

TRANSFORMATION OF THE RELIEF OF THE AREAS OF DEVELOPMENT OF GAS FIELDS OF THE TAZ PENINSULA

П.В. Большаник, Т.И. Мухамедов

Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск

Автор для переписки: П.В. Большаник, bolschpetr@mail.ru

Для цитирования: Bolshanik PV, Mukhamedyanov TI, 2019. Transformation of the relief of the areas of development of gas fields of the Taz peninsula. Environment dynamics and global climate change. 10:16-27. <https://doi.org/10.17816/edgcc10454>

В статье рассматриваются природные условия Тазовского полуострова с целью выделения основных природных факторов трансформации рельефа. Особое внимание уделяется характеристике многолетне-мерзлых пород и криогенных процессов и явлений, наблюдаемых на этой территории. Дается характеристика горных пород слагающих данную территорию. Оценивается влияние гидрометеорологических условий Тазовского полуострова. Обосновывается влияние антропогенного фактора в трансформации рельефа. Самыми распространенными на территории Тазовского полуострова геоморфологическими процессами, которые активизирует антропогенный фактор, являются морозное пучение грунтов и термокарст, вызванные криогенными процессами, оползневые процессы и эрозия, менее распространенным — дефляция. Предлагается инженерно-геокриологическое районирование территории для разработки трасс газопроводов.

Ключевые слова: Динамика окружающей среды; рельеф; многолетнемерзлые породы; антропогенная трансформация; инженерно-геокриологическое районирование.

The article discusses the natural conditions of the Taz Peninsula in order to identify the main natural factors for the transformation of the relief. Special attention is paid to the characterization of permafrost and cryogenic processes and phenomena observed in this area. The geological structure of the territory is characterized. The influence of the hydrometeorological conditions of the Taz Peninsula is estimated. The contribution of the anthropogenic factor to the transformation of relief is substantiated. The most common geomorphological processes on the territory of the Taz Peninsula triggered by the anthropogenic factor are cryogenic swelling of soils thermokarst, landslide processes and erosion, less common deflation. Geological engineering zoning of the area for the development of gas pipeline routes is proposed.

Key words: Dynamics of the environment; relief; permafrost; anthropogenic transformation; geocryological engineering zoning.

ВВЕДЕНИЕ

Высокоширотное положение Тазовского полуострова, наряду с суровым арктическим климатом, определяет широкое распространение многолетнемерзлых пород (ММП). Мерзлые породы развиты как на побережье Обской и Тазовской губ, так и в центральных участках полуострова. Неоднородность мерзлотно-геологической обстановки, обусловленная разнообразием природных условий в плейстоцене, а также значительные криогенные и посткриогенные преобразования отложений в современный период создают сложные условия для ведения работ по добыче газа.

Основная цель проведенного исследования состояла в разработке обоснования маршрутов трасс газопроводов. Для достижения данной цели были выполнены ряд задач: проведено изучение особенностей и трансформации рельефа

Тазовского полуострова, составлена характеристика геологического строения, оценены гидрометеорологические условия, охарактеризованы многолетнемерзлые породы, описаны наблюдаемые криогенные процессы и явления. Итогом геолого-геоморфологического изучения территории стала разработка схемы инженерно-геокриологического районирования.

Материалы и методы

Комплексное изучение Обско-Тазовского региона было начато в 1940—1950 гг. Начиная с 1995 года, трест «Севморнефтегеофизика» проводит сейсморазведочные работы в Обской и Тазовской губах. Газоперспективность района послужила началом планомерного проведения инженерно-геологических изысканий на акватории Обской и Тазовской губ. Начиная с 1995 года, проводятся инженерно-геологиче-

ские изыскания на площадках бурения газопользовательских скважин.

Основными методами инженерно-геологических изысканий на исследуемой территории являются: непрерывное сейсмоакустическое профилирование в комплексе с эхолотированием и ГЛБО, бурение инженерно-геологических скважин, проботбор и лабораторные исследования проб грунта [ГОСТ, 1996], собственные наблюдения и исследования авторов. Полевые исследования проводились в 2018 г. и состояли из однократных маршрутов картографирования по линии Ямбург — долина р. Поёлаваяха — долина р. Нгаркаяха.

В результате изысканий были получены необходимые сведения об инженерно-геологическом разрезе площадок, изучены физико-механические свойства грунтов, произведены расчеты несущей способности грунтового основания, определены режимные характеристики гидрометеорологических условий.

Для разработки инженерно-геокриологического районирования территории Тазовского полуострова был проведен сопряженный картографический анализ тематических карт, а затем проведено описание районов и уточнение границ на основе фактических наблюдений в районах проведения инженерно-геологических изысканий. Кроме того, использовались материалы из ранее опубликованных работ и технических отчетов (тематический отчет: «Изучение инженерно-геологической информации и выдача исходных технических требований для разработки технических средств для обустройства потенциальных месторождений в Обской и Тазовской губах», отчет ООО «ВНИИГАЗ» «Анализ инженерно-геологических условий и детализация их в обеспечение прединвестиционной фазы обустройства первоочередных месторождений шельфа северных морей», этап 1 «Анализ инженерно-геологических условий и детализация их для месторождений «Северо-Каменномысское», «Каменномысское-море», «Обское»).

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

Географическое положение исследуемой территории.

В административном отношении Тазовский полуостров расположен в Ямало-Ненецком Автономном округе (окружной центр — г. Салехард) Тюменской области РФ. С севера и востока полуостров омывается Тазовской губой, с запада — Обской губой, на юге граница проходит приблизительно в долине р. Хадуттэ

по параллели 67°30' с. ш. На Тазовском полуострове, в междуречье рек Обь и Таз расположено разрабатываемое Ямбургское газоконденсатное месторождение и проходят действующие магистральный газопровод Ямбург — Центр и конденсатопровод Ямбург-Уренгой.

