

УДК 624.131

ПРИРОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА «СИЛА СИБИРИ» НА УЧАСТКЕ ЧАЯНДИНСКОЕ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ – ЛЕНСК

Строкова Людмила Александровна,

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ФБГАУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30.
E-mail: strokova@sibmail.com

Ермолаева Алёна Викторовна,

аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ФБГАУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: alyona7@inbox.ru

Актуальность работы связана с ростом аварийности на линейной части магистральных газопроводов, обусловленной воздействием природных и техногенных факторов, в районах распространения многолетнемерзлых грунтов, пересеченной местности и т. п. **Цель работы:** описание природных зональных и региональных геологических факторов инженерно-геологических условий территории проектируемого газопровода «Сила Сибири» на участке Чаянда–Ленск, определение классификационных признаков дефектов магистральных газопроводов, вызываемых инженерно-геологическими факторами, и распространенных в районе производства работ; выявление основных опасных инженерно-геологических процессов, характерных для района производства работ, и оказывающих непосредственное влияние на систему трубопровод–грунт.

Методы исследования: анализ материалов инженерно-геологических изысканий для проектирования объектов линейной инфраструктуры магистрального газопровода «Сила Сибири», выполненных ФГУП «ВостСиб АГП», ООО «Ингеоком», ООО «Промнефтегазпроект», ОАО «Фундаментпроект», ЗАО «НПФ «ДИЭМ»; сбор и обработка материалов прошлых лет, статистических данных по аварийности магистральных газопроводов ОАО «Газпром» на линейной части, вследствие опасных геологических процессов, природных и иных техногенных факторов.

Результаты. Рассмотрены климатические, геоморфологические особенности места проектирования газопровода «Сила Сибири». Приведено описание как инженерно-геологических формаций коренных пород, так и характеристика геолого-генетических комплексов четвертичных отложений. Произведена оценка влияния воздействия геокриологических условий строительства и экзогенных процессов на проектируемый объект. Предложена классификация дефектов магистральных газопроводов, вызываемых опасными геологическими, инженерно-геологическими процессами. Определены ключевые причины и факторы процессов, в соответствии с предложенной классификацией, оказывающих непосредственное влияние на эксплуатационную надежность трубопроводов.

Ключевые слова:

Магистральные газопроводы, дефекты, горные породы, опасные геологические процессы, карст, заболачивание.

Российская газопроводная система является одной из крупнейших в мире, в 2012 г. протяженность линейной части магистральных газопроводов составляла более 175 тыс. км. В настоящее время на территории Российской Федерации реализуется ряд крупнейших газотранспортных проектов («Северный поток», «Сахалин-I», «Сахалин-II», «Сила Сибири» и др.), включающих многие километры новых магистральных газопроводов [1].

Эксплуатация магистральных газопроводов сопряжена с работой в сложных динамических, инженерно-геологических, природно-климатических условиях, нередко приводящих к авариям. По обобщенным данным научных и технологических исследований и официальным данным ОАО «Газпром» 42 % всех аварий на линейной части магистральных газопроводов обусловлено прямым или косвенным воздействием природных факторов. В том числе 16 % обусловлено внешней общей коррозией, 12 % – экзогенными процессами, в т. ч.

3 % – в результате изменений геокриологических условий, 13 % – стресс-коррозионными явлениями, 1 % – другими естественными факторами [2].

В работе приведено описание инженерно-геологических условий территории по трассе магистрального газопровода «Сила Сибири» на участке Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение – Ленск, протяженностью 160 км (рис. 1). Трасса расположена на территории Ленского улуса Республики Саха (Якутия).

Комплексные инженерные изыскания в пределах изучаемого участка трассы были выполнены в 2010–2012 гг. ФГУП «ВостСиб АГП», ООО «Ингеоком», ООО «Промнефтегазпроект», ОАО «Фундаментпроект», ЗАО «НПФ «ДИЭМ», ИФЗ РАН О.Ю. Шмидта [3]. Результаты этих изысканий положены в основу приведенного ниже обзора.

В климатическом отношении участок трассы магистрального газопровода проходит в условиях резко-континентального климата с умеренно-те-

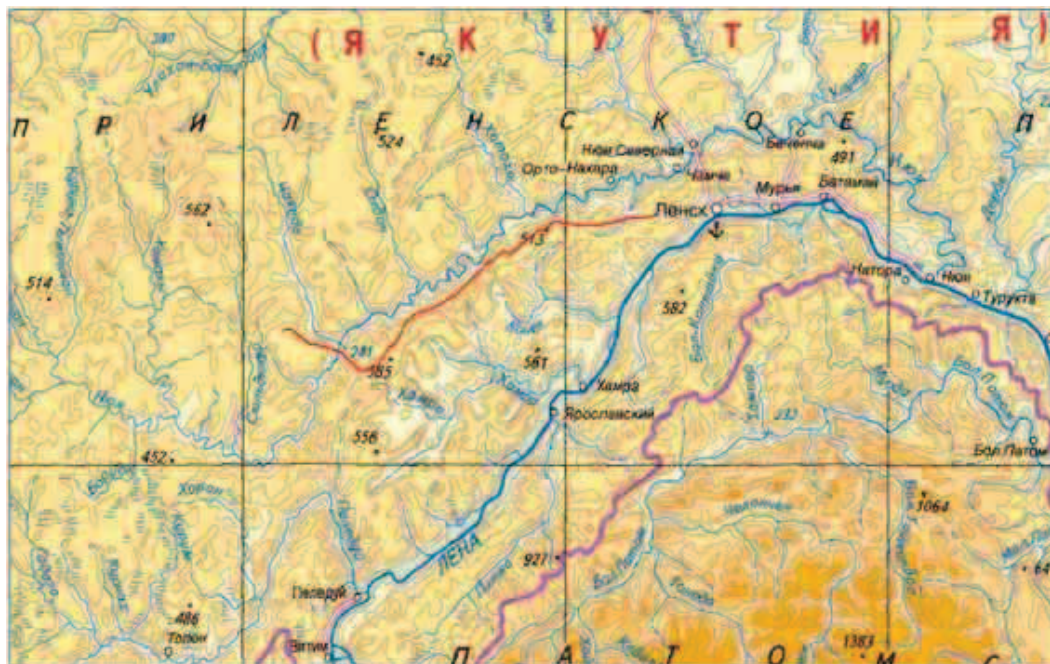


Рис. 1. Карта-схема расположения участка работ [3]

Fig. 1. Map of the area

плым летом и суровой, относительно малоснежной зимой. Основными факторами, определяющими характер климата, являются: удаленность и отгороженность горными системами от Атлантического и Тихого океанов, открытость со стороны Северного Ледовитого океана, сложность орографии.

Зимой вся территория охлаждена, что способствует развитию с октября по март устойчивого мощного антициклона (Азиатский максимум). Он начинает формироваться в октябре, достигает максимума в январе, а разрушается с марта. Господствуют холодные континентальные арктические и умеренные воздушные массы. Погода преимущественно ясная, безветренная, с низкой температурой. Средняя температура января составляет от $-25,2$ до -34 °С. Иногда морозы достигают -62 °С. Переход от зимы к весне обычно резкий при значительной разнице низких ночных и высоких дневных температур воздуха, особенно в безоблачные сутки. Летом в связи с прогреванием над территорией устанавливается пониженное давление. Средняя температура июля составляет $12-16$ °С. Осень, как и весна, очень коротка и наступает сразу, переходя от теплых летних суток к постоянным ночным заморозкам.

В холодный период (ноябрь–март) выпадает 85–116 мм осадков, в летне-осенний период (апрель–октябрь) их количество увеличивается до 262–294 мм. Годовое количество осадков составляет 346–409 мм большая их часть (72–75 %) выпадает в теплый период. Общее количество осадков, выпадающих в виде снега, составляет около 25 % от годового значения.

Снежный покров появляется в первой–второй декаде октября и окончательно формируется к концу месяца. Зима в целом малоснежная. Незначительный снежный покров и исключительно низкие зимние температуры способствуют широкому распространению многолетней мерзлоты. Высота снежного покрова в среднем составляет 30–50 см.

Направление ветра в бассейнах рек соответствует в основном расположению долин. На остальной территории зимой преобладают ветры южного, юго-западного и западного направлений, летом чаще всего наблюдаются ветры северного, западного и северо-западного направлений. Среднее годовое значение скорости ветра по данным метеостанций Витим и Ленск составляет 2,4–2,6 м/с.

