье, где зарегистрированы землетрясения с магнитудой 6,1–7,0 с максимальной интенсивностью сотрясений 6–8 баллов. Подчеркнём, что при самом разрушительном Нефтегорском землетрясении 1995 г. магнитуда составила 7,2–7,5, а интенсивность сотрясений достигала 9–10 баллов.

Территория прохождения трассы трубопроводов относится к девятибалльной зоне интенсивности сейсмических воздействий со средней повторяемостью 1 раз в 1000 лет [5]. Сейсмичность отдельных участков трассы трубопроводов в зависимости от геологических и гидрогеологических условий, свойств и состояния грунтов может быть более 9 баллов. К таким территориям относятся пойменные части долин всех водотоков, заболоченные депрессионные обводнённые территории, сложенные грунтами III категории.

При проектировании и строительстве магистральных трубопроводов необходимо принимать во внимание сейсмическую активность региона, как один из самых опасных геологических процессов, тесно связанных с

тектоническим развитием территории. Сейсмотектонические процессы увеличивают уровень геологического риска. Землетрясения, кроме прямого воздействия на объекты человеческой деятельности, могут спровоцировать проявление опасных экзогенных геологических процессов – оползней, обвалов, просадок, разжижение грунтов и др., а также цунами, пожаров, создающих аварийные ситуации на системах линейных сооружений, приводящих к экологическим опасностям и рискам (загрязнение геологической и воздушной среды).

1.3. Геологический разрез территории северной части острова представляет наложенный кайнозойский прогиб, сформировавшийся в начале раннего миоцена на разнородном складчатом фундаменте, заполненный толщей (1–9 тыс. м) неогеновых терригенных осадков, собранных впоследствии в брахиструктуры. Неогеновые отложения представлены песками с резко подчиненными прослоями глин, алевролитов, слабосцементированных песчаников, алевролитов, с линзами галечников, гравелитов, местами с редкими пластами лигнитов и бурых углей. На севере Западно-Сахалинских гор песчаная сероцветная формация представлена песчаниками с редкими прослоями и линзами мелкогалечных конгломератов, пластами туфов и туффитов, а флишоидная и угленосная формации соответственно – переслаивающимися пластами аргиллитов, алевролитов и угленосных отложений.

Флишоидная формация позднего миоцена и раннего плиоцена развита на северо-востоке Северо-Сахалинской равнины, представлена толщей (2000–3500 м) переслаивающихся глин, песков, алевролитов, аргиллитов и слабосцементированных песчаников, среди которых встречаются гнезда гравийно-галечного материала и редкие прослои крепких известковистых песчаников. Мощности слоев от 0,5 до 30 м.

По гранулометрическому составу среди глин встречаются суглинки с высоким содержанием песка. Предел текучести грунтов в среднем 33 %; предел раскатывания 17–22 %; число пластичности 10–17 %. Плотность глин и алевролитов 2,6–2,71 г/см³; объемная масса 1,98–2,19 г/см³; пористость 27–40 %; естественная влажность 14–23 %, консистенция твердая или полутвердая. Нормативное давление на них $2,5 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^5$ Па [2].

Пески по составу глинистые, со значительным содержанием пылеватой фракции. Плотность – 2,64 г/см³, объемная масса 1,74 г/см³, пористость 38 %, угол естественного откоса в сухом состоянии 35°, под водой – 24°. Иногда в разрезе отмечаются тяжелые супеси с высоким содержанием фракций мелкого и пылеватого песка. Предел текучести супесей 21–23 %; предел раскатывания 14–15 %; число пластичности 5–8 %. Плотность 2,63 г/см³; объемная масса 1,75 г/см³; пористость 41 %. Угол естественного откоса в сухом состоянии 38°, под водой – 30°. Нормативное давление на супеси $2,2 \cdot 10^5$ Па [2].

Молассовая формация позднего миоцен – плиоцена наиболее широко распространена в пределах Северо-Сахалинской равнины, где практически весь разрез сложен песками с подчиненными прослоями глин, алевролитов,

слабо сцементированных песчаников, алевролитов, с линзами галечников, гравелитов, местами с редкими пластами лигнитов и бурых углей. Изредка встречаются прослои крепких ожелезнённых и известковистых песчаников, мощностью от 0,5 до 50 м.