Тектоника и геологическое строение

В структурно-тектоническом плане полуостров расположен в пределах тектонических элементов I порядка Медвежье-Нерутинской структурной ступени и Ямбургско-Уренгойского выступа, осложненных структурами более высокого порядка. Приrost амплитуд тектонических движений за неоген-четвертичное время в пределах Ныдинского, Медвежьего, Уренгойского, Ямбургского валов составил 40—80 м.

Район исследовательских работ расположен в северной части Западносибирской плиты. В ее геологическом строении выделяется три структурно-тектонических этажа:

- нижний структурный этаж — гетерогенный фундамент, представленный герцинскими образованиями;

- верхний — платформенный чехол, сложенный осадочными мезокайнозойскими породами;

- промежуточный параплатформенный структурный этаж, представленный в основном вулканогенно-осадочными триасовыми и нижнеюрскими породами.

Поверхность фундамента, совпадающая с подошвой мезозойско-кайнозойского чехла, местами резко в виде уступов, а участками плавно, погружается от бортов Западносибирской плиты к ее центральному и северным районам. На бортах фундамент залегает на глубинах 2,6—4,0 км, а к северу погружается до 9—11 км.

В тектоническом отношении район исследований расположен на территории Северной тектонической области. Северная область представляет собой ряд крупных линейных структур типа мегавалов, валов и прогибов субмеридионального направления. Перепады глубин между поднятиями и депрессиями обычно составляют 2—3 км, увеличиваясь иногда до 4 км. Амплитуды крупных структур, как положительных, так и отрицательных, колеблются от 1 до 1,5 км. Некоторые структуры осложнены разрывными нарушениями. Амплитуда смещения по разрывам достигает 200—300 м, нарушения прослеживаются вплоть до сеноманских и туронских отложений.

Основную часть плитного комплекса составляют мезо-кайнозойские отложения, имеющие фактически непрерывный и полный его разрез, начиная с триаса. Мощность мезо-кайнозойского осадочного чехла в северной ча-

сти Западносибирской плиты изменяется от 1 до 5 км.

Олигоцен-неогеновый комплекс имеет мощность 200—400 м. Его отложения слагают нижнюю часть неотектонического структурного этажа. В пределах Обской и Тазовской губ в составе этого комплекса выделяются породы, представленные каолиновой формацией мощностью около 150 м.

В ее составе преобладают озерно-аллювиальные белые и светло-серые пески с включениями гравия и гальки, с прослоями коричневых глин и со скоплениями растительных остатков. Отложения насыщены каолинитом, заполняющим пористое пространство между отдельными частицами и обособленным в виде агрегатов, линз и пропластков.

Верхний плиоцен-четвертичный комплекс развит в районе Обской и Тазовской губ в виде сплошного покрова мощностью до 100—360 м. Породы этого комплекса слагают верхнюю часть неотектонического структурного этажа. Рассматриваемые отложения отличаются разнообразием состава, выраженным в присутствии практически полного литологического спектра, начиная от гравийно-галечниковых грунтов до тонких глин [Воскресенский, 2001].

Верхнеплиоцен-эоплейстоценовые отложения в рассматриваемом районе выполняют переуглубленные долины. Данный комплекс на севере Западносибирской плиты объединен в толщу пород ямальской серии.

Верхнеплиоценовые (N_2) породы представлены образованиями преимущественно ледово-морского генезиса. В составе верхнеплиоценового комплекса выделены отложения: Новопортовской толщи (N_2 np), Мыскаменские слои (N_2 mk) и Тиутейской свиты (N_2 tt).

Эоплейстоцен (QE) в исследуемом районе представлен преимущественно диамиктонами с пачками гравийных песков. В составе комплекса выделены две свиты: сорюнтайская и салеямальская, объединенные в салехардскую серию.

Неоплейстоцен (QNP) в исследуемом районе преимущественно представлен ледово-морскими образованиями. Отложения нижнего звена (марресальская свита) залегают на размытой погребенной поверхности салехардской серии и в пределах района развиты слабо.

Верхний неоплейстоцен — голоцен. Верхне-неоплейстоцен-голоценовые образования в районе исследований являются наиболее изученными и с точки зрения инженерно-геологических условий характеризуются наибольшей сложностью. Инженерно-геологические особенности данных отложений, в свою очередь, являются отражением фациальных, кли-

матических условий позднего плейстоцена и их изменений во времени.

На территории в основном распространены сливающийся тип многолетней мерзлоты. Сплошность многолетнемерзлых пород (ММП) прерывается с поверхности лишь под руслами рек и озерами, а также в понижениях рельефа с густыми зарослями кустарников, где наблюдается повышенное снегонакопление. Мощность подрусловых и подозерных таликов может изменяться от 3 до 30 м. В днищах логов, хасыреев и нижних частях склонов, поросших кустарником глубина таликов 2—10 м. Радиационно-тепловые талики встречаются исключительно в субаквальных условиях под озерами размером не менее 1000—1200 м и глубиной, превышающей 1—1,8 м, а так же под руслами наиболее крупных рек.

Мощность ММП на водораздельных равнинах составляет 300—350 м, реже 400 м, в пределах надпойменных и лагунно-морских террас сокращается до 150—250 м, а на поймах крупных рек — до 50 м.

Характерной особенностью криогенного строения четвертичных отложений является высокая льдистость. Высокая льдистость объясняется более низкими температурами и опресненным составом пластовых вод, в связи с существованием в разрезе четвертичных пород до промерзания зоны свободного водообмена. Наибольшей льдистостью обладают поверхностные комплексы отложений в интервале слоя годовых теплооборотов.

