



М.Н. Железняк
д-р геол.-мин. наук
Институт мерзлотоведения
им. П.И. Мельникова СО РАН
директор
fe@mpi.ysn.ru



С.И. Сериков
Институт мерзлотоведения
им. П.И. Мельникова СО РАН
научный сотрудник
grampus@mpi.ysn.ru



М.М. Шац
канд. геогр. наук
Институт мерзлотоведения
им. П.И. Мельникова СО РАН
ведущий научный сотрудник
mmshatz@mail.ru

Газотранспортная система «Сила Сибири» Современные проблемы и перспективы

¹Россия, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная 36.

Освещены проблемы, возникающие на различных стадиях реализации проекта создания газопровода «Сила Сибири» в Восточной и Юго-Восточной Сибири. К ним отнесены выбор варианта трасс трубопроводов, способа прокладки трубы, финансовое обеспечение проектов в современной экономической обстановке и его вероятная приоритетность. Показаны достоинства и проблемность выбранного варианта трассы в конкретных инженерно-геологических условиях, подтверждена целесообразность применения подземного способа прокладки труб

Ключевые слова: выбор вариантов трассы трубопровода; способ прокладки трубы; финансовое обеспечение проекта

Газовая промышленность – одна из важнейших отраслей экономики РФ, имеющая ведущее значение в создании материально-технической базы страны, стоящей на первом месте в мире по разведанным запасам природного газа и на втором – по объему его добычи. На территории

России расположено 24 хранилища природного газа, а протяженность магистральных газопроводов составляет 155 тыс. км.

Природный газ является высокоэффективным энергоносителем и оказывает прямое воздействие на увеличение выпуска промышленной продукции, рост производительности труда

и снижение удельных расходов топлива. В настоящее время идет бурное развитие трубопроводного транспорта, что вызвано интенсивной добычей природного газа и необходимостью доставки его к потребителю наиболее экономичным способом. Транспортировать газ по трубопроводам удобнее и дешевле, чем другими средствами доставки, при этом обеспечивается непрерывное и практически без потерь поступление к потребителю непосредственно из месторождений или подземных хранилищ.

Уже почти 15 лет в различных регионах Сибири проектируются, а частично уже создаются несколько магистральных газопроводов, являющихся важной составляющей государственной политики, ориентированной на повышение энергетической безопасности, усиление межрегиональных топливно-энергетических связей, решение задач разных территориальных уровней. Создание на востоке, западе и юге Сибири России развитой энергетической инфраструктуры в виде межгосударственных газо-, нефтепроводов, ЛЭП должно снизить стоимость энергоносителей, повысить надежность энергоснабжения как потребителей азиатской части РФ, так и стран АТР. К числу одного из важнейших условий всех упомянутых преобразований относится создание двух новых мощных газотранспортных систем (ГТС) – «Сила Сибири» – «восточный маршрут» и «Алтай» – «западный маршрут». В последнее время к ним прибавилась третья ГТС по поставкам природного топлива в КНР, принципиальное решение о создании которой на высшем государственном уровне было принято в августе 2015 г. [21].

Целью представляемой статьи является анализ проблем, возникающих на различных стадиях реализации проекта газотранспортной системы (ГТС) «Сила Сибири». К ним отнесены: выбор вариантов трасс трубопроводов, способа прокладки трубы и финансовое обеспечение проектов в современной экономической обстановке и их вероятная приоритетность. В данной публикации мы постараемся показать не только основные проблемы, но и пути их предупреждения и минимизации ущерба.

Выбор варианта трассы и ее эколого-геокриологические условия

Особое значение для реализации проекта имеет конкретное пространственное расположение ГТС. Для «Силы Сибири» с самого начала рассматривались два возможных варианта маршрута прокладки газовой трубы [20]. В качестве основного был принят «северный» вариант маршрута общей длиной 2965 км, предусматривающий размещение значительной части ГТС

вдоль нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан («ВСТО»).

Решение руководства «Газпрома» и «Транснефти» о возможности прокладки газовой трубы вдоль трассы «ВСТО» логично, оно удешевит работы за счет экономии на землеотводах, инфраструктуре. При этом трасса ГТС «Сила Сибири», особенно ее часть, непосредственно прилегающая к «ВСТО», в инженерно-геологическом отношении изучена сравнительно полно [9], что позволило уже на стадии проектирования учесть сложную ландшафтную структуру с высокой сейсмичностью и динамичностью многолетнемерзлых пород (ММП). Это дает возможность заранее предусмотреть уже разработанные для «ВСТО» необходимые природоохранные и компенсирующие мероприятия, реализация которых существенно уменьшит ущерб от освоения.

Трасса газопровода проходит в экстремальных природно-климатических условиях, преодолевает заболоченные, горные и сейсмоактивные территории, участки с вечномерзлыми и скальными грунтами. Абсолютные минимальные температуры воздуха на территории прохождения газопровода «Сила Сибири» составляют зимой от минус 62 °С в Республике Саха (Якутия) до минус 41 °С на территории Амурской области.

Особенности распространения и мощность многолетнемерзлых толщ по трассе ГТС, судя по имеющимся материалам [2, 3, 4, 6, 8, 13, 18, 22], зависят от состава и свойств горных пород нижнего кембрия – доломитов и известняков. Обычно отсутствие ММП или их малая мощность на водораздельных пространствах при повсеместном развитии в долинах рек и на их северных склонах. Эта закономерность нарушается лишь в связи со специфическими геотектоническими и орографическими условиями, когда ММП отсутствуют не только на водоразделах, но и на склонах южной экспозиции, кроме их подножий.

В днищах долин наблюдается большая прерывистость мерзлых толщ, зависящая в основном от фильтрующих свойств покровных отложений. Талики развиты на участках закарстованных, грубообломочных и песчано-галечных грунтов. Мощность ММП в днищах долин обычно составляет несколько десятков метров, а ее увеличение до 100–150 м наблюдается только в днищах узких и глубоко врезаемых долин под воздействием устойчивой орографической инверсии, и на севере Лено-Алданского плато, вследствие общего повышения суровости климата. Причиной широкого развития таликов на площадях, сложенных карбонатными породами, служит активное отепляющее воздействие атмосферных осадков, легко инфильтрующихся в закарстованную толщу, а также отепляющее

По результатам исследований ИМЗ и МГУ, наиболее развиты по трассе морозобойное растрескивание пород, наледообразование и пучение грунтов, в меньшей степени – термокарст, солифлюкция [1–3, 6, 14, 15, 22].