Слабосцементированные породы молассовой формации весьма неустойчивы к агентам выветривания и в поверхностной зоне обычно разрушены до рыхлого состояния. Аргиллиты и алевролиты в водонасыщенном состоянии легко размокают, превращаются в глинистую массу, оплывающую или оползающую по крутым склонам. Крупнозернистые и гравелистые пески, часто с включениями гальки и гравия, преобладают на западе Северо-Сахалинского прогиба, где развиты преимущественно континентальные фации отложений, которые в пределах зоны промерзания и оттаивания – 1,5–2,5 м – рыхлые, а глубже плотные пески, проявляющие плавунные свойства в водонасыщенном состоянии.

Морские и аллювиально-морские отложения позднего плейстоцена – голоцена широко распространены в пределах Северо-Сахалинской равнины и прибрежной низменности. По составу это пески с прослоями глин, суглинков, галечников и илов, мощностью на западном побережье 20–55 м, на восточном – 10–20 м.

Пески гравелистые кварцевые и кварцево-полевошпатовые крупные, средней крупности тонко- и мелкозернистые, однородные пески, с незначительным содержанием пылевой и глинистой фракции, с галькой и гравием, распространены на восточном побережье. На западе преобладают мелко- и среднезернистые, нередко пылеватые пески, которые на побережье на открытых местах разносятся ветром, образуя дюны. В водонасыщенном состоянии мелкие и пылеватые пески проявляют плавунные свойства.

На аккумулятивных участках преобладают пески с прослоями галечников, илов, суглинков, супесей и глин. Мощность отложений от 2 до 20 м. Пески кварцевые, горизонтального и косослоистого залегания, от мелкозернистых до гравелистых плотностью $2,1\text{--}3\text{ г/см}^3$, пористостью 33–52 %. Плотность суглинков $2,6\text{--}2,77\text{ г/см}^3$; предел текучести 38–43 %, предел раскатывания 26–29 %; число пластичности 9–15.

Четвертичные дисперсные грунты Северо-Сахалинской равнины представлены в долинах рек – аллювиальными отложениями, вдоль морского побережья – морскими и аллювиально-морскими осадками, мощностью 3–20 м и более. В межгорных депрессиях на аллювиально-пролювиальных и озерно-аллювиальных отложениях мощность возрастает до 100–250 м. По гранулометрическому составу преобладают суглинки с высоким содержанием песчаной фракции. Глины аргиллитоподобные, оскольчатые, слоистые или тонкослоистые, ненабухаемые, и непросадочные. Пески по составу неоднородные, глинистые, со значительным содержанием пылевой фракции. Перечисленные накопления часто перекрыты болотными образованиями.

Четвертичные отложения горных склонов представлены образованиями склонового ряда – коллювиальными и делювиально-коллювиальными (суглинками, супесями, дресвой, щебнем, глыбами), общей мощностью 0,5–30 м. На выровненных участках гор и пологих склонах развиты элювиально-делювиальные отложения (суглинки, глины и супеси с дресвой и щебнем). На стыке гор и Северо-Сахалинской равнины распространены элювиально-делювиальные отложения, где преобладают неслоистые, мелкие пески с включениями гальки и гравия, плотностью 2,63–2,7 г/см³ и пористостью 44–46 %. Фракции более 1 мм содержится 8 %; 1–0,5 мм – 28; 0,6–0,25 мм – 11; 0,25–0,1 мм – 41 %; фракции менее 0,1 мм содержится 12 %.

По трассе *специфические органогенные образования* голоцена, развитые на заболоченных участках депрессий, особенно на западном побережье Северо-Сахалинской равнины, представлены осоково-сфагновым, плохо разложившимся, уплотненным, водонасыщенным от 200 до 500 %, а иногда и до 1000 %, торфом. Объемная масса торфа 0,97–1,07 г/см³; коэффициент пористости 4,9–8,2; угол внутреннего трения 25–33°, коэффициент внутреннего трения 0,41–0,65; сцепление $0,07 \cdot 10^5$ – $0,18 \cdot 10^5$ Па, с коэффициентом сжимаемости $1,02 \cdot 10^{-5}$ – $6,95 \cdot 10^{-5}$ Па⁻¹, модуль осадки 362–445 мм/м при давлении 1–10 Н/см² [2]. Встречается разжиженный торф, слагающий участки топей и зыбунов. Торфяники залегают в виде сплошных массивов или разрозненных различной величины покрытий, мощностью от 0,5 до 7,5 м, обычно с илами или глиной в основании. По местоположению и условиям образования торфяники развиты на болотах, преимущественно низинных, реже – верховых, где заболочены склоны с малыми уклонами и надпойменных террасах.