Отложения салехардской равнины представлены сложным и многоярусным переслаиванием глинистых и песчаных пород с включением крупнообломочного материала (галька, гравий, валуны). Суглинков, имеющих мореноподобный облик около 50 %, всего глинистых грунтов около 75 %. Суглинисто-глинистые грунты, сильнольдистые до слабольдистых, криогенная текстура слоистая и неполнослоистая. Песчаные отложения слабольдистые, массивной криотекстуры. Вниз по разрезу льдистость уменьшается. Мощность отложений варьирует от 30—50 до 100—130 м.

Разрез казанцевской равнины сложен песками мелкими и пылеватыми, супесями и суглинками. Отложения характеризуются наличием органических веществ. Пески и супеси слабольдистые, массивной криотекстуры. Суглинки льдистые и слабольдистые, порфировидной и неполнослоистой криотекстуры. Вниз по разрезу льдистость уменьшается.

В днищах логов и в пределах древних озерных котловин суглинки перекрыты слоем торфа мощностью от 0,2—1,0 до 2—3 м. Мощность отложений 10—20 м, редко более метров.

Отложения зырянской озерно-аллювиальной равнины представлены песками разной крупности, супесями, суглинками и илами с большим количеством органики. Отложения неотчетливо слоистые, часто ритмичнослоистые. На третьей террасе широкое распространение имеют обширные массивы болотных минеральных грунтов и торфяников.

Супеси и суглинки сильнольдистые, льдистые и слабольдистые, слоистой и неполнослоистой криотекстуры. Пески слабольдистые, массивной криотекстуры. Мощность обычно не превышает 10 м.

Разрез лагунно-морских отложений представлен песками мелкими и пылеватыми, супесями и суглинками, часто заторфованными. Супесчано-суглинистые отложения характеризуются высокой, не уменьшающейся с глубиной льдистостью. Грунты в этом случае имеют слоистую и сетчатую криогенные текстуры. Характер криогенных текстур и высокая льдистость пород по всему разрезу позволяют полагать, что промерзание верхних горизонтов этих отложений происходило одновременно с осадконакоплением. Мощность отложений составляет 5–12 м.

В разрезе аллювиальных отложений участвуют пески разной крупности, супеси, суглинки и глины, заиленные, с включениями гравийно-галечниковых пород. В долинах мелких рек и ручьев преобладают пески с большей иловатостью, чем в долинах крупных рек, и характерны суглинки и темные глины. Русловые отложения (береговые и русловые косы, прибрежные отмели) на всех реках представлены песками различной крупности. Пески слабольдистые, массивной криотекстуры. Супеси, суглинки и глины льдистые и слабольдистые, слоистой криотекстуры. Мощность отложений до 3–5 м и более (в зависимости от порядка реки).

Болотным отложениям, представленным преимущественно средне- и хорошо разложившимся торфом с единичными обломками древесины, характерны атакситовая и порфировидная криотекстуры, причем более 50 % объема мерзлой породы занимает лед. По льдистости торфа следует относить к сильнольдистым породам. Мощность отложений от 0,2–0,5 до 4–5 м.

Средняя годовая температура ММП в пределах полосы трассы изменяется в широком диапазоне. Основным фактором, формирующим неоднородность температурного режима грунтов, является в данном регионе пространственная неравномерность мощности снежного покрова, зависящая от микрорельефа местности и растительности. Растительный покров оказывает небольшое влияние на температурный режим грунтов, его роль проявляется косвенно, через

влияние на накопление снежного покрова: наличие или отсутствие растительности приводит к изменению мощности снега в несколько раз.

На междуречьях средняя годовая температура ММП варьирует в интервале от минус 3 °С до минус 7 °С. Наиболее низкие температуры ММП (от минус 5 °С до минус 7 °С) характерны для водораздельных поверхностей салехардской морской равнины, где снежный покров имеет незначительную мощность (0,1–0,2 м) и зачастую отсутствует или слабо развит растительный покров. Среднегодовые температуры ММП (от минус 3 °С до минус 5 °С) характерны для водораздельных поверхностей казанцевской прибрежно-морской и зырянской озерно-аллювиальной равнин, и для лагунно-морской террасы.

Среднегодовая температура ММП (от минус 1,5 °С до минус 3 °С) характерна для поймы рек, древних эрозионных ложбин мелких ручьев и рек. Наиболее высокие среднегодовые температуры (от 0,5 °С до минус 1,5 °С) — в руслах крупных рек и озер, на локальных участках пойм, где развиты кустарниковые заросли высотой до 2 м и более, а высота снега достигает значительной величины.

Рельеф и гидрография

На территорию полуострова заходит северная часть Ненецкой возвышенности, которая характеризуется сложным многоярусным рельефом. Около 70 % площади занимают возвышенные пологоувалистые и холмистоувалистые слабозаболоченные морская, прибрежно-морская и озерно-аллювиальная средне- и верхне-четвертичные равнины с абсолютными отметками от 45 до 90 м. На востоке полуострова распространены плоские и пологоувалистые сильнозаболоченные поверхности прибрежно-морских и лагунно-морских террас с абсолютными отметками 10–40 м. Такие же отметки имеют и надпойменные террасы крупных рек.

В рельефе района четко выражены две морские равнины [СП, 2004; Козлова, 2013], озерно-аллювиальная равнина и лагунно-морская терраса, в речных долинах развита только пойма. Наиболее древним геоморфологическим элементом является салехардская морская равнина (m,mg Пsh). Рельеф равнины полого-увалистый, с абсолютными отметками 45–70 м. Поверхность равнины интенсивно расчленена долинами рек, ручьев и временных водотоков и системой логов и оврагов, слабо заторфована и заозерена.