Число дней с туманом за год для метеостанции Витим составляет 65, для метеостанции Ленск – 41. Большое количество метелей в районе наблюдается в периоды, когда азиатский антициклон находится в стадии формирования. Среднее за год число дней с метелью составляет 41–49. Грозы в районе наблюдаются с апреля по сентябрь. Среднее за год число дней с грозами – 13.

Трасса магистрального газопровода на рассматриваемом участке пересекает 16 постоянных водных объектов. Все пересекаемые водотоки относятся к бассейну Северного Ледовитого океана. Годовой гидрограф рек характеризуется высоким половодьем, высокими дождевыми паводками в летний период и глубокой зимней меженью. Такой характер водного режима соответствует более всего восточносибирскому гидрологическому типу. Реки района имеют смешанное питание, причем пре-

обладающим является подземный приток – 35–45 %, снеговое питание составляет 25–40 %, дождевое – 20–30 %. Под влиянием изменяющихся по территории условий циркуляции атмосферы и особенностей подстилающей поверхности указанные выше общие закономерности несколько различаются в пределах отдельных более мелких районов.

Густота речной сети данного участка относительно большая, в среднем около 0,5 км/км², по мере перехода к плато и низменностям заметно уменьшается.

Весной с наступлением положительных температур воздуха начинается таяние и разрушение ледяного покрова. Малые реки вскрываются одновременно на всем протяжении и преимущественно без ледохода. На промерзающих и на некоторых не промерзающих малых водотоках ледяной покров размывается талыми водами, накапливающимися на его поверхности, а затем текущими по льду. На средних и больших реках вскрытие происходит по участкам и сопровождается весенним ледоходом. Продолжительность вскрытия рек составляет 21–46 дней. Ледоход на реке Лене продолжается обычно 8–10 дней.

В период прохождения ледохода на крупных реках образуются мощные заторы льда, сопровождающиеся подъемами уровней воды на 2,0–10 м. На малых и средних реках они возникают очень редко, вызывают небольшие подъемы уровня воды и быстро разрушаются.

Озера не имеют широкого распространения, встречаясь в основном в поймах рек. Редко встречаются карстовые и термокарстовые озера.

В геоморфологическом отношении трасса газопровода протекает в пределах Приленского структурно-денудационного плато, граничащего на юго-востоке с Патомским нагорьем, на севере и северо-востоке – с Лено-Вилуйской впадиной. Поверхность плато возвышается на 400–600 м над уровнем моря и полого наклонена на северо-запад (рис. 2). Максимальные абсолютные отметки наблюдаются на водоразделе Бюгюех – 554 м, а минимальные в долине р. Киенг-Юрях – 243 м. На облик рельефа большое влияние оказало тектоническое строение района и литологический состав пород. Структурные формы определили, в основном, направленность морфологических элементов, а литологические различия отложений обусловили возникновение тех или иных форм рельефа.

По преобладанию рельефообразующих экзогенных факторов на территории выделяются два основных генетических типа рельефа – эрозионно-денудационный и эрозионно-аккумулятивный. Развитие в основном положительных неотектонических структур на исследуемой территории предопределило господство денудационных процессов над аккумулятивными, мощность чехла дисперсных отложений редко превышает 3–5 м на междуречьях и увеличивается до 5–10 м в долинах рек.

Эрозионно-денудационному типу соответствуют две группы рельефа: грядово-увалистое плато на дислоцированных отложениях нижнего кембрия и волнисто-пологоувалистое плато на отложениях верхнего кембрия – ордовика.



Рис. 2. Приленское пластовое структурно-денудационное карстующееся плато [4]

Fig. 2. Sub-Lensk formation structural-rock karsting plateau

Грядово-увалистое плато на дислоцированных отложениях нижнего кембрия образовалось на антиклинальных структурах, пересекающих левые притоки р. Нюя, а также на антиклинальных структурах правобережья р. Нюя. Размеры и морфология гряд и увалов определяются типом антиклиналей, к которым они приурочены. На гребневидных структурах или структурах с овальным сводом – это узкие (0,5–2 км) гряды значительной (8–20 км) протяженности с крутыми склонами и резкими очертаниями. Поперечные ручьи и делли, рассекающие гряды, узкие, глубоко врезаемые, с V-образным поперечным профилем.

Волнисто-пологоувалистое плато на отложениях верхнего кембрия – ордовика – распространено значительно шире и характеризует рельеф водораздельных поверхностей большей части коридора трассы. Поверхности водоразделов здесь более расплывчатые, сглаженные, с постепенным переходом водоразделов в склоны речных долин (междуречье Унга-Улахач и Тас-Юрях, Бачинза и Киенг-Юрях). Направленность их различная, сами водоразделы носят характер пологосклонных увалов и холмов. Размеры отдельных холмов и увалов составляют от 5–8 до 10–12 км. На участках развития поверхностей низкого уровня (400–450 м) врезанность гидросети по глубине невелика, порядка 40–60 м, хотя густота ее довольно значительна. Изобилуют мелкие ручьи и распадки, долины их имеют корытообразный поперечный профиль.

Эрозионно-аккумулятивный рельеф. Современная гидрографическая сеть района имеет решетчатый рисунок. Долина самого крупного водного объекта, попадающего в коридор трассы газопровода – р. Нюи, заложена по простиранию крупной отрицательной структуры – Нюйской синклинали. Поперечный профиль долины р. Нюи на

участке перехода трассы асимметричный с более крутым правым берегом, пойма развита преимущественно на левом берегу. Высокая пойма отделяется от низкой уступом высотой до 6 м. Ширина долины около 350 м. Русло с песчаными косами шириной в месте перехода около 125 м.

Характер более мелких речных долин подчинен тектонической структуре их ложа и литологии отложений. При пересечении синклиналей, сложенных породами верхнего кембрия и ордовика, они имеют пологие симметричные склоны, широкие плоские днища, изобилующие меандрами, нередко заболоченную пойму (р. Туруктах, Тас-Юрях, Унга-Улахач, Иенчик). На участках пересечения антиклинальных структур долины состоят из прямолинейных отрезков и крутых врезанных меандр. Ширина долин уменьшается в несколько раз.

В тектоническом отношении проектируемая трасса газопровода Чаянда-Ленск располагается в южной части Сибирской платформы, начинается в пределах Нерского свода Непско-Ботубинской антеклизы и заканчивается в пределах Предпатомского прогиба. Территория сложена отложениями кембрия и ордовика, смятыми в протяженные гребневидные складки, простирающиеся в северо-восточном направлении, вдоль границы Байкало-Патомского покровно-складчатого сооружения. Складки осложнены многочисленными разрывами, преимущественно надвигами, падающими на юго-восток. Встречаются также поперечные крутопадающие разрывы субмеридионального простирания.

На двух участках трасса проходит по юрским отложениям, перекрывающим нижнепалеозойские отложения с угловым несогласием. Местами юрские отложения запечатывают разрывы, нарушающие кембрийско-ордовикские толщи, что свидетельствует о пассивности разрывов в послепалеозойское время.

По карте общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97-В трасса газопровода находится в зоне с сейсмической интенсивностью 6 баллов по шкале MSK-64.

Анализ имеющихся в свободном доступе космических снимков Landsat трассы газопровода, проведенный в 2010 г. ОАО «Фундаментпроект» [3], не выявил признаков позднечетвертичной активизации разрывов, пересекающих трассу или проходящих вблизи нее. Значительная удаленность от трассы Чаянда-Ленск наиболее сильных для района Киренских землетрясений, слабо проявленная местная сейсмичность, а также умеренная (не более 5–6 баллов) интенсивность высокомагнитудных землетрясений (Муйского 27.06.1957 и землетрясения 8.10.1974 г.), наряду с отсутствием признаков обновления разломов [5], не дали оснований для пересмотра оценок нормативной фоновой сейсмичности для трассы газопровода на участке Чаянда-Ленск, составляющих 5–6 баллов по карте ОСР-97-В и 6 баллов по карте ОСР-97-С.

Инженерно-геологические особенности территории в значительной мере определяются коренными породами, как непосредственно, так и через состав и свойства продуктов их выветривания. Ниже приводится краткая характеристика пород по формационному принципу [3].

В пределах полосы проектируемого газопровода распространены осадочные формации коренных пород, среди которых выделяются: 1) карбонатная нижнекембрийская и среднекембрийская; 2) терригенно-карбонатная средне-верхнекембрийская, нижнеордовикская и средне-верхнеордовикская; 3) терригенная нижнеюрская.

Наиболее широко распространены на территории проектируемого газопровода породы терригенно-карбонатной формации – они встречаются практически на всем ее протяжении. Карбонатная формация развита на юго-восточной половине трассы; терригенная формация развита фрагментарно в юго-восточном и северо-западном концах трассы.