1.4. По климатическому районированию трассы пересекают Северо-Сахалинскую климатическую область, характеризующуюся вторжением континентального воздуха зимой и воздушных масс с Охотского моря летом. Под влиянием циклонов, формирующихся с частотой до 100 раз в год, особенность погодных условий Сахалина выражена многоснежной, с сильными продолжительными ветрами и метелями, затяжной зимой и холодным, с частыми дождями и туманами, летом. Климат преимущественно морской, суровый [1]. Среднегодовая температура воздуха на севере минус 2 °С, с высокой влажностью (76–80 %) и значительным количеством осадков. Например, в Ногликском районе за год выпадает 777 мм осадков, средняя температура воздуха в январе – минус 20,2 °С, в августе – плюс 14,4 °С, а годовая – минус 2 °С. Для района характерно избыточное увлажнение почв, способствующих широкому развитию болот. В питании рек преобладает снеговое питание (апрель–июнь) 60 %, дождевое – в период летне-осенних паводков. На реках, кроме летних паводков, наблюдаются наводнения в конце ледостава, а также во время весенних заторов льда. Подъемы уровня воды достигают от 1,5 до 3 м. Паводки сопровождаются интенсивной эрозией берегов и затоплением обширных пространств. Катастрофические по своим размерам и нанесенному ущербу наводнения зафиксированы 1965 г., 1969 г. и, особенно, 1981 г. Наиболее

крупными реками на пути трассы являются: Вал, Иевлева, Вагис, Б. Вагис, Уанга, имеющие низкие заболоченные берега, а в среднем и нижнем течении сильно меандрируют.

Период со снежным покровом продолжается 6,6 мес. Высота снежного покрова 50–80 см. Глубина сезонного промерзания грунтов под снежным покровом 1,5 м, на оголенных участках на Северо-Сахалинской равнине до 2,5 м. Благодаря отепляющему действию моря многолетняя мерзлота, мощностью до 7 м, залегающая на глубине 2 м и более, встречается на заболоченных небольших по площади участках (0,025–1,5 км²) в пределах Северо-Сахалинской равнины.

2. Экзогенные геологические процессы

Экзогенные геологические процессы (ЭГП), получившие распространение на территории, пересекаемой трассой газопровода, разнообразны и обусловлены действием поверхностных и подземных вод, силой тяжести, воздействием климатических факторов, а также инженерно-хозяйственной деятельностью, имеют следующие типы:

- водно-эрозионные процессы (эрозия струйчатая, речная боковая и глубинная, подтопление, заболачивание, суффозия);
- гравитационные процессы (трещины отрыва, сползание и обваливание грунтов);
- криогенная группа процессов (бугры пучения, термокарст, наледи);
- природно-техногенные процессы, связанные с формированием насыпей, отвалов, выемок, котлованов, карьеров и других техногенных форм рельефа, на базе которых происходит развитие обвалов, оползней, суффозии, эрозии.

Природно-техногенные суффозионно-эрозионные овраги и промоины

Интенсивность разнонаправленных неотектонических движений Сахалина и ливневый режим осадков обуславливают относительно широкое развитие *эрозионных процессов*. В горах преобладает глубинная эрозия, выражающаяся в образовании узких V-образных долин. В предгорьях и на равнине преобладает боковая эрозия на берегах и в руслах рек, сложенных легко размываемыми глинистыми и песчаными грунтами, а также овражной и струйчатой эрозией, плоскостным смывом на слабозадернованных склонах, особенно в зоне линейных сооружений.