Прибрежно-морская казанцевская равнина (m,pm Пkz) распространена на большей части исследуемой территории. Абсолютные высоты

равнины достигают 50 м. Уступ, отделяющий ее от салехардской поверхности сильно выположен и часто неразличим. Поверхность казанцевской равнины плоская, в разной степени расчлененная долинами рек, временными водотоками и оврагами. Участки, не затронутые эрозией, имеют совершенно плоскую поверхность и постоянность высотных отметок. Водоразделы отличаются широким развитием заболоченности и плоскобугристых торфяников. Поверхность характеризуется относительно большой заозеренностью.

Зырянская озерно-аллювиальная равнина (Ia III_{zr}) встречается небольшими участками, вблизи побережья. Рельеф равнины плоский, реже полого-увалистый, поверхность сильно заболочена и заозерена. На поверхности широко развиты термокарстовые формы рельефа.

Молодая лагунно-морская терраса (Im IV) развита лишь на севере, вдоль побережья Тазовского полуострова. Пойма (a IV) отчетливо подразделяется на высокую и низкую. Для высокой поймы характерны веера блуждания русла, прирусловые валы и обилие старичных озер. Низкая пойма тяготеет к прирусловой части днищ долин и постепенно переходит от высокой поймы в прирусловые песчаные отмели без растительности и с четко выраженными следами русловой деятельности, рябью течения и гривистым рельефом. Ориентировка грив и валов отражает процесс меандрирования водного потока. Низкая пойма сложена илисто-песчаными грунтами и в паводковый период заливается водой. На всех геоморфологических уровнях с поверхности распространены биогенные отложения (b IV) мощностью 0,2–5,0 м.

Наибольшая густота расчленения (до 1,5–2,5 км/м²) отмечена на западе и севере полуострова; глубина эрозионного вреза достигает 30–50 м. В центральной части полуострова густота и глубина расчленения сокращаются до 0,3–1,0 км/м² и 10–25 м соответственно. Здесь отмечены высокие заболоченность (35 %) и заозеренность (20 % – 25 %) поверхности.

Большинство озер имеет термокарстовое происхождение. В центральной и южной частях полуострова много остаточного-термокарстовых котловин. В верховьях реки Хадуттэ, в бассейне реки Еняха и в районе озера Хантятто широко распространены линейно-ориентированные гряды.

Неоднородность мерзлотно-геологической обстановки, обусловленная разнообразием природных условий в плейстоцене, а также значительные криогенные и посткриогенные преобразования отложений в современный период определяет геокриологические условия района работ как сложные [СП, 1997].

Распространение ММП на берегах носит сплошной характер. Мерзлые породы развиты на всех геоморфологических уровнях, начиная с лайд и низких пойм рек до террас. Многолетнемерзлые породы залегают непосредственно с поверхности, ниже слоя сезонного протаивания. В пределах сухопутных районов мощность ММП может составлять 200–350 м. На лайдах она может понижаться до 150–200 м. В прирусловых частях, впадающих в губу рек, мощность ММП сокращается до 40–50 м.

Основными факторами природной среды, обуславливающими формирование слоя сезонного протаивания, являются: литологический состав и свойства грунтов, растительный покров, рельеф, дренированность поверхности. Мощность сезонного слоя варьирует от 0,3 до 2,5 м. Максимальная мощность сезонного слоя 2,0–2,5 м, встречается на залесенных, заливаемых участках пойм, где проявляется тепляющее влияние поверхностных и подземных вод. Минимальная глубина сезонного протаивания 0,3–0,6 м, отмечается на торфяниках и заторфованных, часто заболоченных участках с мощным моховым покровом [Тумель, 2016].

В пределах водораздельных поверхностей с кустарничково-мохово-лишайниковой тундрой, сложенных горными породами, мощность сезонного слоя колеблется в пределах от 0,5–0,8 до 1,0–1,2 м. Незалесенные участки пойм, интенсивно выхолаживаемые в зимнее время, характеризуются примерно тем же порядком мощности сезонного слоя, что и водораздельные поверхности.

На холмах и грядах, сложенных с поверхности мелкими песками, мощность сезонного слоя может возрастать до 1,5–1,8 м. На закустаренных участках склонов и в днищах малых рек и логов глубина сезонного протаивания, как правило, не превышает 0,8–1,0 м вследствие задержки начала протаивания из-за позднего схода снежного покрова.

Многолетние бугры пучения распространены на всех геоморфологических уровнях, за исключением сильно расчлененных участков, прилегающих к побережью Обской губы. Они представлены тремя типами. К первому относят торфяные бугры пучения, расположенные в заболоченных понижениях или в пределах плоских торфяников. Бугры имеют в плане овальную форму, высота их редко превышает 3–4 м. Максимальная льдистость отмечается либо в торфе, либо в минеральных грунтах на контакте с перекрывающим их торфом. Здесь обычно формируется льдогрунтовое ядро мощностью до 2–3 м [Гребенец, 2007].

Бугры второго типа (булгунняхы) расположены в хасырях [Геоморфологический..., 2002]

или обширных заболоченных понижениях на междуречных пространствах. Они встречаются в основном в центральной и восточной частях области. Высота бугров достигает 8—10 м, диаметр основания изменяется в пределах от 30 до 100 м и более. Бугры сложены, как правило, песками и супесями с прослоями суглинков. С поверхности часто залегает торф мощностью до 1 м. Ледовое или льдогрунтовое ядро располагается на различных глубинах и может иметь мощность до 6—10 м, реже более.

Бугры третьего типа (сопки) имеют максимальные размеры, встречаются локально на участках выходов палеогеновых глин. Высота их может достигать 20—30 м (сопки Парне-Седе, Анораха-Седе и др.). Тела бугров сложены сильнольдистыми трещиноватыми глинами, ледяного или льдогрунтового ядра не наблюдается.