Карбонатная формация (нижнекембрийская (E_{ol} , E_{cr}); среднекембрийская (E_{mt})): имеет широкое распространение в полосе трассы и представлена известняками и доломитами. Породы трещиноваты, кавернозные и закарстованы.

Карбонатная нижнекембрийская формация представлена породами олекминской (E_{ol}) и чарской свит (E_{cr}), которые распространены в средней части трассы в пределах ядра крупной Среднеюрской антиклинальной зоны, также нижнекембрийские породы выходят на поверхность в междуречье Куччугуй-Утянних – Сиегенных, в долине р. Нюя и в правом борту р. Керемнике. Мощность данной формации изменяется от 100 до 250 м для олекминской свиты, и от 185 до 220 м – для чарской.

Отложения метегерской свиты (E_{mt}) имеют незначительное распространение. Они принимают участие в строении крыльев антиклинальных структур района, вскрывается наиболее полно в долине р. Нюя. Мощность свиты 40–60 м.

Доломиты имеют плотность 2,80–2,91 г/см³, плотность частиц грунта 2,8–2,9 г/см³, обладают высокой прочностью на одноосное сжатие в сухом состоянии 112,6–230,7 МПа и в водонасыщенном – 107 МПа.

Известняки сохранные имеют плотность 2,61–2,73 г/см³, плотность частиц грунта 2,71–2,78 г/см³. Прочность на одноосное сжатие в сухом состоянии – 68,8 МПа и несколько меньшее в водонасыщенном – 50,9 МПа.

Известняки выветрелые имеют меньшую плотность 2,56 г/см³, плотность частиц в среднем 2,74 г/см³, прочность на одноосное сжатие в сухом состоянии – 36,2 МПа и в водонасыщенном – 28,1 МПа.

Терригенно-карбонатная формация (средне-верхнекембрийская (E_{svl+il}); нижнеордовикская (O_{ik}); и средне-верхнеордовикская (O_2-O_3)): породы верхоленского и илгинского ярусов

($C_2 - C_{3vl} + il$) занимают обширные территории в пределах крыльев Средненюйской антиклинали, также их выходы наблюдаются в юго-восточной части трассы, в районе руч. Сиегенных и Тас-Юрях, в долине р. Нюя. Они представлены пестроцветными аргиллитами, алевролитами, мергелями и доломитами, мощность которых колеблется в пределах 180–210 м.

Отложения устькутской свиты (O_{uk}) нижнего ордовика испытывают значительные фациальные изменения. Так, в юго-восточной части разрез имеет преимущественно доломитовый состав, а севернее в нем наблюдается большое количество прослоев известняка и песчаника. Небольшие изолированные выходы фиксируются в начале трассы, вдоль р. Нюи и Станах, в междуречье Тас-Юрях и Бачинга. Мощность отложений этого яруса 160–220 м.

Терригенно-карбонатная ниже-среднеордовикская формация представлена однообразной толщей переслаивающихся между собой аргиллитов, алевролитов и мергелей, мощностью 200–250 м. Эти породы в полосе трассы встречаются достаточно редко в северной ее части – в междуречье Киенг-Юрях и Иенчик, а также отдельными островами на юго-востоке.

Алевролиты и аргиллиты имеют плотность 2,43–2,71 г/см³, плотность частиц грунта 2,65–2,83 г/см³, пористость 3,6–12,4 %. Прочность на одноосное сжатие в сухом состоянии – 35–42 МПа, при водонасыщении – 2,2–26 МПа.

Мергели имеют плотность 2,45–2,51 г/см³, плотность частиц 2,65–2,71 г/см³. Прочность на одноосное сжатие в сухом состоянии ввиду неоднородности имеет большой разброс 30,5–98,5 МПа и в водонасыщенном – 14,7–51,3 МПа.

Песчаники имеют плотность 2,41–2,61 г/см³, плотность частиц грунта 2,67–2,75 г/см³, пористость 8,5–13,4 %. Прочность на одноосное сжатие составляет в сухом состоянии 71–94 МПа, в водонасыщенном – 57–88 МПа, при промораживании – 43–73 МПа.

По инженерно-геологическим особенностям выделяются верхние горизонты карбонатных и терригенно-карбонатных толщ, представленные переслаиванием пород относительно устойчивых к выветриванию – доломитов, песчаников, плотных известняков, и пород менее прочных – аргиллитов, алевролитов, мергелей. В наибольшей степени прочностные свойства массивов горных пород снижают часто встречающиеся прослои мергелей, продукты выветривания которых имеют в основном глинисто-суглинистый состав и только доломиты и песчаники дают дресвяно-щебенистые наполнения. Мощность коры выветривания терригенно-карбонатной толщи колеблется от 1 до 15 м, на участках тектонических нарушений может возрастать до 30 м.

Терригенная формация (нижнеюрская (I_{uk})): отложения укугунской свиты (I_{uk}) сохранились от размытия лишь на весьма ограниченных по пло-

щади участках в районе руч. Чуонда в восточной части трассы и р. Бачанга на северо-западе. Разрез представлен песками с прослоями песчаников и конгломератов, мощность этих отложений относительно невелика – не более 90 м. Продукты их выветривания имеют в основном песчаный и супесчаный состав.

Песчаники трещиноватые имеют плотность в среднем – 2,28 г/см³, прочность на одноосное сжатие 56,8 МПа в сухом состоянии и 37,1 МПа – в водонасыщенном.

Конгломераты из зоны выветривания имеют среднюю плотность 2,62–2,64 г/см³, плотность частиц грунта 2,71 г/см³, пористость 52 %, прочность на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии – 12,4 МПа.

Инженерно-геологическая характеристика геолого-генетических комплексов четвертичных отложений. В пределах коридора трассы представлены следующие комплексы рыхлых четвертичных отложений: аллювиальные; аллювиально-делювиальные; делювиально-пролювиальные; делювиально-коллювиальные и коллювиальные; элювиальные и элювиально-делювиальные; биогенные [3].

Комплекс аллювиальных отложений (aQ_{IV}) представлен суглинками с прослоями песков, супесей и глин, подстилаемыми песками и галечниками. Мощность комплекса на разных реках составляет 1–5, 5–10 м, реже более 10 м. Донные отложения в руслах рек состоят, как правило, из песков и галечников с валунами. В периоды паводков они устойчивы к размыву.

Суглинки и супеси играют доминирующую роль в строении верхней части разреза пойм. Обычно они содержат растительные остатки, местами заторфованы. В них встречаются линзы погребенного торфа. Суглинки имеют плотность 1,27–2,04 г/см³ при природной влажности 17–35 % и плотности частиц грунта 2,60–2,75 г/см³, коэффициент пористости 0,56–0,89. В слое сезонного оттаивания грунты сильно разуплотнены и переувлажнены. В мерзлом состоянии плотность меняется от 1,1 до 1,7 г/см³ при влажности 22–34 %, льдистость за счет ледяных включений в верхней части разреза (до глубины 2–3 м) достигает 0,2–0,4 д. ед. Сетчатая, слоистая, массивная криотекстуры.

Суглинок с галькой до 25 % в мерзлом состоянии имеет плотность 1,82–1,94 г/см³ при суммарной влажности 25–31 %, пористости 41–48 % и плотности частиц грунта 2,70–2,71 г/см³.

Галечники нижней части разреза поймы имеют плотность 1,90–2,28 г/см³ при влажности до 7 %, плотность частиц грунта 2,67–2,72 г/см³, коэффициент пористости до 0,35. Галечниковый грунт в мерзлом состоянии имеет плотность 2,08–2,14 г/см³ при суммарной влажности 12–24 %, в среднем плотность частиц грунта равна 2,67 г/см³, льдистость составляет 0,11 д. ед. Криотекстура, как правило, корковая.

Комплекс аллювиально-делювиальных и аллювиально-пролювиальных отложений (*ad, apQ_{III-IV}*) представлен суглинками с дресвой и щебнем, дресвяными и щебенистыми суглинками, суглинками с прослоями песков и супесей, реже глин, с включениями гальки.

Суглинки имеют плотность 1,63–2,08 г/см³ при природной влажности 20–35 %, плотность частиц грунта 2,59–2,69 г/см³, коэффициент пористости 0,7–1,08.

Супеси имеют меньшую плотность 1,08–1,94 г/см³ при природной влажности 15–50 %, плотность частиц грунта 2,41–2,79 г/см³, коэффициент пористости изменяется от 0,47 до 1.

Пески имеют плотность 1,58–1,90 г/см³ при природной влажности 10–32 %, плотность частиц грунта 2,61–2,80 г/см³, коэффициент пористости 0,85–1,54 д. ед.