Факторами, способствующими образованию оврагов, являются пересеченность рельефа, наличие легкоразмываемых грунтов, большое количество осадков и, самое главное, хозяйственная деятельность человека (вырубка лесов, уничтожение почвенно-растительного покрова, езда на тракторах и вездеходах вдоль склонов). Характерным примером развития оврагов, промоин, являются разновеликие эрозионно-суффозионные формы по существующим трассам нефтегазопроводов, автодороги, где их зарождение и развитие произошло, происходит, и будет происходить вдоль линейных сооружений, пересекающих склоны. Несмотря на то, что в ко-

личестве выпадающих осадков доля снега превалирует, образование оврагов происходит во время интенсивного выпадения дождевых осадков. Снеготаяние играет незначительную роль в образовании оврагов, грунты в это время находятся в мерзлом состоянии.

Размеры оврагов, эрозионных рытвин и термоэрозионных форм лимитируются длиной склонов, наличием многолетнемерзлых пород и колеблется в пределах 10–100 м и более, а их ширина 1,5–15 м, глубина 0,5–7,0 м (рис. 1).



Рис. 1. Термоэрозионные природно-техногенные промоины по кювету автодороги

Борта глубоких оврагов разбиты сетью мелких промоин. В приустьевой части оврагов формируются конусы выноса песчаного материала. Мощность пролювиальных отложений на конусах выноса не превышает 0,5–1,0 м и более. Устья некоторых оврагов достигают русел водотоков.

Активизация эрозии в период весенних и летне-осенних паводков приводит к образованию крутых эрозионных берегов высотой до 4–6 м, их обрушению и смещению бровок береговых уступов на подмываемых берегах. Процесс отступления берегов в местах переходов газопровода возможен на реках Вал, Иевлева, Вагис, Б. Вагис, Уанга. На обрывистых берегах этих рек развиты трещины отрыва и отмечается подмыв и обрушение грунтовых масс. Ширина трещин отрыва – от 5 до 40 см, протяжённость – до 5–10 м. Средняя скорость обрушения подмываемых берегов на равнине составляет 0,5 м/год.

Наиболее активная донная эрозия на реках развивается в пределах территорий, вовлечённых в процесс современных тектонических поднятий, приуроченных к горным массивам. Риск освоения в местах развития речной эрозии связан с нарушением устойчивости трубопроводов на пере-

ходах через реки, где необходима противоэрозионная защита инженерных сооружений.

Плоскостной смыв развит на оголенных склонах крутизной более 70°. Значительный смыв почвенного слоя зафиксирован на пологих склонах крутизной 2–40° в период снеготаяния и весенних дождей.

Эоловые процессы на западе Северо-Сахалинской равнины, особенно на песчаном морском побережье, образуют береговые дюны высотой до 30 м, длиной – 100 м, большинство которых закреплены растительностью.

Абразионные процессы в скальных, обрывистых берегах выражаются образованием волноприбойных ниш размером до двух метров по фронту и глубиной до одного метра, а также формированием узких прислоненных пляжей и широким развитием бенча на подводных склонах.

Карст проявляется в известняках, в виде небольших пещер и ниш, развитых в Восточно-Сахалинских горах, на подмываемых берегах. Поскольку территория распространения и мощность известняков узко локализованы, развитие карста ограничено этими природными геологическими рамками.

Оползни тяготеют к склонам долин и морскому побережью, где преобладают небольшие оползни глубокого заложения и оползни-сплывы мощностью 0,5–2 м.

Наличие «пьяного леса» на расстоянии до 20–30 м от береговой линии свидетельствует о достаточно высокой интенсивности процесса.

Обвалы и осыпи связаны с процессом физико-химического выветривания скальных грунтов и распространены на береговых обрывах. Коллювиальные накопления представлены остроугольными и слабоокатанными округлыми глыбами размером до 1 м.

Заболачивание и болота наиболее широко развиты в пределах равнинной территории Северо-Сахалинской низменности. Факторами заболачивания являются равнинный рельеф местности, наличие слабопроницаемых глинистых грунтов, интенсивное увлажнение в период выпадения осадков и летне-осенних паводков на реках. Заболачивание носит как сезонный, так и постоянный характер. Постоянное заболачивание развито в пределах пойм и 1–2-й надпойменных террас рек. Однако болота встречаются и на платообразных водоразделах. На постоянно заболоченных участках в долинах рек и на плоских водоразделах сформировались торфяные залежи низинных и верховых болот. Мощность торфа на болотах по трассе трубопроводов достигает 1,5–3,0 м. Для низменных аккумулятивных равнин характерно заболачивание с образованием обширных верховых болот площадью до нескольких сот километров, глубиной 2–3 м. Под влиянием сезонного промерзания и оттаивания на болотах происходит пучение и течение торфа с образованием бугристо-западинного рельефа.