К формам криогенного пучения относят также линейно-ориентированные гряды высотой до 10—15 м и протяженностью до 0,7—0,8 км. Криогенное строение их идентично строению бугров третьего типа и их можно совместно рассматривать как парагенетические образования.

Сезонное пучение проявляется широко на всех геоморфологических уровнях, в различных по составу породах от глин до пылеватых песков. Этим процессом обусловлено образование пятен-медальонов (в сочетании с морозным растрескиванием пород), мелкобугристого рельефа и сезонных бугров пучения высотой до 1 м.

Термокарстовые формы имеют широкое, но неравномерное распространение. Они сосредоточены в основном в центральной, южной и восточной частях области. Мелкие термокарстовые формы характерны для плоских водораздельных пространств, пологих склонов долин рек и ручьев. Они представлены межполигональными канавами, мочажинами, западинами или небольшими озерами. Более крупные термокарстовые озера приурочены также к слабо дренированным поверхностям. Их морфология зависит от состава и льдистости вмещающих отложений, а также от возраста озер. Наибольшее количество озер возникло при вытаивании сегрегационных льдов. Глубина их редко превышает 1,5—2 м [Трофимов, 1980].

Провально-котловинные формы термокарста отмечаются в пределах линейно-грядового рельефа и бугров пучения. Глубина их может достигать 6—10 м. Хасыреи (термокарстовые котловины, образовавшаяся при протаивании эпигенетически промёрзших высокольдистых отложений и пластовых залежей льда) [Лейбман, 2001] приурочены, как правило, к крыльям положительных новейших структур, достигающих в диаметре 1 км и более, часто террасированы. Они сосредоточены в центральной и западной

частях области. В настоящее время активный термокарст в естественных условиях имеет весьма ограниченное распространение и малоинтенсивен.

Морозобойное растрескивание и связанные с ним полигонально-жильные структуры развиты на всей территории полуострова, как в минеральных, так и торфяных грунтах, причем повторно-жильные льды в минеральных грунтах распространены к северу от широтного отрезка реки Хадуттэ, южнее они встречаются только в пределах торфяников. Размеры полигонов различные, в среднем составляют 12—20 м в поперечнике. Мощность ледяных жил невелика, в среднем 3—4 м, на севере области до 8 м. Сингенетические жильные льды в минеральных грунтах встречаются севернее 70° с. ш., южнее они распространены только в торфяниках. Эпигенетические ледяные жилы в торфяниках распространены повсеместно, особенно в центральной и северной частях области. Также широкое распространение имеют псевдоморфозы по повторно-жильным льдам; изначальное-грунтовые полигонально-жильные структуры встречаются на выпуклых минеральных участках. Мощность жил составляет 1,0—2,0 м. В пределах Тазовской области полигонально-жильный рельеф находится во всех стадиях развития: от стадии роста до стадии разрушения [Соломатин, 2017].

Эрозионные и термоэрозионные формы (овраги, балки, промоины) развиты в основном на западе и севере области. Общая площадь участков с развитой овражно-балочной сетью не превышает 10 % — 15 % площади области. В настоящее время многие овраги развиваются.

Эоловые процессы развиты преимущественно по берегам рек и бортам оврагов в западной, центральной частях полуострова на незадернованных участках, сложенных песчаными породами. Среди эоловых форм на водораздельных равнинах и террасах преобладают отрицательные (котловины, воронки, канавы выдувания), а на поймах положительные (валы, бугры, мелкие дюны).

Солифлюкционные процессы, локально развиты в западной и северной частях полуострова на суглинках и глинах, формируют мелкие натечные формы в виде языков и небольших террас. Заболачивание достаточно широко распространено в южной и восточной частях полуострова.

Гидрометеорологические условия

Климат данной территории очень суров. Зима продолжительная, холодная. Лето сравнительно короткое, поздние весенние и ранние,

осенние заморозки, короткие переходные сезоны весна и осень.

Холодное Карское море, являясь источником холода летом и сильных ветров зимой, увеличивает суровость климата. Его влияние проявляется в незначительном понижении летних температур. В холодное время года при преобладании антициклонической, малооблачной погоды имеет место сильное выхолаживание материка.

Зона проектирования относится к I району, I Г подрайону климатического районирования для строительства согласно СНиП 23—01-99 [СНиП, 1999].

Климатическая характеристика принята по ближайшим ГМС — Тазовское (Хальмер-Седе) и Новый Порт [Справочник..., 1968].

В целом для этого района характерен резко континентальный климат с суровой продолжительной зимой и непродолжительным прохладным летом, короткими переходными — весенним и осенним сезонами. Безморозный период очень короткий. Резкие колебания температуры в течение года и даже суток.

Среднемесячная температура воздуха наиболее холодного месяца — январь (минус 26,7 °С), а самого жаркого — июля (13,4 °С). Абсолютный минимум температуры приходится на февраль (минус 60 °С), абсолютный максимум — на июнь-июль (32 °С). Продолжительность безморозного периода 84 дня, устойчивых морозов 206 дней. Дата первого заморозка осенью — 8 сентября, последнего весной — 15 мая. Рассматриваемый район относится к зоне избыточного увлажнения. Годовое количество осадков составляет, в среднем 394 мм. Максимум осадков наблюдается в июле и в августе (62 мм), минимум в июне (46 мм). Осадков за год выпадает 394 мм, из них с ноября по март 109 мм, а с апреля по октябрь 285 мм, соответственно за теплый период осадков выпадает больше чем за холодный. Среднее количество дней с осадками — 180. Дата наступления средних суточных температур выше и ниже 0 °С — 31 мая и 1 октября соответственно [Козлова, 2013].

Средняя дата образования устойчивого снежного покрова 10 октября, а его разрушение 2 июня соответственно. Среднеголетняя максимальная высота снежного покрова 30 см при плотности 0,26 г/см³ на открытом пространстве. Среднегодовое число дней с метелями — 83, с туманом — 46.