Для мерзлых суглинков и супесей характерны массивная, слоистая и сетчатая криотекстуры, местами в грунтах с примесью грубообломочного материала наблюдаются базальная и корковая криотекстуры. В песках криотекстура, как правило, массивная.

Делювиально-пролювиальные отложения (*dpQ_{III-IV}*) сплошным чехлом покрывают пологие склоны (крутизной 6–12°) и слагают выположенные подножья склонов крутизной менее 6°. Вещественный состав образований определяется составом пород коренной основы. Преобладающими среди них являются суглинки с включениями дресвы, щебня от 5–15 до 25 %. Консистенция грунтов меняется от полутвердой и тугопластичной (на склонах южной экспозиции) до текучей (на склонах северной экспозиции и в нижних частях склонов). Мощность отложений обычно составляет 1–5 м, увеличиваясь к основанию склонов до 5–10 м.

Глинистые грунты в составе делювиально-пролювиального комплекса имеют плотность 1,39–2,19 г/см³ при природной влажности 12–20 % и плотности частиц 2,7 г/см³, коэффициент пористости 0,45–1,13.

В мерзлом состоянии грунты слабольдистые, криотекстуры слоистая, массивная, корковая.

Комплекс делювиально-коллювиальных и коллювиальных отложений (*dc, cQ_{III-IV}*) приурочен к средним (12–20°) и крутым (>20°) частям склонов. Вещественный состав образований соответствует составу пород коренной основы. Преобладают дресвяные и щебенистые суглинки с содержанием дресвы и щебня 25–50 % или щебень, глыбы, дресва с супесчано-суглинистым заполнителем. Крупнообломочная фракция представлена прочными известняками, доломитами, песчаниками, алевролитами, реже аргиллитами, продукты дезинтеграции которых составляют дисперсный заполнитель отложений. Мощность комплекса достигает 5 м.

Суглинки в составе делювиально-коллювиального и коллювиального комплекса имеют плот-

ность 1,39–2,19 г/см³ при влажности 12–20 %, плотности частиц грунта 2,71–2,9 г/см³ и коэффициенте пористости 0,45–1,13.

Супеси имеют плотность 1,45–2,19 г/см³ при природной влажности 4,3–14,6 %, коэффициенте пористости 0,45–1,13 и плотности частиц грунта 2,61–2,75 г/см³.

В мерзлом состоянии грунты слабольдистые. Преобладает корковая криотекстура.

Комплекс элювиальных и элювиально-делювиальных отложений (*e, edQ, N-Q*) имеет максимальное распространение в коридоре трассы. Данные отложения представляют собой продукт разрушения подстилающих скальных и полускальных карбонатных и терригенных пород. Мощность накапливающихся продуктов разрушения зависит от возраста поверхности выравнивания и скорости выветривания коренных пород, чему немало способствует и морозное растрескивание. Скорость выветривания и образования его продуктов составляет: для известняков – около 2,0 см/год; аргиллитов, алевролитов, глинистых сланцев – 1,2–2,0 см/год. Отложения представлены суглинками, реже супесями и глинами, с дресвой и щебнем, дресвяными и щебенистыми грунтами, а также песками с прослоями супесей, суглинков, глин с включениями дресвы и щебня.

Суглинки с дресвой и щебнем имеют плотность 2,1–2,5 г/см³ при влажности 6–20 % и плотности частиц грунта 2,66–2,71 г/см³. В мерзлом состоянии грунты слабольдистые, с корковой или сетчатой криотекстурами.

На водоразделах, сложенных песчаниками, с поверхности залегают неоднородные пылеватые пески (степень неоднородности грансостава до 65 %) мощностью 1,5–2 м. Влажность песков составляет 15–20 %.

Комплекс биогенных отложений (*bQ_{IV}*) распространен в долинах рек. Отложения, находящиеся как правило в многолетнемерзлом состоянии представлены маломощным торфом и оторфованными суглинками. Верхний 2–3 м горизонт озерно-болотных отложений характеризуется наличием слоистых и сетчатых криогенных текстур и льдистостью за счет ледяных включений (*Ii*) 0,2–0,4.

Геокриологические условия проектирования весьма разнообразны. Трасса проектируемого газопровода на участке Чаянда-Ленск проложена по территории, которая в мелкомасштабном плане (Геокриологическая карта СССР, масштаба 1:2500000, 1991) относится к зоне массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород (ММП). Площадь развития ММП составляет от 40 до 80 % [5]. Наибольшая мощность мерзлой зоны на равнинах и плато составляет 100–250 м.

Основными факторами, влияющими на формирование температурного поля пород, являются климатические особенности территории. Значительно влияние и других геолого-географических факторов, способствующих формированию определенного температурного режима поверхности поч-

вы (рельефа, экспозиции склонов, особенности распределения снежного покрова и различных ярусов растительности). Существенно влияние состава и свойств пород слоя сезонного оттаивания-промерзания, предопределяющее, например, долю отепляющего воздействия инфильтрации на температурный режим пород, и, наоборот, долю охлаждающего влияния торфяно-моховых покровов [6–8].

В результате совместного действия всех вышеприведенных факторов наиболее суровые геокриологические условия характерны для днищ долин и нижних частей склонов. На водораздельных поверхностях мерзлотные условия, как правило, мягче. В днищах долин, помимо охлаждающего влияния зимней инверсии воздушных масс, на температурный режим пород оказывает влияние распространение заболоченных и замшелых поверхностей, что приводит к значительным потерям при испарении и слабому прогреву поверхности почвы летом за счет малой теплопроводности мхов.

На формирование температурного режима пород водораздельных поверхностей большое влияние оказывает экспозиция склонов. Различия величины инсоляции обуславливает разницу в среднегодовых температурах пород на склонах северных и южных экспозиций до $1,5\text{--}2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ОАО «Фундаментпроект» в полосе трассы газопровода при разработке карты инженерно-геокриологического районирования 1:25000 [3] были выделены следующие типы распространения и средней годовой температуры ММП:

- *прерывистое распространение ММП* с наиболее низкими средними годовыми температурами пород ($-0,5\text{...}-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) свойственно заболоченным днищам речных долин (р. Нюя, Станнах, Курунг-Юрях, Махсага, Иенчик и др.); а также крутым осыпным склонам северной экспозиции, которые встречаются преимущественно в центральной части полосы трассы проектируемого трубопровода;
- *массивно-островное распространение ММП* с фоновыми температурами $-0,5\text{...}-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ характерно для долин малых рек и ручьев и нижних частей пологих склонов;
- *островное распространение ММП и фоновые температуры пород* $-0,3\text{...}-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ свойственно водораздельным поверхностям и привершинным частям склонов;
- *наиболее высокие температуры ММП* ($0\text{...}-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) приурочены к участкам редкостровного и спорадического их распространения на водоразделах и привершинных частях пологих склонов в поле развития хорошо фильтрующих нижнеюрских отложений.

Приведенные выше закономерности формирования геокриологических условий благоприятствуют распространению таликов на хорошо дренированных пологовыпуклых водоразделах и склонах, сложенных хорошо фильтрующими по-

родами. В долинах рек и ручьев развиты русловые талики, приуроченные как к зонам тектонической трещиноватости, так и к площадям развития подруслового карста в карбонатных породах.

Глубины сезонного промерзания-оттаивания в значительной мере определяются составом и свойствами грунтов. Наиболее типичные грунты слоя сезонного промерзания-оттаивания на всем протяжении трассы – пылеватые суглинки, от легких до тяжелых, реже встречаются пески с прослоями супесей и суглинков, часто содержащие в своем составе дресву и щебень. Минимальные глубины оттаивания $0,5\text{--}1,5\text{ м}$ свойственны заболоченным участкам долин рек при наличии в разрезе торфа и оторфованных суглинков. Максимальные мощности сезонно-талого слоя от $2,5$ до $4,5\text{ м}$ характерны для крутых склонов, сложенных песками, крупнообломочными или трещиноватыми скальными грунтами, в которых сказывается отепляющее влияние инфильтрации.

Глубины сезонного промерзания изменяются от $2,0\text{--}3,0\text{ м}$ в супесчано-суглинистых грунтах до $3,0\text{--}5,0\text{ м}$ в песчаных, крупнообломочных и скальных.

Четвертичные отложения всех геолого-генетических комплексов, имеющих распространение в полосе проектируемой трассы, характеризуются как слабодистые (ГОСТ 25100–2011). Исключение составляют озерно-болотные осадки, льдистые до глубины $2\text{--}3\text{ м}$ (рис. 3).