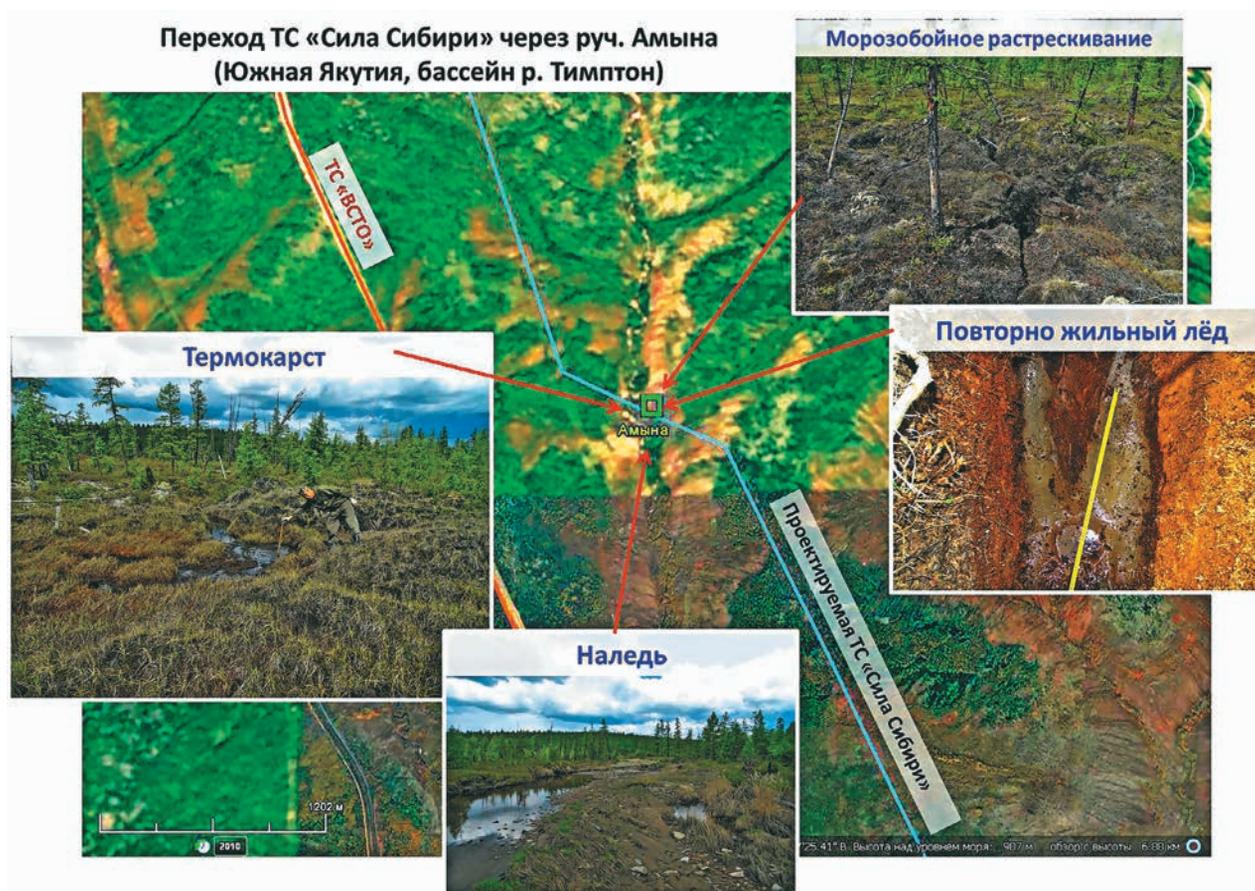
Морозобойное трещинообразование не только приводит к потере прочности массива пород, но и является основой образования таких неблагоприятных для строительства и эксплуатации инженерных сооружений процессов и явлений, как залежи подземного льда, многочисленных форм крупно- и мелкобугристого рельефа, а также способствует развитию склоновых процессов. Морозобойные трещины формируются в основном в поверхностных отложениях, а образованный ими полигональный рельеф наиболее четко выражен на поверхности низких заторфованных аккумулятивных террас, в нижних частях пологих склонов, верховьях местных водотоков – реки Иенгры, Тимптона, Улахан-Леглигер и др. Средние размеры полигонов обычно достигают 10×10 м, что обусловлено низкими среднегодовыми температурами пород. Максимальные размеры трещин на надпойменных террасах достигают ширины

0,2–0,8 м при длине 20–40 м и видимой глубине до 2–3 м. На водоразделах и в верховьях долин встречаются торфяники, представляющие собой блоки размером 30×50 м, образующие полигональную сеть. Сам блоки с поверхности сложены торфом мощностью до 2–3 м, подстилаемых тяжелыми суглинками, вмещающими ледяные жилы мощностью до 3 м при ширине до 2 м. Максимальной ширины жилы достигают на контакте торфа и суглинков.

Наиболее характерно для рассматриваемой территории трещинообразование в пластичных (супесчано-суглинистых) породах, не сопровождающееся заполнением трещин водой и образованием жильных льдов, выражающееся в формировании особого вида мерзлотного микрорельефа – бугристых марей с размерами полигонов от 2×1,5 до 3×5 м, реже – до 5×10 м. Ширина трещин варьирует от 5–15 см до 1 м и более при глубине от 0,2 до 0,7 м. В зависимости от проявления при этом процессов эрозии и солифлюкции, полигональность на участках различной крутизны выражены по-разному. На пологих (1–3°) приводораздельных частях склонов трещиноватость поверхностных грунтов вы-

Рис. 2.

Развитие экзогенно-геологических (криогенных) процессов на участке перехода трубопроводной системы (ТС) «Сила Сибири» через ручей Амына – левый приток в верховьях р. Тимптон (композиция С.И. Серикова)



ражена четко, и полигоны имеют большие размеры. На более крутых участках склонов (3–6°) близ днщ долин, полигоны имеют меньшие размеры, и трещины первой генерации обычно сnivelированы сползшим или снесенным сверху рыхлым материалом. По существу, полигональный рельеф в виде различных вариаций бугристых марей есть результат комплекса процессов – морозобойного растрескивания, процессов эрозии, солифлюкции и пучения.

Кроме полигонального рельефа на рассматриваемой территории широко распространены структурные формы микрорельефа в виде каменных многоугольников (центральная часть Алданского плоскогорья), каменные кольца (Чульманское плоскогорье), каменные полосы и т.п., образованные морозобойным растрескиванием и выпучиванием каменного материала. Их размеры достигают диаметра 2–3 м на породах карбонатной и терригенной формаций и 3–10 м на породах магматической группы формаций. На плоских водоразделах многоугольники имеют форму, близкую к правильной, а на более крутых склонах (до 10°) они часто приобретают форму каменных полос. Примером полигонального

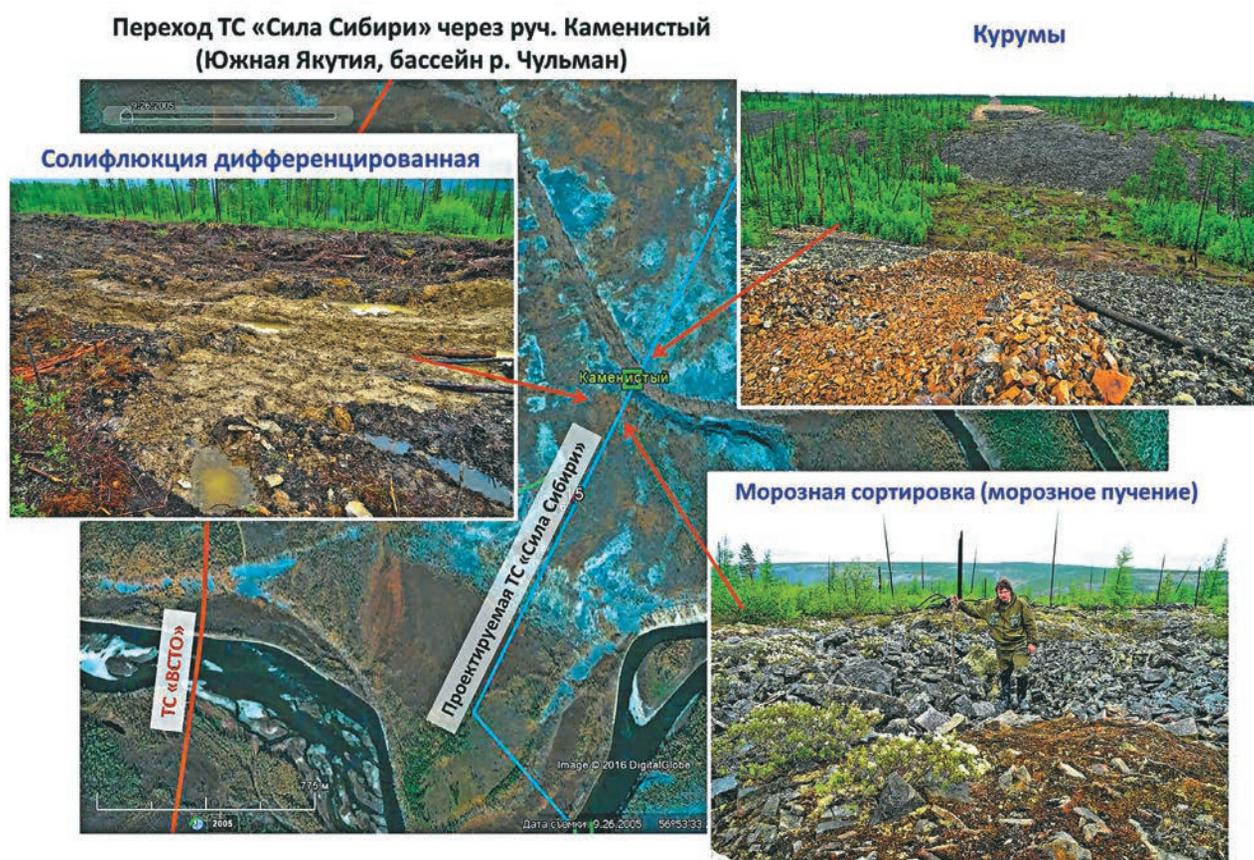
рельефа в пределах развития скальных пород являются нагорные террасы [22].