Часто поверхность заболоченных участков покрыта кочками, мхом, осокой и другой влаголюбивой растительностью. При снеготаянии вода полностью остается в бессточных понижениях и способствует переувлажнению поверхностной зоны дисперсных грунтов на глубину оттаивания. В

летне-осенний период запасы этих вод пополняются атмосферными осадками. На участках с близким залеганием подземных вод происходит разгрузка воды через «фильтрационные окна», сложенные хорошо фильтрующими песчаными и песчано-галечными грунтами. Под влиянием сезонного промерзания и оттаивания на болотах имеет место пучение торфа с образованием бугристого и грядово-мочажинного микрорельефа.

На участках подпора поверхностного стока дорожными насыпями отмечается техногенное заболачивание и подтопление местности (рис. 2).



Рис. 2. Разрез слоя торфа по трассе газопровода в месте аварии

Общая протяжённость трубопроводов, проложенных по направлению к материк, пересекающих заболоченные участки, имеющие труднопроходимые или непроходимые отрезки в тёплый период года, находится в пределах 10 км. Например, труднопроходимое болото встречается при переходе трасс через долину р. Уанга.

Криогенная группа процессов

По трассе газопровода многолетнемерзлые грунты не были установлены ни одной из многочисленных скважин, большая часть из которых пробурена в зоне годовых колебаний грунтов на глубину 5–7 м, где многолетнемерзлые грунты, очевидно, отсутствуют. Существование в недалёком прошлом многолетнемерзлых пород подтверждается наличием термокарстовых озёр и западин, чаще заполненных водой, а также по наклонам, искривлению деревьев, встречающихся на заболоченных участках долин рек, протекающих в горной части трассы, по ущербному приросту древесины. Наиболее широко развит термокарст на западе Северо-Сахалинской равнины, где он выражен в рельефе небольшими 50–100 м² озёрами глубиной до 2,5 м (рис. 3).



Рис. 3. Термокарстовое понижение

Бугры пучения преимущественно развиты на поверхности депрессионных заторфованных замкнутых участков, имея по трассе весьма ограниченное развитие, представляют высокую группу опасности и риска. Образование бугров пучения происходит за счёт промерзания дисперсных грунтов на поверхностях заболоченных пойм рек с преобладанием развития торфяников. Поэтому с поверхности бугры пучения сложены торфами, а подстилающие породы представлены водоупорными грунтами – суглинками, глинами или супесчаными замороженными отложениями.

Формы бугров пучения в торфяниках иногда имеют крутые стенки отрыва и выглядят в виде «выпертых» на различную высоту грибовидных блоков-«штоков», перекрытых слоем торфа. Бугры пучения обычно имеют размеры диаметром в основании от 2 до 20 м, а высотой 5–2,0 м.

Бугры пучения часто разбиты морозобойными трещинами шириной 3–10 см, глубиной более 1,0 м, ядра их состоят из чистого льда или льдогрунтов.

Температура многолетнемёрзлых грунтов, судя по восточному участку трассы, где развит «высокотемпературный» тип грунтов, имеет 0 минус 0,3 °С.

Породы на восточном участке преимущественно сильнольдистые, с преобладанием линзовидно-слоистой криотекстуры, с мощностью ледяных прослоек и линз – от 1 мм до 2 см. Именно подобный тип многолетнемёрзлых грунтов преобладает в днищах затемнённых, заторфованных участков долин и при техногенном воздействии на них образуются термокарстовые и термоэрозионные формы.

Наледи формируются в местах переходов нефте- и газопроводов, мостов через реки, особенно на западном гористом участке трассы. Эксплуатационщики существующих нефте- и газотранспортируемых линейных систем ежегодно проводят, «на первый взгляд», хотя и примитивные,

но, очевидно, эффективные одноразовые противоналедные мероприятия, не прибегая пока к радикальным мерам защиты (рис. 4). По генезису характеризующиеся наледи представляют природно-техногенный тип. Их развитие связано исключительно с концентрацией существующих линейных систем. Поэтому при заложении проектируемой трассы в подобных условиях следует учесть ошибки на стадии проектирования и строительства газопровода.