Рис. 3. Льдистость четвертичных отложений [4]

Fig. 3. Ice content of quaternary deposits [4]

Развитие экзогенных геологических процессов определяется особенностями рельефа, геологическим строением и геокриологическими условиями территории.

Наиболее широко распространенным процессом, имеющим место во всех породах, является выветривание, в котором присутствуют и физико-механическая (за счет континентальности климата и наличия глубокого сезонного промерзания), и химическая составляющие (за счет растворения карбонатов). Благодаря этому процессу большинство коренных пород территории имеют относительно мощные коры выветривания (до 15 м и более). Новейшее поднятие Приленского плато способствова-

ло активизации криогенного выветривания, о чем свидетельствуют подвергаемые денудации скалистые берега водотоков и аккумулируемые под ними мощные осыпи.

На юго-восточной части района работ, где выходят на поверхность карбонатные породы нижнего кембрия отмечаются карстовые формы рельефа. Они подразделяются на депрессии древнего загложшего и воронки современного карста. Первые выполнены различными по возрасту и генезису терригенными отложениями, вторые – только обломками карстующихся пород. Развитию карста способствует глубокое расчленение территории и трещиноватость пород. По трещинам происходит активная циркуляция подземных вод, и как следствие – растворение и вынос относительно легко растворимых минералов. Карст на поверхности проявляется в виде воронок, полостей, понор и карстовых рвов. Основные причины, которые могут привести к активизации карста: повышение среднегодовой температуры грунтов и деградация ММП, увеличение интенсивности поверхностного стока и изменение химического состава грунтовых вод, уничтожение или уменьшение мощности четвертичных отложений, изменение гидрогеологических условий, нарушение монолитности массивов карбонатных пород.

В условиях голого карста на склонах водотоков наблюдаются специфические формы карстового рельефа, возникающие вследствие неравномерного растворения карстующихся горных пород (рис. 4).



Рис. 4. Прирусловый карст [4]

Fig. 4. Natural karst [4]

Другой характерной формой карстового рельефа являются исчезающие реки и ручьи, которые имеют прерывистый водоток, иногда в руслах фиксируются провалы в виде воронок, щелей, иногда с понорами.

Суффозионные воронки диаметром 4–6 м и глубиной от 1 до 1,5 м были отмечены при полевом обследовании в привершинных частях водоразделов, сложенных песками нижней юры. Образование суффозионных воронок объясняется выносом тонкодисперсного материала поверхностными и подземными водами. В зонах развития карстующихся пород суффозия может протекать более активно,

образуются воронки смешанного, суффозионно-карстового происхождения.

Осыпи встречаются в коридоре трассы чаще всего на склонах крутизной 12–20°, обвалы – на склонах больше 20°. Обвалам и оползанию значительных блоков скальных пород способствует их трещиноватость (рис. 5).

Глинистый состав поверхностных отложений способствует потенциальному развитию оползней и солифлюкции на пологих склонах плато в дождливые периоды. Оползни в районе, как правило, мелкие. Солифлюкционный процесс ограничивается широким развитием древесного и кустарникового яруса растительности в полосе трассы. Можно ожидать, что при сведении растительности в полосе проектируемой трассы произойдет активизация этого процесса.



Рис. 5. Обвально-осыпной склон в коридоре трассы газопровода [3]

Fig. 5. Landslide talus in the route corridor of a gas pipeline [3]

В долинах рек наблюдаются процессы эрозии. Преобладает боковая эрозия, выраженная в разрушении берегов водным потоком, включающая в себя отрыв и вынос обломков материала, сопровождающийся их переотложением (рис. 6). Наиболее интенсивно она протекает при подъеме уровня воды в весенние паводки.



Рис. 6. Подмытый берег ручья [3]

Fig. 6. Hollowed out stream bank [3]

Болота локально развиты в долинах рек и ручьев. Более широкое распространение имеют заболоченные и переувлажненные участки в долинах, у подножий пологих склонов, в седловинах (рис. 7).



Рис. 7. Заболачивание [4]

Fig. 7. Bogging [4]

Преимущественно островной характер распространения мерзлых пород в пределах территории, ограниченное распространение льдистых грунтов предопределили соответствующий характер развития криогенных процессов и явлений. Специфика района – преобладание одногодичных, сезонно разрушающихся криогенных образований (речные наледи, однолетние бугры пучения), возникающих не ежегодно и меняющих места своего образования в зависимости от сезонных условий промерзания. Криогенные процессы имеют локальное распространение и приурочены в основном к днищам долин. Степень пораженности площади исследований геокриологическими процессами достигает 10 %.

Сезонное пучение грунтов – самый типичный и наиболее распространенный на рассматриваемой территории мерзлотный процесс, проявляющийся в образовании кочковатого микрорельефа. В большинстве случаев кочки имеют диаметр 10–20 см, высота 20–40 см. Небольшая глубина сезонно-талого слоя и соответственно повышенные темпы промерзания талых пород препятствуют интенсивности развития пучения. Начало пучения приходится на середину–конец ноября; оно продолжается в течение всей зимы с максимальной интенсивностью с января по март. Наибольшая величина пучения наблюдается в долинах рек, полосах стока, где существуют оптимальные условия для его развития: грунтовые воды залегают на глубине меньше 3 м, и глинистые грунты значительно увлажнены. В заболоченных долинах сезонное пучение грунтов достигает 0,5 м. К участкам с минимальной величиной пучения (до 0,01–0,02 м) относятся водоразделы и склоны, сложенные породами с относительно невысокой влажностью (до 25 %) и глубоким залеганием грунтовых вод.

Многолетнее пучение наблюдается на участках торфяников и в долинах рек и водотоков с мохо-

вым покровом. Формируются небольшие по высоте (до 0,5 м) слабовыпуклые бугры пучения. Формирование бугров пучения связано с образованием и накоплением сегрегационного льда вследствие миграции влаги под влиянием температуры и влажности.

Наледи встречаются в долинах рек, они обусловлены частичным или полным промерзанием водного потока. Размеры их различны: длина от нескольких десятков метров до 1–2 км, ширина до 30–50 м, средняя мощность льда 1,0–2,0 м (рис. 9). Наледи занимают русло и пойму реки, способствуют дальнейшей разработке долины, расширяя и расчлняя русло.

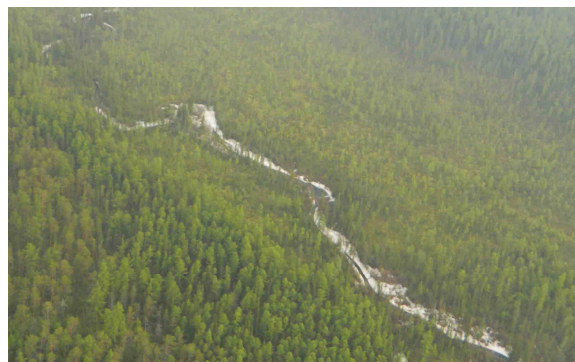


Рис. 8. Наледь в пределах Пеледуде-Нюйского междуречья [4]

Fig. 8. Ice coating within Peledue-Nyuy interfluve [4]

Неизбежные нарушения естественных природных условий при строительстве и эксплуатации газопровода могут привести к активизации экзогенных геологических процессов и возникновению опасных проявлений процессов там, где их не было в естественных условиях.

Термокарстовые образования развиваются преимущественно в сильнольдистых аллювиальных и болотных отложениях. Прогрессируют процессы термокарста в парагенезисе с пучением. Причинами развития термокарста являются повышение среднегодовой температуры пород и изменение степени обводненности участков. В настоящее время процессы термокарста развиты на плоских вершинах водораздела, сложенных элювиальными образованиями на породах терригенно-карбонатной формации, и выражены в небольших котловинах глубиной до 0,5 м. Интенсивно процессы термокарста развиваются на участках хозяйственного освоения в процессе разведки нефтегазовых месторождений. Процессы термокарста отмечены на слабодренлируемых, заболоченных участках. Связаны процессы термокарста с вытаиванием сегрегационных льдов.

Солифлюкция на площади работ приурочена к мелким долинам временных водотоков и отмечена на склонах до 10° северной и восточной экспозиций. Среди форм микрорельефа, созданных солифлюкцией, отмечаются оплывины, микротеррасы.

На дренируемых участках пологовыпуклых вершин водоразделов и на склонах долин южной и



Рис. 9. Классификация дефектов, вызываемых природными факторами

Fig. 9. Classification of defects caused by natural factors

западной экспозиций развит полигональный микрорельеф, связанный с зимним растрескиванием пород в результате их морозного иссушения. Трещины захватывают верхнюю часть глубиной до 10–25 см. Ширина их различна – от 5 до 30 см. Полигоны имеют выпуклую поверхность, размеры их от 0,3 до 1,2 м.