Пучение грунтов. Неглубокое залегание ММП и связанные с ними воды слоя сезонного протаивания способствуют широкому развитию в рассматриваемом районе процессов пучения грунтов. В результате этого процесса образуются бугры пучения и самые различные формы бугристого микрорельефа. Одной из форм пучения является выпучивание каменного материала. Особенно неблагоприятны процессы пучения для инженерных сооружений.

Представление о характере проявления и распространения этих процессов в исследуемом регионе дают бугры пучения. По трассе газопровода отмечаются бугры двух генераций: однолетние и многолетние, наиболее широко развитые в заболоченных верховьях речных долин, а также на заболоченных и замшелых участках террас и водоразделов и особенно в пределах слаборасчлененной части Алданского плоскогорья. Сезонные бугры пучения высотой 0,5–0,8 и диаметром 1–2 м приурочены, в основном, к участкам избыточного увлажнения – тыловым

Рис. 3.

Развитие экзогенно-геологических (криогенных) склоновых процессов на участке перехода ТС «Сила Сибири» через ручей Каменистый – левый приток р. Чульман (композиция С.И. Серикова)



швам террас, русловым участкам ручьев и рек, водораздельным седловинам, заболоченным склонам и др. Ядрами бугров являются многочисленные линзы и прослойки льда. Такие бугры формируют специфический микрорельеф днищ большинства водотоков бассейнов рек Малого и Большого Нимныра, Улахан-Леглигера и др. Многолетние бугры пучения – гидролакколиты локальны, обычно достигают высоты 5 м и диаметра 15–25 м, приурочены к местам разгрузки трещинно-жильных и других подземных вод (бассейны рек Васильевка, Керак и др.) [22]. В южной части трассы по материалам изысканий бугры известны в долинах р. Горбылях, руч. Окурдан и Амуначи.

Массивы подземных льдов и термокарст.

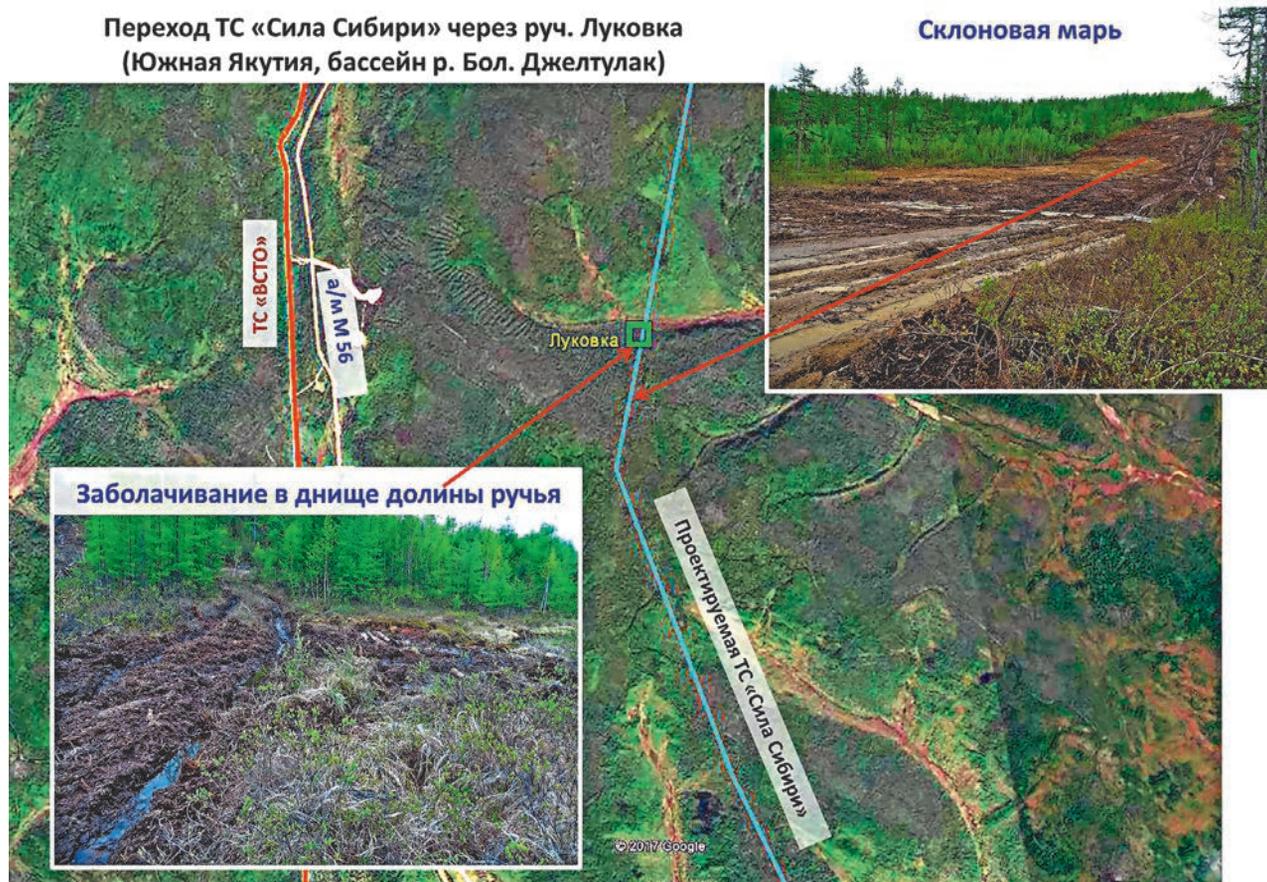
По трассе «Сила Сибири» встречаются залежи подземных льдов двух генезисов: повторно-жильные и инъекционные. В северной части трассы повторно-жильные льды приурочены к надпойменным террасам крупных рек и фрагментам озерно-аллювиальной равнины в районах Средней Лены, где на участках их развития встречаются термокарстовые озера. Отдельные выходы повторно-жильных льдов для рассмат-

риваемой трассы известны в долинах некоторых рек Алданского щита в южной части Якутии и даже на севере Амурской области. Наиболее четко по данным аэровизуального обследования и дешифрирования снимков полигональный рельеф прослеживается в долинах р. Горбылях, Могот, Амуначи (левый приток р. Тимптон) [1]. Ледяные жилы залегают в нижних частях склонов или днищах долин. Внешне они проявляются по наличию канавообразных микропонижений, образующих полигоны с размером сторон от 10 до 15–18 м. Самый южный из описанных по трассе АЯМ участков распространения повторно-жильных льдов – долина р. Могот, где отмечалась их внешние полигоны. На некоторых участках второй надпойменной террасы р. Могот повторно-жильные льды были вскрыты скважинами, наличие полигонального рельефа на поверхности этой террасы свидетельствует о распространении повторно-жильных льдов на значительных участках заболоченных и увлажненных марей (рис. 6).