Рис. 4. Остатки противоналедного сооружения

Природно-техногенные процессы на изученной территории развиваются в результате целенаправленного воздействия на геологическую среду в период строительства и эксплуатации природно-техногенных комплексов.

Опасность развития природно-техногенных процессов связана с изменением геологической среды при освоении территории и увеличением интенсивности формирования геологических процессов при сейсмических событиях. Для снижения степени опасности и риска геологических процессов необходим их прогноз активизации, оценки устойчивости инженерных сооружений и надежности работы применяемых защитных мероприятий в период строительства и эксплуатации объектов.

Техногенные воздействия на геологическую среду в полосе прохождения участка трассы трубопроводов проявляются в образовании и развитии эрозионных процессов на склонах и бортах долин водотоков, уничтожении почв и растительности, нарушении естественного режима поверхностных и грунтовых вод.

3. Выводы и предложения

Реализация сложных и масштабных экономических задач, таких как нефтегазовые проекты освоения Сахалина и его шельфа, должна прово-

даться с учетом охарактеризованных основополагающих природно-техногенных факторов, определяющих зоны риска развития опасных геологических процессов. По трассам в северной части острова по степени сложности выделяются следующие участки.

К сложным территориям для строительства и эксплуатации трубопроводов относятся заболоченные, покрытые торфом поймы и низкие надпойменные террасы большинства перечисленных рек, а также прибрежные равнинные территории. На этих участках происходит развитие наледей, термокарста, пучение и растрескивание грунтов, наблюдается подтопление, боковая и глубинная эрозия, возможно разжижение грунтов.

К средней сложности относятся междуречные водораздельные пространства и высокие надпойменные террасы рек и ручьёв, на бортах которых формируются оползни, овраги, промоины, развивающиеся как на естественных склонах, так и вдоль трубопроводов и по дорожным кюветам.

К относительно простым отнесены слабоволнистые денудационные не заболоченные участки междуречий, с комплексом элювиальных и делювиальных отложений.

Во избежание развития опасных экзогенных геологических процессов по трассам необходимо произвести следующие мероприятия:

- ускорить восстановление почвенного слоя и растительности;
- для регулирования естественного стока поверхностных и грунтовых вод произвести устройство дренажных канав на обводнённых участках территории;
- произвести отсыпку водоотводящих валов на склонах для предотвращения размыва трубопроводов;
- организовать мониторинг природно-техногенных наледных образований по генетическим признакам: условиям их формирования и размерам, по распространению, площади и объёму накапливаемого льда применительно к выбранным наледям;
- дать характеристики процесса наледообразования, позволяющие понять механизм, установить генезис наледообразующих вод и выработать приемы управления этими процессами с учетом природно-климатических, геолого-структурных и других условий и особенностей техногенного воздействия.

Чтобы уменьшить риск опасностей от наводнений территорий, пересекаемых трассой, на современном уровне необходимо провести корректировку границ затопления и видов ущерба для применения соответствующих превентивных мер. При осуществлении защитных мероприятий одновременно повысится мера экологической безопасности и безаварийной работы транспортирующих систем.

Подобные наблюдения необходимы также за развитием суффозионно-эрозионного процесса, активно развивающегося вдоль и поперёк труб, что требует постоянного контроля и устранения возможных аварийных ситуаций (рис. 5).



Рис. 5. «Обнажённая» труба газопровода – результат развития термоэрозии

Инженерно-геологические процессы непосредственно в зоне прохождения трассы проявляются лишь в активном образовании оврагов, приуроченных к канавам трубопроводов, кюветам дорог, геофизическим профилям и другим техногенным линейным и площадным объектам. На незакреплённых растительностью склонах интенсивно образуется овражная сеть из-за отсутствия инженерных мероприятий, направленных на восстановление естественных природных условий после заложения газопровода.

Интенсивность современных тектонических движений такова, что на острове происходят от 5 до 10 раз в год ощутимые сейсмические события, а примерно раз в пять лет случаются 7-балльные землетрясения. Подмытые и подвешенные трубопроводы, пересекающие активные разломы, в совокупности представляют повышенные зоны экологической опасности и риска.