Учитывая описанные выше природные условия, имеющие прямое и косвенное воздействие на магистральный газопровод, нами предлагается выделить две большие группы дефектов, вызываемых инженерно-геологическими факторами и процессами (рис. 9):

- коррозионные дефекты;
- изменение проектного положения оси магистрального газопровода.

Интенсивность наружного коррозионного процесса зависит от гранулометрического состава горных пород, их структуры, удельного электриче-

ского сопротивления грунта, наличия источников блуждающих токов, наличия пар дифференциальной аэрации (ПДА). Как правило, коррозионные дефекты, вызываемые влиянием инженерно-геологических факторов, можно отнести к общей внешней коррозии. Зачастую участки с большой концентрацией коррозионных дефектов могут достигать 300–400 мм по трассе [9].

Изменение проектного положения оси магистрального газопровода, по литературным данным, может быть связано со следующими дефектами:

- Всплытие участков газопровода – к этому явлению относятся участки магистрального газопровода, потерявшие проектное положение оси в обводненном грунте с выходом на поверхность воды (рис. 10);
- Выпучины газопровода – основной причиной изменения проектного положения является морозное пучение (рис. 11);

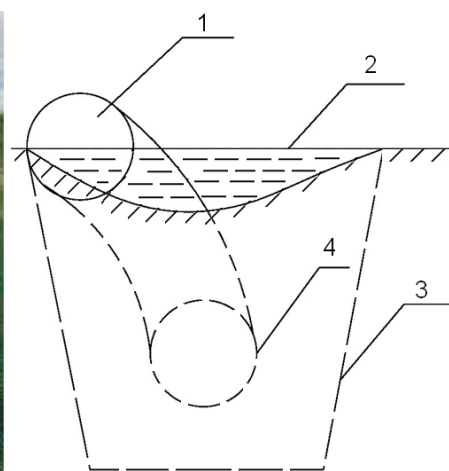


Рис. 10. Всплытие участка магистрального газопровода [10]: 1 – фактическое положение газопровода; 2 – существующая поверхность грунта; 3 – профиль строительной траншеи; 4 – положение газопровода по проекту строительства

Fig. 10. Floating up of the main pipeline [10]: 1 is the actual position of the pipeline; 2 is the existing surface of soil; 3 is the profile of the construction trench; 4 is the position of the pipeline according to the design project



Рис. 11. Морозное пучение и выпучивание газопровода: 1 – фактическое положение газопровода; 2 – существующая поверхность грунта; 3 – профиль строительной траншеи; 4 – положение газопровода по проекту строительства

Fig. 11. Frost heave and buckling of the pipeline: 1 is the actual position of the pipeline; 2 is the existing surface of soil; 3 is the profile of the construction trench; 4 is the position of the pipeline according to the design project

- Провисы газопровода – представляют собой оголенные участки трубопровода без опоры на грунт, возникающие, к примеру, в результате карстовых явлений (рис. 12) или оттаивания вечномёрзлых грунтов.
- Просадки газопровода – участки газопровода на глинистых и лессовых грунтах, ось которых при повышении влажности грунта выше определенного значения опускается ниже проектного уровня.

В северных районах страны магистральные газопроводы на участках балластировки на значительной протяженности находятся выше проектных отметок – оголены или всплыли со сбросом

устройств-утяжелителей. Обследование трасс трубопроводов свидетельствует, что первоначально всплывают участки на углах поворота оси газопровода в плане. В период последующего паводка, при повышении уровня воды, средние участки, повторно всплывая, увлекают за собой прилегающие секции газопровода, в результате длина участка увеличивается [12]. Таким образом, в течение срока эксплуатации газопровод может всплыть на протяжении всего обводненного участка.

Морозное пучение грунта является результатом объемного расширения воды (примерно на 9 %), находящейся в грунте до промерзания и дополнительно мигрирующей к границе промерза-

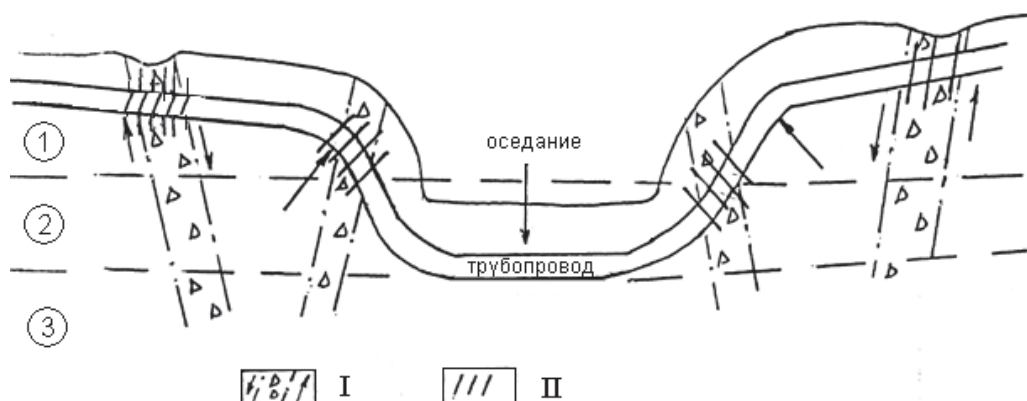


Рис. 12. Схема формирования мулды оседания земной поверхности и дополнительных напряжений в системе труба – массив горных пород: I – тектонически ослабленные зоны, определяющие блоковый характер векторных деформаций земной коры; II – дополнительные напряжения на металле трубопровода в связи с формированием мулды оседания земной поверхности с развитием карстово-суффозионных и эрозионно-тектонических форм. Гидродинамические зоны: 1 – аэрации или вертикальной нисходящей циркуляции вод; 2 – переходная; 3 – зона постоянного горизонтального стока [11]

Fig. 12. Scheme of formation of earth surface subsidence trough and additional stresses in the system a pipe – rock massif: I – tectonically weakened zones which determine block character of earth crust vector deformation; II – additional stresses on a pipeline metal due to formation of earth surface subsidence trough at the development of karst-suffusion and erosion-tectonic forms. Hydrodynamic areas: 1 – of aeration or vertical descending water circulation; 2 – transition; 3 – of constant horizontal drainage [11]

ния, в процессе перехода воды из одного агрегатного состояния в другое [13, 14]. Во время промерзания грунтов, особенно при интенсивных фазовых переходах воды (при температуре от 0 до -5°C), при некоторых условиях может происходить перераспределение воды, содержащейся в грунте. Как правило, в песках мелких и пылеватых, в пылевато-глинистых грунтах наблюдается миграция ее снизу вверх к фронту охлаждения и промерзания. Наиболее интенсивная миграция происходит в грунтах с небольшой скоростью промерзания и со значительной пылевой фракцией от 30 до 80 %. При промерзании таких грунтов происходят значительные деформации сооружений до десятков сантиметров. Необходимо учитывать, что чем ближе уровень подземных вод к границе промерзания, тем более высокой пучинистостью обладают пылевато-глинистые грунты при прочих равных условиях. Основной причиной является то, что подобные грунты имеют слабо выраженную текстуру и малое сцепление между частицами, таким образом, при промерзании лед в таких грунтах образуется внутри структурных элементов и вызывают значительные деформации. При увлажнении пылеватые грунты теряют сцепление между частицами, при промерзании в них образуется большое количество льда и ледяных линз. На объем морозного пучения грунта значительное влияние оказывает плотность их строения. Так, если грунты очень плотные, то при их промерзании наблюдается незначительное пучение, так как такие грунты имеют

небольшое количество воды и в них затруднена возможность ее миграции при промерзании. В достаточно рыхлых грунтах много пор и пустот, которые, как правило, свободны от воды, и за счет этих пустот могут гаситься деформации пучения. Грунты средней плотности с полностью заполненными водой порами при промерзании значительно увеличиваются в объеме, т. е. деформируются от морозного пучения.

Одним из самых часто встречающихся дефектов являются провисы газопровода, т. е. участки, потерявшие грунтовое основание вследствие различных процессов, таких как карстовые, эрозийные [15]. В настоящее время карстовый процесс является наиболее скрыто протекающим и трудно прогнозируемым. Карст представляет собой совокупность геологических, гидрогеологических и (или) техногенных процессов и явлений, обусловленных растворением скальных или полускальных горных пород, в результате которых происходят изменения структуры и состояния этих и вышележащих пород, образование системы взаимосвязанных полостей, каверн, трещиноватых и разуплотненных зон и связанных с ними деформаций земной поверхности и оснований сооружений. Вследствие развития данных процессов происходит горизонтальная и вертикальная деформация земной поверхности, что может стать причиной нарушения целостности и последующего разрушения магистрального трубопровода [16].