Режим ветра в течение всего года складывается в зависимости от циркуляционных факторов и местных условий. На направление ветра в отдельных пунктах существенное влияние оказывают местные условия: неровности рельефа, направление долин рек, различные препятствия.

Преобладающими направлениями ветров в течение года являются ветры южного, юго-западного, северо-западного и северного направлений. Средняя годовая скорость ветра составляет 6,2 м/с, за январь 6,9 м/с, за июль 5,3 м/с. Средняя температура за год минус 9,3 °С, абсолютный минимум за год минус 60 °С, абсолютный максимум за год 32 °С. Дата первого заморозка на почве 23 августа, дата последнего заморозка на почве 22 июня, продолжительность безморозного периода 61 день.

Исследуемый район находится в пределах северной части криолитозоны Западной Сибири и характеризуется сплошным распространением многолетней мерзлоты, как по площади, так и по вертикали, низкими температурами многолетнемерзлых пород, большой мощностью промерзания геологического разреза и его ярко выраженной криологической слоистостью.

Растительность и ландшафты

Исследуемый район расположен в природных зонах тундры и лесотундры. Открытые дренированные пространства заняты кустарничково-мохово-лишайниковой растительностью. Заросли кустарников высотой до 1—2 м отмечаются в нижних частях склонов, днищах хасыреев и небольших водотоков. На юге полуострова в речных долинах наряду с кустарниками встречаются березово-лиственничные редколесья.

ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ

Антропогенная трансформация рельефа и активизация экзогенных процессов

Процессы трансформации рельефа, вызванные изменением температурного режима многолетнемерзлых пород описаны в ряде работ аналогичных территорий [Евдокимов, 2006; Юрьев, 2009; Хомутов, 2016; Печкин, 2018].

Разработка месторождений полезных ископаемых на территории Тазовского полуострова сопровождается строительством инфраструктуры для разведки и добычи, средств транспортировки (трубопроводы, автодороги, линии электропередачи) и промышленно-жилых объектов [Козлова, 2013]. Все эти виды антропогенного воздействия создают давление на окружающую среду и ее трансформацию, особенно в условиях слабой устойчивости геосистем [Кружалин, 1992].

На исследуемой территории наблюдается активизация эрозионных процессов. Следующие



Рис. 1. Прокладка газовой трубы над долиной малого водотока. На заднем плане термокарстовое озеро
Fig. 1. Laying a gas pipe over the valley of a small watercourse. In the background is thermokarst lake

виды хозяйственной деятельности послужили причиной образования овражной эрозии:

- Выкапывание различных ям, выемок, траншей, подрезка склонов;
- Некачественное проведение земляных работ — недостаточная утрамбовка, заделка грунта, колеи от гусеничных машин;
- Строительство дорог, устройство тропинок между и вдоль склонов.

«При строительстве промышленных и жилых объектов (вахтовые поселки, промбазы, газораспределительные станции, железнодорожные станции и другие объекты инфраструктуры) предварительно подготавливается площадка: уничтожается почти полностью растительный

покров, проводятся планировочные работы (выравнивается рельеф). В результате происходит изменение поверхностного и подземного стока, изменение состояния многолетнемерзлых пород за счет оттаивания — промерзания, изменение направленности и интенсивности комплекса криогенных процессов» [Козлова, 2013].

Кроме эрозии, на территории Тазовского полуострова наблюдается дефляция. Уничтожение растительного покрова в местах заложения карьеров на песчаных отложениях приводит к возникновению очагов дефляции. Сильный ветер наносит большой ущерб газовой промышленности: разрушает средства связи, линии электропередачи, различные постройки.

В холодный период усиление ветра сопровождается метелями, снежной коррозией и снежными заносами, затрудняющими работу транспорта [СНиП, 1985].

Оползни, возникающие в процессе строительства, эксплуатации сооружений и хозяйственном использовании территорий, могут соответствовать любому типу из возможных механизмов смещения. Наиболее часто они имеют характер оползней сдвига (скольжения) и вязкопластических, а в редких случаях являются оползнями выдавливания, гидродинамического разрушения (суффозионными, гидродинамического выпора) и внезапного разжижения.

Возникновение техногенных оползней связано в основном с устройством различных временных (строительных) и постоянных выемок (котлованов, траншей, дорожных выемок и полувыемок), неудачной планировкой рельефа и перегрузкой малоустойчивых элементов склонов (особенно тел оползней в их головных частях), а также с дополнительным увлажнением грунтового массива на склонах при нарушении поверхностного стока и снятии растительного покрова [Большаник, 2017].

Максимальная опасность криогенного оползания сохраняется на вогнутых склонах всех геоморфологических уровней. Опасность формирования крупных оползней на плоских склонах повышается при продвижении от низких геоморфологических уровней к высоким. Опасность формирования мелких криогенных оползней скольжения на условно горизонтальных поверхностях растет при увеличении расчлененности овражно-балочной сетью и долинами малых водотоков независимо от геоморфологического уровня.

«Площадные нарушения возникают при строительстве вахтовых поселков, промбаз, газоперекачивающих станций, при заложении кустов скважин, при разработке карьеров и других сооружений. В данной ситуации нарушается тепло-влажностный режим грунта, что влечет за собой изменение глубины сезонного протаивания — промерзания и, следовательно, активизацию процессов заболачивания, пучения, неравномерной осадки грунта и развитие процессов термоэрозии» [Козлова, 2013].

Газодобывающие скважины, в условиях сплошного распространения многолетнемерзлых пород, распространяют свое влияние на большие площади различных форм рельефа.