Северо-Сахалинская равнина расположена в зоне высокой сейсмической активности (6–10 баллов), а пересекаемые нефтегазопроводами глубинные субмеридионального направления тектонические разломы – Паромайско-Эхабинский (магнитуда 8), Дагинский (магнитуда 7,3) и Центрально-Сахалинский (магнитуда 7,5) являются активно живущими в настоящее время и представляют участки повышенной сейсмической опасности. Всего же на пути нефтегазопроводов, пересекающих о. Сахалин вдоль и поперёк, насчитывается более 20 сейсмотектонически опасных участков. Кроме того, в пределах прибрежных равнин и Северо-Сахалинской депрессии на заболоченных участках с высоким стоянием грунтовых вод во время сильных сейсмических событий возможны процессы разжижения песчаных грунтов.

Примером гарантии защиты против стихии в наиболее уязвимых точках добычи углеводородов являются уникальные нефтегазодобывающие морские платформы, возведённые по проекту «Сахалин-2», они располо-

жены на железобетонных основаниях, сопряженных через маятниковые фрикционные гасители колебаний на огромных подшипниках [3]. Эти конструктивные решения рассчитаны на большие ледовые, волновые и ветровые нагрузки и уверенно противостоят даже самой редкой разрушительной силы землетрясениям, случающимся лишь раз в тысячелетие [5]. Для повышения надёжности и безопасности работы на платформах установлена система сейсмического и экологического мониторинга, позволяющая непрерывно отслеживать состояние их оснований, а также состояние экологической безопасности. В систему экологического мониторинга в пределах Сахалина входят разведка, добыча, транспортировка на материк, хранение и сжижение природного газа транссахалинской веткой нефтегазопровода общей протяжённостью 1600 км на первом в России и одном из крупнейших в мире заводе. Дальнейшая транспортировка углеводородного сырья в страны Азиатско-Тихоокеанского региона осуществляется с помощью выносных причалов для загрузки нефтеналивных танкеров и газозов большой тоннажности непосредственно в море (рис. 6, а, б).



а



б

Рис. 6. Завод по сжижению газа (а); выносной причал для загрузки крупнотоннажных нефтеналивных танкеров и газозов (б)

Разработанная система локального сейсмического и экологического мониторинга для отдельных платформ рассматривается как часть общего мониторинга Сахалина, позволяющая отслеживать современное состояние компонентов геологической среды, сравнивать его с фоновыми значениями и давать прогноз изменения, а также делать выбор соответствующих защитных и природоохранных мероприятий в приоритетной нефтегазовой отрасли острова.

Список литературы

1. Атлас Сахалинской области. – Хабаровск : Дальневосточное аэрогеодезическое предприятие, 2007. – Ч. 1. – 132 с.
2. Инженерная геология СССР. – Т. 4. Дальний Восток. – М. : Изд-во МГУ, 1977. – 502 с.
3. Рос. газ. – 2008. – 3 окт.
4. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. – М., 1982.
5. Соловьёв С. Л. Землетрясения на Сахалине / С. Л. Соловьёв, Л. С. Оскорбин, М. Д. Ферчев. – М. : Наука, 1967. – 179 с.

The geological hazards and risks in the areas of gas- and petroleum pipelines in the north of Sakhalin-island

R. A. Kachura, F. S. Kuklin, V. K. Laperdin, N. V. Timofeyev

Abstract. The paper deals with the analysis of actual state in the geological environment in the areas of gas- and petroleum pipeline routes in the north of the Sakhalin-island, as well as the basic factors inducing the hazardous geological processes in the described territory.

Key words: gas- and petroleum pipelines, hydrocarbon systems, complexws, endogenic and exogenic processes, technogenic factors, soils, hazards, ecology.

*Качура Роман Алексеевич
Иркутский государственный технический университет
664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83
аспирант*

*Лапердин Валерий Кириллович
доктор геолого-минералогических наук
Институт земной коры СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128
старший научный сотрудник
тел.: (3952) 42-63-11*

*Куклин Алексей Сергеевич
Иркутский государственный технический университет
664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83
аспирант*

*Тимофеев Николай Владимирович
Институт земной коры СО РАН 664033,
Иркутск, ул. Лермонтова, 128 аспирант*