Таблица. Классификация дефектов магистральных газопроводов, вызываемых природными факторами

Table. Classification of defects of the main pipelines caused by the natural factors

Группа дефектов Defect group	Наименование дефекта Defect name	Процесс Process	Причины и определяющие факторы Reasons and factors
Коррозионные Corrosive	Общая коррозия Total corrosion	Коррозионный Corrosive	Низкое электрическое сопротивление грунта (5–20 Ом/м) Low electric resistance of soil (5–20 Ohm/m) Наличие микроорганизмов/Presence of micro organisms Наличие блуждающих токов/Presence of earth currents Высокая влажность грунтов (до 25 %)/High humidity of soil (to 25 %) Наличие пар дифференциальной аэрации Presence of pairs of differential aeration
	Всплытие участков газопровода Floating up of pipeline areas	Выход трубопровода на поверхность [17] Output of a pipeline	Отсутствие балластировки/Absence of ballasting Обводненность/Water cut Слабые глинистые и заторфованные грунты/Soft clay and peaty soil
	Выпучины газопровода Bulge of a pipeline	Морозное пучение Frost heave	Водонасыщенность / Water saturation Содержание в грунте пылеватых частиц (от 30 до 80 %) Silt content in soil (from 30 to 80 %) Мощность промерзающего слоя/Degree of frozen layer Средняя температура и продолжительность периода промерзания / Average temperature and duration of freezing
	Провисы газопровода Pipeline subsidence	Карстовые процессы, оттаивание вечномёрзлых грунтов Karst processes, permafrost soil thawing	Наличие растворимых в воде горных пород (карбонатные, сульфатные и пр.)/Presence of rock soluble in water (carbonate, sulfate etc.) Трещиноватость массива пород/Fracturing of rock massif Поверхностный сток и инфильтрация атмосферных осадков Surface water drainage and infiltration of precipitation Изменение режима и уровня подземных вод Change in mode and level of underground waters
Изменение проектного положения оси магистрального газопровода Change in design position of the main pipeline axis	Просадки газопровода Pipeline sag	Просадка грунта Soil subsidence	Повышение влажности/Increase of moisture content Наличие глинистых и лессовых пород/Presence of clay rocks and loess Засоленные грунты/Saline soil

Учитывая все вышесказанное, можно представить следующую общую классификацию дефектов магистральных газопроводов, вызываемых природными факторами (таблица).

Представленная классификация дефектов в достаточной мере отражает разнообразие природных факторов, влияющих на возникновение дефектов магистральных газопроводных систем.

Заключение

В результате проведенных на данном этапе исследований можно сделать следующие выводы:

- трассу газопровода планируется проложить по полого-увалистому плато, пересекаемому р. Няня и ее притоками;
- территория проектируемой трассы характеризуется неглубоким залеганием коренных пород карбонатной и терригенно-карбонатной формаций палеозоя и терригенной формации нижней юры; породы коренной основы сильно трещиноваты и нестойки к выветриванию, особенно в зонах тектонических нарушений, что определяет высокую водопроницаемость и снижение несущей способности грунтов оснований. В карбонатных породах развит карст;
- четвертичные породы представлены образованиями в основном элювиального, склонового и аллювиального генезиса; их мощность изменяется от 0 до 10 м;

- трасса проектируемого газопровода проложена в зоне массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород со среднегодовой температурой от 0 до минус 2,5 °С. Наиболее суровые геокриологические условия характерны для днщ долин и нижних частей склонов. Породы в целом являются слабодистыми. Исключение составляют заболоченные и заторфованные участки долин, льдистые до глубины 2 м;
- из современных экзогенных геологических процессов на территории распространены: выветривание, карст (поверхностный и подземный) [18], суффозия, речная эрозия, заболачивание, обвалы и осыпи. Криогенные процессы приурочены к днщам долин и представлены солифлюкцией, термокарстом [19, 20], сезонным пучением грунтов и наледообразованием;
- из опасных процессов эндогенного характера в пределах района работ возможны землетрясения. Согласно карте общего сейсмического районирования сейсмичность района изысканий составляет: по картам ОСР-97-А и В (10 и 5 % вероятность превышения) – 6 баллов; по карте ОСР-97-С (1 % вероятность превышения) – 7 баллов.

Наиболее неблагоприятными физико-геологическими процессами для строительства газопровода в пределах изученной территории являются процессы мерзлотного характера и карст.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гостева А.В., Глебова Е.В., Черноплёков А.Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на магистральных газопроводах на основе результатов анализа риска // Нефть, газ и бизнес. – 2009. – № 9. – С. 68–70.
2. Аристов М. Воздействие геологических и других природных процессов на магистральные газопроводы. Результаты исследований с применением мультиспектральных аэрокосмических съемок // Электронный научный журнал «Геопрофиль». – 2008, ноябрь–декабрь. – № 3. – С. 44–50. URL: <http://internetgeo.ru/uploads/journals/geoprofile0308/pipeline.pdf> (дата обращения: 27.01.2015).
3. Технический отчет. Выполнение комплексных инженерных изысканий по объекту «Магистральный газопровод «Сила Сибири». Участок Чаянда–Ленск. В 5 т. Т. 3 – Саратов: ОАО «ВНИПИгаздобыча», 2012. – 43 с.
4. Фурсова Е.В., Шестаков Д.И. Отчет по производственной практике по выполнению комплексных инженерных изысканий площадных объектов сбора газа на Чаяндинском нефтегазоконденсатном месторождении. – Томск: НИ ТПУ, 2011. – 92 с.
5. Алешин А.С. Сейсмическое микрорайонирование особо ответственных объектов. – М.: Светоч Плюс, 2010. – 304 с.
6. Геокриологическая карта СССР, масштаб 1:2500000. – М., 1991.
7. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 414 с.
8. Инженерная геология СССР. Т. 3. Восточная Сибирь / под ред. Г.А. Голодковской. – М.: Изд-во Моск. ун-та. 1977. – 657 с.
9. Применение геоинформационных систем для оценки влияния природных факторов на техническое состояние магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» / А.Н. Распутин, В.А. Желобецкий, С.Н. Куимов, К.В. Постаутов // Газовая промышленность. – 2009. – № 11. – С. 81–83.
10. Казаков Н.А., Генсировский Ю.В. Экзогенные геодинамические и русловые процессы в низкорельефе о. Сахалин как факторы риска для нефтегазопроводов «Сахалин-2» // ГЕОЭКОЛОГИЯ: Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2008. – № 6. – С. 483–496.
11. Примеры моделирования карстовых процессов Карстовые системы севера в меняющейся среде / А.Я. Гаев, Ю.А. Килин, И.Н. Алферов, Н.С. Алферова // Карстовые системы севера в меняющейся среде: матер. конф. – Пинега-Голубино, Россия, 5–10 сентября 2011. – С. 34–37.
12. Климчук А.Б. Систематизация структуры водообмена как системообразующее свойство карста // Геологический журнал. – 2011. – № 1. – С. 85–110.
13. White W.B. Karst hydrology: recent developments and open questions // Engineering Geology. – 2002. – V. 65. – P. 85–105.
14. Worthington S.R.H., Ford D.C. Self-organized permeability in carbonate aquifers // Ground Water. – 2009. – V. 43 (3). – P. 326–336.
15. Задегидолова М.М. Снижение техногенных рисков на подводных переходах магистральных газопроводов с опасными геодинамическими процессами // Территория нефтегаз. – 2013. – № 9. – С. 18–22.
16. Крашенинников В.С., Хоменко В.П. Изучение покрывающей толщи как один из важнейших компонентов инженерных изысканий в районах покрытого карста // Вестник МГСУ. – 2011. – № 5. – С. 113–119.
17. Optimization of engineering solutions for thermal stabilization of saline permafrost soils at bases of structures by means of two-phase heat pipes / R.M. Bayasan, S.I. Golubin, G.P. Pustovoi, T.V. Proshina, A.G. Korotchenko // Heat pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources: VII Minsk International Seminar. – Minsk, Belarus, 2008. P. 139–143.
18. Tolmachev V., Leonenko M. Experience in collapse risk assessment of building on covered landscapes in Russia // Karst mana-

- gement / Ph.E. van Beynen (ed). – Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer, 2011. – P. 75–102.
19. Панчуков Н.П. Проблемы освоения месторождений нерудных полезных ископаемых открытым способом на территориях распространения сульфатного карста // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 3. – С. 131–142.
20. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / под ред. Е.М. Мельникова, С.Е. Гречищева. – М.: ГЕОС, 2002. – 402 с.