Для большей части трассы в целом преобладают мелкие термокарстовые формы – мочажины и воронки, связанные с небольшой

Рис. 4.

Развитие экзогенно-геологических (криогенных) долинных процессов на участке перехода ТС «Сила Сибири» через ручей Луковка – левый приток р. Джелтулак (композиция С.И. Серикова)



льдистостью поверхностных отложений, а также неглубоким залеганием коренных пород. Такие образования, достигающие в диаметре 0,5–2 м и глубины 0,5 м развиты в плоскогорных районах области распространения пород метаморфической и магматической формаций докембрия. Обусловлены они в основном увеличением глубины сезонного протаивания сильно льдистых делювиальных суглинков в процессе эволюции микрорельефа и растительного покрова [3]. Южнее п. Чульман наиболее широкое развитие термокарстовые озера имеют в долине р. Горбылях, в частности на первой его террасе. Форма озера круглая или овально-вытянутая, дно плоское. Размеры их в поперечнике колеблются от 5–10 м (мелкие озера) до 200–300 м (крупные). В долине р. Могот термокарстовые озера приурочены к первой надпойменной террасе, на второй надпойменной террасе они отсутствуют. Преимущественное развитие здесь имеют термокарстовые западины, представляющие собой типичные пушицевые-сфагновые или осоково-сфагновые болота. По форме они разнообразны, по размерам невелики – от 0,1–0,2 до 0,5–0,8 м по глубине и от нескольких метров

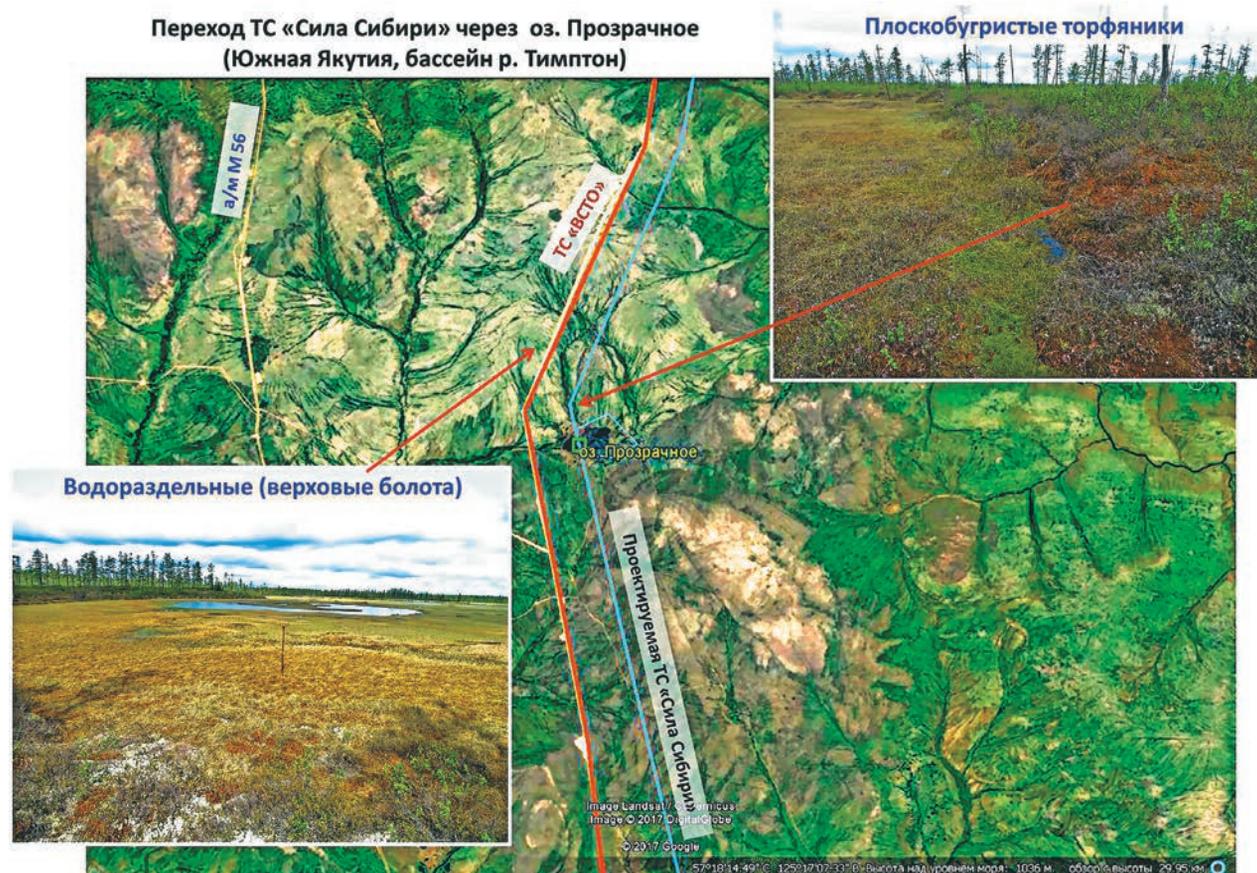
до 0,3–0,5 км в поперечнике. По В.Р. Алексееву [2], особенности географического распространения многолетнемерзлых пород в Южной Якутии предполагают полное отсутствие термокарстовых процессов лишь на склонах и водоразделах Лено-Алданского и Чульманского плато. На остальной территории развитие термокарстовых форм рельефа, их морфология и распространение зависят, с одной стороны – от криогенного строения покровных отложений, с другой – от особенностей денудационных процессов и осадконакопления, а также от условий стока поверхностных и грунтовых вод.

Инъекционные льды, развивающиеся на участках неравномерного пучения грунтов, ограничены и обычно приурочены к участкам наледообразования.

Активная нивелирующая деятельность наледных вод приводит к тому, что через 5–10 лет от термокарстовых форм не остается никаких следов. В целом наледи в южной части трассы распространены очень широко, практически во всех долинах, и термокарст наледных полей происходит практически на всей территории Алданского щита.

Рис. 5.

Развитие экзогенно-геологических (криогенных) процессов на участке перехода ТС «Сила Сибири» по водоразделу ручьёв Огоннёр и Эрзе бассейна р. Хатама – левого притока р. Тимптон (композиция С.И. Серикова)



В пределах резко расчлененных плоскогорных массивов отмечается еще одна форма термокарста – бугристо-мочажинный рельеф. Обычно он формируется в днищах узких речных долин, заполненных флювиогляциальным материалом, имеющим большую льдистость, и имеет эрозионно-термокарстовое происхождение. Округлые бугры диаметром 15–50 м и высотой до 2 м, разделенные полосками сочленяющихся мочажин, генетически представляют фрагменты первой или второй надпойменных террас. Особые по степени развития термокарста районы представляют собой аллювиальные равнины (Токарикано-Иенграская и др.) и пологоволнистые участки плоскогорий (Чульманского, Нимныро-Ыллымахского). Специфику термокарстовых форм рельефа здесь определяет высокая льдистость покровных отложений и условия стока поверхностных вод. Площади, подверженные термокарсту в этих районах, достигают больших размеров: на аллювиальных равнинах термокарстово-эрозионной переработке подвергается практически вся территория, на плоскогорьях – значительные отрезки широких днищ долин, нижние участки склонов и некоторые водораздельные седловины. Вытаивание подземных льдов в совокупности с морозным пучением, морозобойным растрескиванием, солифлюкцией, эрозией и плоскостным смывом создают здесь своеобразные комплексы криогенных форм рельефа, не встречающиеся в других районах центральной части Южной Якутии. По морфологическим особенностям криогенных образований, их взаимоотношению и площадному распространению они могут быть разделены на 4 типа: полигональный; грядово-мочажинный, бугристо-мочажинный и озерно-болотный.