Вокруг ствола скважины образуется ареал оттаивания, грунт проседает, а понижение заполняется водой, что стимулирует развитие термокарстовых процессов (Рис. 1). При вторичном промерзании этого ареала уже начинают развиваться процессы пучения, приводящие

к деформации ствола буровой. В конечном итоге такое резкое изменение направленности и интенсивности антропогенно-криогенных процессов может привести к аварийным ситуациям.

Пучение пород при замерзании и уменьшение объема грунта при оттаивании являются основной причиной деформации сооружений, поскольку в процессе промерзания грунта происходит миграция влаги, главным образом пленочной, к участкам промерзания. В результате замерзания мигрирующей влаги в грунте возникают линзы, прослойки и другие формы включений льда.

Физически морозное пучение выражается в неравномерном поднятии промерзающего грунта, причем напряжения и деформации, возникающие в процессе пучения, оказывают существенные воздействия на фундаменты и наземные конструкции сооружений.

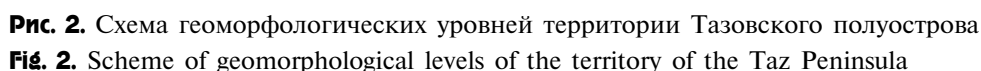
Наиболее типичными видами антропогенных изменений рельефа являются: колеи от автотранспорта, отсыпки и насыпи грунта. Колеи крупных транспортных средств на поверхности террас достигают глубины до 0,5 м, что приводит к концентрации воды в линейных понижениях, их заболачиванию и заилению, либо активизации линейной эрозии вдоль них, разрушению мохово-лишайникового покрова. Различные укрепительные сооружения в виде отсыпок и насыпей грунта испытывают размыв склонов, оползание переувлажненного песка [Булдович, 2000]. Что в свою очередь вызывает сокращение площади или исчезновение озер, образование мелких луж и переувлажненных оголенных участков на месте засыпанных водоемов и подтоплению антропогенных сооружений.

Исходя из описанных природных условий, оказывающих прямое и косвенное воздействие на линии газопроводов, выделяются две группы дефектов, вызываемых физико-географическими факторами и процессами: коррозионные дефекты и изменение положения оси газопроводов.

Изменение проектного положения оси газопровода связано со следующими дефектами: всплытие участков газопровода в обводненном грунте с выходом на поверхность воды; выпучины газопровода из-за морозного пучения; провисы и просадки газопровода возникающие в результате оттаивания вечномерзлых грунтов.

Инженерно-геокриологическое районирование.

Для обоснования маршрутов газопроводов, необходимо знание особенностей географии многолетнемерзлых пород. Работы по карто-



- литологический состав грунтов, их льдистость и криогенная текстура;
- распространение ММП;
- средняя годовая температура ММП;
- криогенные процессы и образования.

Для планирования работ по освоению территории Тазовского полуострова для добычи полезных ископаемых было проведено инженерно-геокриологическое районирование, которое содержит информацию об основных характеристиках ММП, необходимую для принятия проектных решений в сложных условиях строительства:

- геоморфологический уровень;
- генетический тип отложений:

- среднечетвертичные морские, ледово-морские отложения (m,gm IIsh);
- верхнечетвертичные морские, прибрежно-морские отложения (m,pm IIIkz);
- верхнечетвертичные озерно-аллювиальные отложения (la IIIzr);

- современные лагунно-морские отложения (Im IV);
- современные аллювиальные отложения (a IV);
- современные болотные отложения (b IV).

Многим геоморфологическим уровням свойственны общие черты инженерно-геокриологических условий. Это, прежде всего, сплошное распространение преимущественно низкотемпературных, льдистых, местами сильнольдистых ММП, почти повсеместное залегание их под маломощным (до 1,0—2,0 м) слоем сезонного оттаивания пород, широкое развитие повторно-жильных и пластовых льдов, проявление на поверхностях термокарстовых форм рельефа и многолетних бугров пучения.

Глубоко врезанные долины водотоков (глубиной до 30—50 м) окаймляются склонами крутизной 6° и больше, на которых могут развиваться термоэрозия, криогенные оползни и сплывы, солифлюкция. В слагающих борта долин отложениях возможно залегание около поверхности пластовых льдов. При их естественном (подмыв берегов) или искусственном (срезка грунта) обнажении по льдам начинают формироваться термоэрозионные цирки и ниши.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Горные породы (верхнеплейстоцен-голоценовые) исследуемой территории являются наиболее изученными и с точки зрения инженерно-геологических условий характеризуются наибольшей сложностью. Их особенности являются отражением фациальных, климатических условий позднего плейстоцена и голоцена и их изменений во времени.

На территории полуострова господствуют низменности, которые представлены морскими, прибрежно-морскими, озерно-аллювиальными равнинами, прибрежно-морскими и лагунно-морскими террасами.

Сплошной характер распространения ММП прерывается лишь под руслами рек и озерами, а также в понижениях рельефа с густыми зарослями кустарников. Характерной особенностью криогенного строения четвертичных отложений является высокая льдистость.

В результате антропогенного выравнивания рельефа происходит изменение поверхностного и подземного стока, изменение состояния многолетнемерзлых пород за счет процессов оттаивания — промерзания. Резкое изменение направленности и интенсивности антропогенно-криогенных процессов вблизи скважин может привести к аварийным ситуациям. Возникновение техногенных оползней связано в основном с устройством отрицательных форм

рельефа, неудачной планировкой рельефа и перегрузкой склонов, а также с дополнительным увлажнением грунтового массива на склонах при нарушении поверхностного стока и снятии растительного покрова.

Интенсивно процессы термокарста развиваются на участках хозяйственного освоения в процессе разведки газовых месторождений. Процессы термокарста отмечены на слабодризируемых, заболоченных участках.