Поступила 28.01.2015 г.

UDC 624.131

NATURAL FEATURES OF CONSTRUCTING THE MAIN GAS PIPELINE «POWER OF SIBERIA» ON A SITE CHAYANDINSKOYE OIL AND GAS FIELD – LENSK

Lyudmila A. Strokova,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: strokova@sibmail.com

Alyona V. Ermolaeva,

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,
634050, Russia. E-mail: alyona7@inbox.ru

The relevance of the research is related to the growth of breakdown susceptibility on the linear part of the main gas pipelines caused by the influence of natural and technogenic factors in regions of distribution of eternal frozen grounds, a cross-country terrain, etc.

The main aims of the study are to describe the natural zonal and regional geological factors of engineering-geological conditions of the territory of the projected gas pipeline «Power of Siberia» on the section Chayanda–Lensk, to determine classification signs of defects of the main gas pipelines caused by engineering-geological factors and widespread in the region of works; to detect the main dangerous engineering-geological processes, characteristic for the region of works and having direct impact on the system pipeline–soil.

The methods used in the study: the analysis of materials of engineering-geological researches for designing the objects of the linear infrastructure of the «Power of Siberia» main gas pipeline, executed by the Federal State Unitary Enterprise «Vostsib of AGP», JSC «Ingeokom», JSC «Promneftegazproyekt», JSC «Fundamentproyekt», JSC «NPF DIEM»; gathering and processing the materials of last years, statistical data on breakdown susceptibility of the main gas pipelines of JSC «Gazprom» on the linear part owing to dangerous geological processes, natural and other technogenic factors.

The results. The authors have considered the climatic, geomorphological features of the place of design of a gas pipeline «Power of Siberia». The paper introduces the description of both engineering-geological formations of parent rocks, and the characteristic of geological and genetic complexes of quaternary deposits. The authors estimated the impact of geocryologic conditions of construction and exogenetic processes on the designed object and proposed the classification of defects of the main gas pipelines caused by dangerous geological, engineering-geological processes. The key reasons and factors of the processes having direct impact on operational reliability of the pipelines were defined according to the proposed classification.

Key words:

Main gas pipelines, defects, rocks, dangerous geological processes, karst, bogging.

REFERENCES

1. Gosteva A.V., Glebova E.V., Chernoplekov A.N. Prognostirovanie chrezvychaynykh situatsiy na magistralnykh gazoprovodakh na osnove rezultatov analiza riska [Forecasting the emergency situations on gas pipelines on the basis of the results of risk analysis]. *Neft, gaz i biznes*, 2009, no. 9, pp. 68–70.
2. Aristov M. Vozdeystvie geologicheskikh i drugikh prirodnykh protsessov na magistralnye gazoprovody. Rezultaty issledovaniya s primeneniem multispektralnykh aerokosmicheskikh semok [The impact of geological and other natural processes on gas pipelines. The results of research using multispectral aerospace imagery]. *Geoprofil*, 2008, no. 3, pp. 44–50. Available at: <http://internet-geo.ru/uploads/journals/geoprofile0308/pipeline.pdf> (accessed 27 January 2015).
3. *Tekhnicheskyy otchet. Vypolnenie kompleksnykh inzhenernykh izyskany po obektu «Magistralny gazoprovod «Sila Sibiri»». Uchashtok Chayanda–Lensk* [Complex engineering surveys for the project «Pipeline «Power of Siberia»». Section: Chayanda–Lensk]. Saratov, VNIPIgazdobycha Publ., 2012. Vol. 3, 43 p.
4. Fursova E.V., Shestakov D.I. *Otchet po proizvodstvennoy praktike po vypolneniyu kompleksnykh inzhenernykh izyskany ploshchadnykh obektov sbora gaza na Chayandinskom NGKM* [Report on practical training in performance of complex engineering survey of area features for gas collection from the Chayandinskoye oil and gas condensate field]. Tomsk, NI TPU, 2011. 92 p.
5. Aleshin A.S. *Seismicheskoe mikrorayonirovanie osobo otvetstvennykh obektov* [Seismic microzoning of especially important objects]. Moscow, Svetoch Plyus Publ., 2010. 304 p.
6. *Geokriologicheskaya karta SSSR, masshtab 1:2500000* [Geocryological map of the USSR]. Moscow, 1991.
7. *Geokriologiya SSSR. Srednyaya Sibir* [Geocryology of the USSR. Middle Siberia]. Ed. by E.D. Ershov. Moscow, Nedra Publ., 1989. 414 p.
8. *Inzhenernaya geologiya SSSR. Tom 3. Vostochnaya Sibir* [Engineering Geology of the USSR. Vol. 3. Eastern Siberia]. Ed. by G.A. Golodovskaya. Moscow, Moscow University Press, 1977. 657 p.

9. Rasputin A.N., Zhelobetsky V.A., Kuimov S.N., Postautov K.V. Primenenie geoinformatsionnykh sistem dlya otsenki vliyaniya prirodnnykh faktorov na tekhnicheskoe sostoyanie magistralnykh gazoprovodov OOO «Gazprom transgaz Ekaterinburg» [Application of geographic information systems to assess the impact of natural factors on technical state of gas pipelines LLC «Gazprom transgaz Ekaterinburg»]. *Gazovaya promyshlennost*, 2009, no. 11, pp. 81–83.
10. Kazakov N.A., Gensiorovsky Yu.V. Ekzogennyye geodinamicheskie i ruslovyie protsessy v nizkogore o. Sakhalin kak faktory riska dlya neftegazoprovodov «Sakhalin-2» [Exogenous geodynamic and river channel processes in the low Sakhalin island as risk factors for pipeline «Sakhalin-2»]. *GEOEKOLOGIYA. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya – ENVIRONMENTAL GEOSCIENCE: Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology*, 2008, no. 6, pp. 483–496.
11. Gaev A.Ya., Kilin Yu.A., Alferov I.N., Alferova N.S. Primery modelirovaniya karstovykh protsessov [Examples of modeling karst processes]. *Karstovye sistemy severa v menyayushcheysya srede* [Proc. Symp. Northern karst systems in our changing environment]. Pinega-Golubino, Russia, 5–10 September 2011. pp. 34–37.
12. Klimchuk A.B. Sistematizatsiya struktury vodoobmena kak sistemobrazuyushchee svoystvo karsta [Systematization patterns of water exchange as a core feature of karst]. *Geologicheskii zhurnal*, 2011, no. 1, pp. 85–110.
13. White W.B. Karst hydrology: recent developments and open questions. *Engineering Geology*, 2002, vol. 65, pp. 85–105.
14. Worthington S.R.H., Ford D.C. Self-organized permeability in carbonate aquifers. *Ground Water*, 2009, vol. 43 (3), pp. 326–336.
15. Zaderigolova M.M. Snizhenie tekhnogennnykh riskov na podvodnykh perekhodakh magistralnykh gazoprovodov s opasnymi geodinamicheskimi protsessami [The risk of reduction for underwater crossings of trunk pipelines of dangerous geodynamic processes]. *Territoriya neftegaz*, 2013, no. 9, pp. 18–22.
16. Krashenninnikov V.S., Khomenko V.P. Izucheniye pokryvayushchey tolshchi kak odin iz vazhneyshikh komponentov inzhenernykh izyskaniy v rayonakh pokrytogo karsta [The study of overlying strata as one of the most important components of engineering research in the areas of covered karst]. *Vestnik MGSU*, 2011, no. 5, pp. 113–119.
17. Bayasan R.M., Golubin S.I., Pustovoit G.P., Proshina T.V., Korotchenko A.G. Optimization of engineering solutions for thermal stabilization of saline permafrost soils at bases of structures by means of two-phase heat pipes. *Proc. VII Minsk International Seminar. Heat pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources*. Minsk, Belarus, 2008. pp. 139–143.
18. Tolmachev V., Leonenko M. Experience in collapse risk Assessment of building on Covered Landscapes in Russia. *Karst management*. Ed. by Ph.E. van Beynen. Dordrecht, Heidelberg, London, New York, Springer, 2011, pp. 75–102.
19. Panchukov N.P. Problemy osvoeniya mestorozhdeniy nerudnykh poleznykh iskopaemykh otkrytym sposobom na territoriyakh rasprostraneniya sulfatnogo karsta [Problems of developing deposits of non-metallic minerals in an open way on the territories of sulphate karst distribution]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2011. no. 3, pp. 131–142.
20. *Permafrost and development of oil and gas areas*. Ed. by E.M. Melnikov, S.E. Grechishev. Moscow, GEOS, 2002. 402 p.

Received: 28 January 2015.