Развитие современных термокарстовых образований на юге Якутии не связано с общим изменением климата, а обусловлено местными причинами – динамикой растительного покро-

ва, торфонакопления, поверхностного и внутригрунтового стока, а так же денудационными процессами [1].

Следует особо подчеркнуть, что при нарушениях условий теплообмена на поверхности ареной развития термокарстовых образований различных размеров и форм являются не только залежи подземных льдов, но и озерно-болотные отложения, развитые почти повсеместно в понижениях и депрессиях рельефа, которые толщиной (до 3 м и более) перекрывают аллювиальные и делювиальные отложения.

Наледи. Трасса ГТС является одним из наиболее хорошо изученных наледных районов Сибири. По генезису все наледи могут быть разделены на три типа: наледи подмерзлотных вод (ключевые), надмерзлотных вод (грунтовые) и смешанные (речных и надмерзлотных вод) [2]. По условиям образования и особенностям географического распространения наледей регион весьма своеобразен, его граница на севере совпадает со склоном Алданского кристаллического массива, на юге – с подножием Станового хребта. Наибольшее количество наледей подземных вод приурочено к верхней и центральной частям бассейна р. Иенгра, в интервале высот 800–1100 м. Наиболее благоприятные условия для выхода подмерзлотных вод создаются под руслами крупных водотоков и, в первую очередь, под руслом р. Иенгры. Поэтому большинство наледей в верховьях формируются субаквальными источниками в местах пересечения подруслового талика с водоносными геологическими разломами. Источники, как правило, обладают высоким дебитом – до 30–50 л/с и устойчивы к промерзанию. Образованные ими наледи достигают в длину 2–3 км при ширине в 150–300 м. В центральной части бассейна происходит общее снижение высоты местности до 800–1100 м. Повышается температура ММП, появляются непромерзающие тальные водоразделы. Благоприятные условия для выхода подземных вод в этом случае создаются не только в русле рек, но и у подножья склонов невысоких водоразделов. Источников много, однако их дебит не превышает обычно 10–20 л/с, а иногда составляет всего 1–2 л/с. В русле р. Иенгра по-прежнему формируется много наледей, но их образование происходит чаще за счет речных вод или вод подруслового талика в местах сужения живого сечения русла, на перекатах. В приустьевой части бассейна процессы наледообразования выражены слабо, что связано, вероятно, с повышением водопроницаемости русла и подрусловыми отложениями, а также со снижением водообильности горных пород, представленных гранитоидами.

Рис. 6.
Марь торфянистая. 2009 (фото И.В. Дорофеева)



Геотехническая специфика

9 ноября 2014 г. в Пекине было заключено окончательное межгосударственное соглашение, в соответствии с которым Газпром сможет поставлять в КНР 68 млрд м³ газа в год. Ресурсной базой газопровода «Сила Сибири» является Чаяндинское газоконденсатное месторождение в Якутии, а запуск ГТС планируется в 2018–2020 гг. На втором этапе (2020–2025 гг.) с целью увеличения объемов поставки газа подключается Ковыктинское месторождение в Иркутской области.

Как отмечалось [9], при прокладке ГТС используется подземный способ прокладки труб, хорошо зарекомендовавший себя около 50 лет назад при строительстве экспериментального газопровода «Устье р. Вилюй – г. Якутск», и с тех пор успешно использовавшийся в районах развития ММП, в том числе при прокладке «ВСТО». Можно уверенно предположить, что и при создании новых магистральных ГТС в Сибири метод подтвердит свои достоинства и повысит их эффективность.

Сложные природные условия трассы ГТС требуют тщательного подхода на всех стадиях освоения. В случае недооценки возможны очень серьезные геотехнические последствия, как это было по трассе трубопровода «ВСТО», где при прокладке трубы в переувлажненных оттаявших грунтах происходило ее погружение в жидкую массу [9]. В последующем, в подобных условиях подземной прокладки трубы, зимой возможно ее выпучивание на поверхность (газопровод Таас-Юрх – Айхал в Западной Якутии), а также возникновение запредельных разрывных градиентов и нарушение целостности. Очевидно, что сохранность трубы и ее надежность в таких условиях существенно ухудшаются, а сроки успешной эксплуатации – сокращаются.

Особо отмечаем необходимость учета специфики природной среды для всех наиболее сложных, существенно отличающихся по особенностям прокладки трубы, участков трассы. Более благоприятны в этом отношении участки с близким к поверхности залеганием пород коренной основы, серьезно упрощающим условия строительства. Наиболее сложными являются участки развития каменных развалов – курумов (рис. 7), пучения, подземных льдов инъекционного и сегрегационного характера, термокарста, термоэрозии, где строителей могут ожидать значительные трудности технологического характера.

Игнорирование этих особенностей, недостаточное изучение последствий нарушения естественных процессов теплообмена в горных породах вызывают серьезные осложнения

при строительстве и эксплуатации линейных объектов нефтегазового комплекса – трубопроводов, сокращают сроки надежной эксплуатации и сопровождаются нерациональными экономическими затратами.

Особо отметим, что избежать упомянутых проблем можно лишь при условии систематического контроля как за состоянием трубы, так и вмещающих ее пород, т.е. геотехнического и геоэкологического мониторингов, реализуемых на всех этапах: изыскательском, строительном и эксплуатационном [9, 17]. При этом на начальном, входящем в состав изысканий, этапе основным видом работ должно стать комплексное изучение минимально нарушенного, т.е. близкого к естественному состоянию природной среды в сочетании с прогнозом ее возможных техногенных изменений. Именно информация о естественном состоянии природной среды станет отправной при последующей оценке тенденций и масштабов ее динамики, и необходимости капитального ремонта ГТС.

Серьезного внимания заслуживает проблема диагностики состояния элементов ГТС. Не исключая традиционные методы непосредственного обследования, гораздо экономичнее и информативнее использование дистанционных снимков разных видов и сроков съемок. При этом достоверность метода существенно возрастает при автоматизированной обработке материалов на специальных оптико-электронных системах [5].

Важнейшим условием надежности ГТС является высокое качество самих труб. Строительство «Силы Сибири» ведется из лучших отечествен-

Рис. 7.

Курум в горной части трассы ТС. 2011 (фото С.И. Серикова)



ных труб, а на стадии эксплуатации газопровод будут обслуживать около 3000 специалистов. При этом ориентировочная стоимость строительства составит порядка 1 трлн руб. Через магистраль будут не только выполняться поставки газа в КНР, но и обеспечиваться станция, производящая сжиженный газ и нефтехимическое производство. Глава «Газпрома» А. Миллер оценил стоимость поставок газа в Китай в 400 млрд долларов [16].

Современное состояние проекта

Важным условием успешной реализации проекта является обеспеченность надежной ресурсной базы. В качестве нее для «Силы Сибири» принято Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение в юго-западной Якутии. В последнее время на месторождении активно проводится бурение – пройдено семь разведочных скважин средняя глубина которых около двух километров, все они работают в режиме испытания, определяющего запасы и качество топлива. Геологоразведочные работы, проводимые силами специалистов ООО «Газпром геологоразведка», вышли на завершающий этап. Силами этой компании с 2009 г. здесь пробурено более 40 разведочных скважин, в первом квартале 2015 г. завершены сейсморазведочные работы 3D, в результате которых было изучено 6300 км² площади Чаянды [19]. По итогам проведенных исследований составлена 3D-модель месторождения, которая позволяет получить максимально точную оценку запасов газа. Испытания на скважинах завершены, а затем площадка разравнивается и рекультивируется.