Трассу газопровода планируется проложить по плоской равнине, пересекаемой мелкими водотоками. Территория проектируемой трассы характеризуется глубоким залеганием коренных пород, четвертичные породы представлены отложениями в основном озерно-аллювиального генезиса. Трасса проектируемого газопровода проложена в зоне сплошного распространения ММП со среднегодовой температурой от минус 1,5 °С до минус 3 °С. Наиболее суровые геокриологические условия характерны для нижних частей склонов и днищ долин водотоков. Наиболее неблагоприятными физико-географическими процессами для строительства газопровода в пределах изученной территории являются процессы мерзлотного характера, оползневые процессы и солифлюкция.

Характер проявления геоэкологических проблем, вследствие действия неблагоприятных геоморфологических процессов на территории Тазовского полуострова неоднороден. Самыми распространенными по площади являются морозное пучение грунтов и термокарст, вызванные криогенными процессами, оползневые процессы и эрозия, менее распространенным — дефляция.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристархова ЛБ, 1996. Опыт специального эколого-геоморфологического картографирования нефтегазоносных территорий, осложненных активными разрывными нарушениями. В: Проблемы специализированного геоморфологического картографирования, Волгоград.
2. Ахромеев ЛМ, 2002. Геоморфологический словарь-справочник. П.Г. Шевченко (ред.) Издательство Брянского государственного университета, Брянск.
3. Большаник ПВ, Недбай ВН, 2017. Геоэкологические проблемы трансформации рельефа урбанизированных территорий (на примере городов Западной Сибири). ИНФРА-М, Москва: 241 с.
4. Булдович СН., Гарагуля ЛС, Оспенников ЕН, 2000. Опасные процессы при разработке нефтегазовых месторождений, с. 191-198. В: Природные опасности России. Гео-криологические опасности, Москва: КРУК.
5. Васильчук ЮК, Трофимов ВТ, Зайцев ВН, Тумской ВЕ, Хименков АН, 2011. Характеристика грунтов криогенного генезиса, р. 397—407. В: В.Т. Трофимов, Е.А. Вознесенский,

- и В.А. Королев (ред.), Инженерная Геология России. Грунты России. Москва: КДУ.
6. Воскресенский КС, 2001. Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России. Изд-во Географического факультета МГУ, Москва: 262 с.
7. Гаранкина ЕВ, Мухаметшина ЕО, Шеремецкая ЕД, 2015. Трансформация рельефа западного побережья Ямала в результате строительства линейных сооружений за последние 10 лет. В: Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике, Москва.
8. Гребенец ВИ, 2007. Негативные последствия деградации мерзлоты. Вестник Московского Университета. Серия 5, География. 3:18–21.
9. Грунты. Классификация, 1995. ГОСТ 25100-95.
10. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний, 1996. ГОСТ 20522-96.
11. Грязнов ОН, Петрова ИГ, Стороженко ЛА, 2017. Геоэкологическое районирование освоенных территорий. Известия УГГУ. 4:7–13.
12. Демедюк ЛМ, Горская ГС, Данилова НС, 1983. Вопросы инженерно-геологического картирования трасс линейных сооружений, с. 19-28. В: Вопросы региональной и инженерной геокриологии, Москва: Стройиздат.
13. Евдокимов ВИ, 2006. Морфодинамика линейных насыпей в условиях Севера Западной Сибири. Геоморфология. 2: 34–42.
14. Защита строительных конструкций от коррозии, 1985. СНиП 2.03.11-85.
15. Инженерно-геологические изыскания для строительства, 1997. СП 11-105-97.
16. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений, 2004. СП 11-114-2004.
17. Козлова АЕ, 2013. Антропогенное преобразование рельефа в условиях хозяйственного освоения территории полуострова Ямал. Известия РАН. Серия географическая. 4:87–94.
18. Кружалин ВИ, Лукашов АА, Симонов ЮГ, Симонова ТЮ, 1992. Геоморфологические исследования в решении экологических проблем. Вестник МГУ. Серия 5. География. 4:8–14.
19. Лейбман МО, 2001. Динамика слоя сезонного оттаивания пород и методика измерения его глубины в различных ландшафтах Центрального Ямала. Криосфера Земли. 5:17–24.
20. Осадчая ГГ, Тумель НВ, Королева АМ, 2016. Морфологическая структура криогенных ландшафтов Большеземельской тундры. Криосфера Земли. 17:14-23. doi:10.21782/KZ1560-7496-2016-3(14-23)
21. Печкин АС, Романов АН, Калачев АВ, Красненко АС, 2018. Сезонная динамика температурного режима тундровых почв Надымской провинции. Научный вестник Ямало-Немецкого автономного округа. Арктическая биология, экология, медицина, природопользование. 1:34-39.
22. Соломатин ВИ, 2017. Геокриология: подземные льды: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры. Издательство Юрайт, Москва: 411 с.
23. Справочник по климату СССР, Омская и Тюменская области, 1968. Гидрометеиздат, Ленинград: 276 с.
24. Строительная климатология, 1999. СНиП 23-01-99.
25. Трофимов ВТ, Бадю ЮА, Дубиков ГИ, 1980. Криогенное строение и льдистость многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской плиты. Изд. МГУ, Москва: 141 с.
26. Хомутов АВ, Лейбман МО, 2016. Оценка опасности проявления криогенных оползней скольжения в тундре центрального Ямала. Криосфера Земли. 20:49-60.
27. Чехина ИВ, Ривкин ФМ, Корейша ММ, Попова АА, 2004. Построение оценочных карт природных рисков проявления криогенных процессов на побережье полуострова Варандей. В: Криосфера нефтегазоносных провинций Тюмень.
28. Юрьев ИВ, 2009. Проблемы эксплуатации объектов газового комплекса в береговой зоне западного Ямала. Криосфера Земли. 13:46–54.

Поступила: 09.11.2018

Одобрена: 20.05.2019

Принята: 20.06.2019