В период освоения месторождения рядом с разведочными скважинами построят еще несколько эксплуатационных – уже для добычи

газа. Особенностью газа Чаянды является насыщенность гелием, что существенно повышает его ценность. Специалисты исследуют структуру пород месторождения на предмет сохранения гелия под землей, иначе его невозможно удерживать даже в замкнутых сосудах. Он может храниться только под солевыми залежами, широко развитыми на этом месторождении. Предполагаемые запасы месторождения составляют около 1,45 трлн м³ газа.

Месторождение считается готовым к эксплуатации, когда структура его запасов известна на 85%, и специалисты близки к этому показателю. Важным положительным обстоятельством является строгое соблюдение «Газпромом» природоохранного законодательства. На всех стадиях работ – от разведки и подбора площадки до проведения водоохраных мероприятий компания старается обеспечивать экологическую безопасность этой территории.

Наряду с уже практически завершившейся на Чаяндинском месторождении геологоразведкой, в самом разгаре эта стадия на его «спутнике» – Таас-Юряхском НГКМ. В общей сложности сейсморазведочные работы здесь нужно провести на 1035 км², на 700 из них они уже завершены. На Таас-Юряхе начаты работы по проходке двух первых разведочных скважин, буровые вышки для которых переброшены с Чаянды. Всего здесь должны создать около 8 таких скважин, но их число еще будет уточняться. В перспективе газ этого месторождения также будет использоваться для «Силы Сибири», но в более поздние сроки, после доразведки, намеченной на 2018–2019 гг. В целом, по оценкам специалистов ООО «Газпром геологоразведки», для восполнения минерально-сырьевой базы ГТС, запасов даже одного Чаяндинского месторождения вполне достаточно.

После подписания в мае 2014 г. «Газпром» и Китайской Национальной Нефтегазовой Корпорацией (CNPC) договора купли-продажи российского газа по газопроводу «Сила Сибири», в сентябре 2014 г. началось строительство первого участка от Чаяндинского месторождения в Якутии до Благовещенска на границе с КНР протяженностью около 2200 км. На втором этапе будет построен участок от Ковыктинского месторождения в Иркутской области до Чаяндинского длиной около 800 км. На третьем этапе планируется расширение газотранспортных мощностей на участке от Чаяндинского месторождения до Благовещенска.

В сентябре 2016 г. «Газпром» и CNPC подписали ЕРС-контракт на строительство подводного перехода трансграничного участка «Силы Сибири» через реку Амур. Сооружение перехода

Рис. 8. Оборудование перехода ТС через крупный водоток (<http://www.gazprom.ru/about/production/projects/pipelines/built/ykv/>)



с китайской стороны началось в апреле 2017 г., а в мае был открыт временный двусторонний пункт пропуска через российско-китайскую границу для организации в пограничной зоне доступа и беспрепятственной работы строительной техники и персонала.

Особое значение при строительстве уделяется применению современных, высоконадежных, энергоэффективных технологий и оборудования [21]. В частности, используются стальные трубы российского производства, имеющие внутреннее гладкостенное покрытие, снижающие энергозатраты на транспортировку газа за счет уменьшения внутренней шероховатости трубы и, соответственно, трения. Внешняя изоляция труб выполнена из инновационных отечественных нанокompозитных материалов, обеспечивающих высокую коррозионную стойкость газопровода. Для пересечения участков активных тектонических разломов используются трубы с повышенной деформационной способностью, а также специальные технические решения по их укладке.

При выборе оборудования особое внимание уделяется надежности и экономичности его эксплуатации. Например, энергонезависимые электроприводы для трубопроводной арматуры, в которых используются энергоаккумуляторы, рассчитаны на работу без обслуживания в течение 20 лет. Их применение позволяет сократить затраты на строительство, а уникальная механика привода – снизить энергопотребление [11].

Продолжается сохраняться внимание к экологическим проблемам. Для минимизации воздействия на окружающую среду маршрут «Силы Сибири» проложен преимущественно по участкам редколесий и старых гарей. На **рис. 8** хорошо видно насколько продуманно с геотехнологической точки зрения скомпанован переход ГТС через один из крупных водотоков в средней части трассы.

Оценивая современные темпы строительства, руководитель «Газпрома» А. Миллер отметил [16], что строительство объекта идет с опережением графика и по состоянию на 16 мая 2017 г. построено уже 745 км, а сварено в нитку 1000 км трубы. Концерн планирует ввести газопровода в эксплуатацию 20 декабря 2019 г. Таким образом, реализация проекта как с российской, так и китайской сторон осуществляется строго по графику. Это касается строительства линейной части газопровода – будет достроена оставшаяся часть газопровода в 2156 км – и освоения Чаяндинского месторождения, будет также создана семь компрессорных станций, предусматривается начать освоение Ковыктинского месторождения в Иркутской области. Все

это будет обеспечено увеличением инвестиций «Газпрома» в газопровод с 76,162 млрд руб до 158,811 млрд руб. в 2017 г. В плане очередности сначала будет возведен газопровод по маршруту Якутия – Хабаровск – Владивосток, а затем Ковыктинское месторождение подключится к Чаяндинскому центру. Система будет общей для Иркутского и Якутского газовых месторождений, их запасы составляют, соответственно, 1,5 и 1,2 трлн м³.

Следует обратить особое внимание, что Минэнерго РФ решило пересмотреть планы по добыче газа на Дальнем Востоке: вместо ожидаемой добычи к 2020 г. 51,3 млрд м³ теперь планируется 43,7 млрд м³ [7]. Как пояснил официальный представитель министерства, пересмотр планов по добыче газа в сторону уменьшения связан с синхронизацией с началом поставок по российско-китайскому газопроводу «Сила Сибири». По планам «Газпрома», Чаянда должна быть запущена в эксплуатацию к концу 2018 г., концерн планировал инвестировать порядка 168 млрд руб. Недавно показатели объемов добычи газа на Дальнем Востоке в 2017–2020 гг. были скорректированы со сроками реализации проектов по строительству экспортной инфраструктуры, в том числе «Силы Сибири». При этом к 2035 г. Минэнерго прогнозирует рост добычи газа в регионе почти в 2,5 раза к нынешним показателям – до 80 млрд м³ [7].

В предыдущей версии госпрограммы рост добычи газа на Дальнем Востоке к 2020 г. прогнозировался в среднем на 18% в год до 51,3 млрд м³. Теперь этот показатель уменьшен до 11,3%, до 43,7 млрд м³. Корректировка прогнозов связана с экспортом газа, а снижение темпов свидетельствует об изменении сроков по новым проектам.

Снижение темпов добычи газа на Дальнем Востоке вряд ли связано с переносом сроков по началу поставок, считает аналитик Sberbank CIB В. Нестеров. На последних переговорах в начале июля «Газпром» и китайская *CNPC* договорились начать поставки по «Силе Сибири» к концу декабря 2019 г. [10].

В планах «Газпрома», кроме поставок по «Силе Сибири», намерения экспортировать газ в Китай еще по двум маршрутам: по западному маршруту – трубопроводу «Алтай», а также напрямую из Владивостока. По последнему проекту, по словам главы концерна А. Миллера, планируется согласовать условия поставок до конца 2017 г.

Еще одним связанным с тематикой данной статьи недавним событием, не вызвавшим значительного интереса на фоне глобальных политических скандалов, падения цен на нефть,

снятия санкций с Ирана и т.д., стала очередная новость из КНР, испытывающей серьезные экономические трудности. Руководство страны собирается выделить 4,6 млрд долларов на плановое закрытие малых угольных шахт. В течение ближайших 3 лет в Китае закроют 4300 шахт из 11 000 действующих, и будет уволено до 1 млн человек [12]. И это в то время, когда большая часть производства КНР – 64,4% – сосредоточено именно на этом энергоресурсе. В итоге создалась катастрофическая ситуация с экологией, которую решено исправлять в аварийном режиме.

Одним из основных путей улучшения экологической ситуации в стране стала смена приоритетного направления развития КНР в сторону геотермальной энергетики, утвержденная в плане 13 пятилетки развития китайской экономики. Именно в последние годы геотермальная энергетика в КНР стала активно развиваться, и если 3 года назад в Китае вырабатывалось всего 28 мегаватт данной энергии в год, то уже в 2015 г. этот показатель превысил 100 мегаватт. Со временем на территории КНР будет вырабатываться 1/6 геотермальных ресурсов всей планеты, что можно сопоставить с запасами 853 млрд т угля [16]. Таким образом, в КНР приоритет отдается совершенно новой и экологически чистой форме выработки энергии. Ряд специалистов в нашей стране в перспективе предполагает возможность резкого сокращения потребности в газе, транспортируемом по новым ГТС в Китай [12].

Выводы

В восточных регионах Сибири проектируется, а частично уже создается, магистральный газопровод «Сила Сибири», являющийся важной составляющей федеральной Единой Газовой Системы (ЕГС) и ориентированный на удовлетворение нужд российских и зарубежных потребителей. В последнее время широко обсуждается вопрос о деталях продления этой ГТС по поставкам природного топлива в КНР. Недавно Министерство охраны окружающей среды КНР дало Китайской национальной нефтяной компании (CNPC) разрешение на строительство 700-километрового участка газопровода, который станет дополнительной частью проекта «Сила Сибири» на территории КНР. Магистральный трубопровод проляжет от границы с Россией по территории провинции Хэйлуцзян до города Сунъюань. По мнению специалистов министерства, меры по охране окружающей среды, предложенные CNPC, соответствуют установленным в КНР нормативам. О начале строительства китайской части «Силы Сибири» было объявлено

еще в 2016 г., ее общая протяженность составит 3,17 тыс. км. Вблизи китайского участка «Силы Сибири» будет построено 9 подземных хранилищ газа. По территории России магистраль протянется на 2,2 тыс. км от источника поставок – Чаяндинского месторождения в Якутии до г. Благовещенска. При этом Россия не собирается изменять договорные сроки из-за снижения потребления газа в Китае.

Реализация столь значимого для Сибири проекта должна базироваться на ряде особых, специально разработанных и адаптированных к местным условиям технических решений, значительная часть которых была ранее подготовлена проектировщиками в тесном взаимодействии с ведущими НИИ Сибири и Дальнего Востока еще при создании нефтепровода «ВСТО» и вполне может быть использована для «Силы Сибири». Имеется информация, что аналогичные работы ведутся и с китайской стороны, в Алтайском округе Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая, и было бы совсем не лишне учесть при этом опыт специалистов РФ.

Важным обстоятельством, в значительной степени обеспечивающим успешную реализацию проекта, является выбор подземного способа прокладки труб, хорошо зарекомендовавшего себя еще около 50 лет назад и с тех пор успешно использовавшегося в районах развития ММП, в том числе при прокладке «ВСТО». Есть уверенность, что и при создании новых магистральных ГТС в Сибири метод подтвердит свои достоинства и повысит их эффективность.

В перспективе особую опасность для надежности и безопасности ГТС «Сила Сибири» уже при строительстве и, особенно, эксплуатации представляют экзогенные, в том числе криогенные рельефообразующие процессы. Трасса магистрального газопровода проходит по районам со сложными, неравномерно – с разной степенью детальности, изученными геокриологическими, мерзлотно-гидрогеологическими и инженерно-геокриологическими условиями. К специфическим криогенным процессам и образованиям по трассе, осложняющим освоение, относятся:

- в южной половине трассы – широкое развитие наледообразования, как в естественных – на участках разгрузки подземных вод, так и техногенных нарушенных условиях;
- широкое развитие в горных породах долин залежей подземных льдов, неустойчивых ко всем видам воздействий с нарушениями условий теплообмена на поверхности и в толще многолетнемерзлых пород (ММП), приводящих к активизации термокарста;
- развитие современного мерзлотного карста;

– активизация в последние десятилетия экзогенных, в том числе мерзлотных и мерзлотно-геологических процессов.

Игнорирование этих особенностей, недостаточное изучение последствий нарушения естественных процессов теплообмена в горных породах вызывают серьезные осложнения при строительстве и эксплуатации линейных объектов нефтегазового комплекса – трубопроводов, сокращают сроки их надежной эксплуатации, и сопровождаются нерациональными экономическими затратами.

Таким образом, важным условием эффективности новой магистральной ГТС в Сибири является возможность создания адаптированной к сложным природным условиям системы, характеризующейся высокой степенью надежности, сохраняющейся на протяжении продолжительной эксплуатации без серьезного ремонта, и крупных финансовых вложений. Пример успешного создания и эксплуатации нефтепровода «ВСТО» [9] подтверждает подобную возможность. ■

Литература

1. Алексеев В.Р. Условия формирования и распространение наледей на юге Якутии // *Наледи Сибири*. М.: Наука. 1969. С. 31–41.
2. Алексеев В.Р. Наледи как фактор долинного морфолитогенеза // *Региональная геоморфология Сибири*. Иркутск. 1973. С. 99–134.
3. Алексеев В.Р. Ландшафтная индикация наледных явлений. Новосибирск: Наука, 2005. 364 с.
4. Байкало-Амурская железнодорожная магистраль. Геокриологическая карта. Масштаб 1:25000000. М.: ГУГК. 1979. 2 л.
5. Бондур В.Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга объектов нефтегазового комплекса // *Исследование земли из космоса*. 2010. № 6. С. 3–17.
6. Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М.: МГУ. 1990. 383 с.
7. Дальневосточный газ приберегут для «Силы Сибири». Доступно на: <http://gazoprovod-sila-sibiri.ru/dalnevostochnyj-gaz-priberegut-dlya-sily-sibiri/> (обращение 22.02.2018).
8. Железняк М.Н. Геотемпературное поле и криолитозона юго-востока Сибирской платформы. Новосибирск: Наука. 2005. 227 с.
9. Железняк М.Н., Сериков С.И., Шац М.М. Нефтепровод «Восточная Сибирь – Тихий океан»: современное состояние и перспективы // *Трубопроводный транспорт. Теория и Практика*. 2017. № 3. С. 50–55.
10. Поставки российского газа в Китай по «Силе Сибири» начнутся в декабре 2019 года. Доступно на: <http://www.gazprom.ru/press/news/2017/july/article340464/> (обращение 23.02.2018).
11. Крупнейшая система транспортировки газа на Востоке России. Доступно на: <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/pipelines/built/ykv/> (обращение 22.02.2018).
12. Китайцы заберут «Силу Сибири». Газопровод «Алтай» опережает «Силу Сибири» в китайских планах «Газпрома». Доступно на: <http://www.pravda-tv.ru/2015/03/19/132567> (22.02.2018).
13. Макаров В.Н., Шепелев В.В., Шац М.М., Железняк М.Н. Геоэкологические проблемы осваиваемых территорий Якутии // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2000. № 4–5. С. 30–34.
14. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР. Масштаб 1:2500000. М.: ГУГК. 1991. 2 л.
15. Мерзлотные ландшафты Якутии (Пояснительная записка к Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР масштаба 1:2500000) / Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П. и др. Новосибирск: ГУГК. 1989. 170 с.
16. Миллер оценил газовый контракт с Китаем в 400 млрд долларов. Доступно на: <https://hboris.ru/миллер-оценил-газовый-контракт-с-кита/> (обращение 22.02.2018).
17. Самсонова В.В., Дручина О.Е., Самсонова М.А. Прогнозная оценка мерзлотно-климатических и геокриологических геотехнических рисков строительства и эксплуатации магистральных трубопроводов // *Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (Геориск-2015)*. Материалы 9-й Международной научно-практической конференции. 2015. С. 523–530.
18. Фотиев С.М. Подземные воды и мерзлые породы Южно-Якутского угленосного бассейна. М.: Наука. 1965. 231 с.
19. Чайнда на пороге добычи: Геологоразведка на крупнейшем газовом месторождении завершится в 2016 году. Доступно на: <http://news.ykt.ru/article/35101> (обращение 22.02.2018).
20. Шац М.М. Состояние и перспективы Восточной газовой // *Трубопроводный транспорт: теория и практика*. 2011. № 3. С. 12–16.
21. Экоплан китайского участка «Силы Сибири» одобрен властями КНР. Доступно на: <http://news.ykt.ru/article/43034> (обращение 22.02.2018).
22. Южная Якутия. Мерзлотно-гидрогеологические и инженерно-геологические условия Алданского горнопромышленного района. М. МГУ. 1975. 444 с.

UDC 551.345

M.N. Zheleznyak, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Director of Institute for Permafrost P.I. Melnikov SB RAS¹, fe@mpi.ysn.ru

S.I. Serikov, Researcher of Institute for Permafrost P.I. Melnikov SB RAS¹, grampus@mpi.ysn.ru

M.M. Shatz, PhD, Leading Researcher of Institute for Permafrost P.I. Melnikov SB RAS¹, mmshatz@mail.ru

¹36 Merzlotnaya street, Yakutsk, 677010, Russia.

The gas Transportation System “The Power of Siberia. Current Problems and Prospects

Abstract. The problems arising at various stages of the implementation of the project for the construction of the “Siberia Power” gas pipeline in Eastern and South–Eastern Siberia are highlighted. They include the choice of pipeline routes, the method of laying the pipeline, the financial provision of projects in the current economic environment and its likely priority. The advantages and problems of the chosen route variant are shown in concrete engineering–geological conditions, the expediency of using the underground method of laying pipes

Keywords: selection of pipeline route options; method of laying the pipe; financial support of the project.

References

1. Alekseev V.R. *Usloviia formirovaniia i rasprostranenie naledei na iuge Iakutii. Naledi Sibiri* [The conditions for the formation and distribution of ice in the south of Yakutia]. Moscow, Nauka Publ., 1969, pp. 31–41.
2. Alekseev V.R. *Naledi kak faktor dolinnogo morfolitogeneza. Regional'naia geomorfologiya Sibiri* [Naledi as a factor of valley morpholithogenesis. Regional geomorphology of Siberia]. Irkutsk, 1973, pp. 99–134.
3. Alekseev V.R. *Landshaftnaia indikatsiia naleednykh iavlenii* [Landscape indication of ice phenomena]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005, 364 p.
4. *Baikalo-Amurskaia zheleznodorozhnaia magistral'. Geokriologicheskaia karta. Masshtab 1:25000000* [The Baikal-Amur Railway. Geocryological map. Scale 1: 25000000]. Moscow, GUGK Publ., 1979, 2 l.
5. Bondur V.G. *Aerokosmicheskie metody i tekhnologii monitoringa ob'ektov neftegazovogo kompleksa* [Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas facilities]. *Issledovanie zemli iz kosmosa* [Earth exploration from space], 2010, no. 6, pp. 3–17.
6. *Geokriologiya SSSR. Sredniaia Sibir'* [Geocryology of the USSR. Middle Siberia]. Moscow, MGU Publ., 1990, 383 p.
7. *Dal'nevostochnyi gaz priberegut dlia «Sily Sibiri»* [Far East gas will be reserved for the “Siberian Power”]. Available at: <http://gazoprovod-sila-sibiri.ru/dalnevostochnyi-gaz-priberegut-dlya-sily-sibiri/> (accessed February 22, 2018).
8. Zhelezniak M.N. *Geotemperaturnoe pole i kriolitizona iugo-vostoka Sibirskoi platformy* [Geothermal field and cryolithozone of the southeast of the Siberian platform]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005, 227 p.
9. Zhelezniak M.N., Serikov S.I., Shats M.M. *Nefteprovod «Vostochnaia Sibir' – Tikhii okean»: sovremennoe sostoianie i perspektivy* [Oil pipeline “Eastern Siberia- Pacific Ocean”: current state and prospects]. *Truboprovodnyi transport. Teoriia i Praktika* [Pipeline transportation. Theory and practice], 2017, no. 3, pp. 50–55.
10. *Postavki rossiiskogo gaza v Kitai po «Sile Sibiri» nachnutsia v dekabre 2019 goda* [Deliveries of Russian gas to China on the “Force of Siberia” will begin in December 2019]. Available at: <http://www.gazprom.ru/press/news/2017/july/article340464/> (February 23, 2018).
11. *Krupneishaia sistema transportirovki gaza na Vostoke Rossii* [The largest system of gas transportation in the East of Russia]. Available at: <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/pipelines/built/ykv/> (accessed February 22, 2018).
12. *Kitaitsy zaberut «Silu Sibiri». Gazoprovod «Altai» operezhaet «Silu Sibiri» v kitaiskikh planakh «Gazproma»* [The Chinese will take the “Power of Siberia”. The Altai gas pipeline is ahead of the “Power of Siberia” in the Chinese plans of Gazprom]. Available at: <http://www.pravda-tv.ru/2015/03/19/132567> (accessed February 22, 2018).
13. Makarov V.N., Shepelev V.V., Shats M.M., Zhelezniak M.N. *Geoekologicheskie problemy osvivaemykh territorii Iakutii* [Geoecological problems of the developed territories of Yakutia]. *Zashchita okruzhaiushchei sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in the oil and gas sector], 2000, no. 4–5, pp. 30–34.
14. *Merzlotno-landshaftnaia karta Iakutskoi ASSR. Masshtab 1:2500000* [The permafrost-landscape map of the Yakut ASSR. Scale 1: 2500000]. Moscow, GUGK Publ., 1991, 2 l.
15. Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P. i dr. *Merzlotnye landshafty Iakutii (Poiasnitel'naia zapiska k Merzlotno-landshaftnoi karte Iakutskoi ASSR masshtaba 1:2500000)* [Permafrost landscapes of Yakutia (Explanatory note to the Frozen-landscape map of the Yakut ASSR, scale 1: 2500000)]. Novosibirsk, GUGK Publ. 1989, 170 p.
16. *Miller otsenil gazovyi kontrakt s Kitaem v 400 mlrd dollarov* [Miller estimated the gas contract with China at \$ 400 billion]. Available at: <https://hboris.ru/miller-otsenil-gazovyi-kontrakt-s-kita/> (accessed February 22, 2018).
17. Samsonova V.V., Druchina O.E., Samsonova M.A. *Prognoznaia otsenka merzlotno-klimaticheskikh i geokriologicheskikh geotekhnicheskikh riskov stroitel'stva i ekspluatatsii magistral'nykh truboprovodov* [Forecast assessment of permafrost-climatic and geocryological geotechnical risks of construction and operation of main pipelines]. Proc. 9th inter. conf. “Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world (Georisk-2015)” [Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world (Georisk-2015)]. 2015. S. 523–530.
18. Fotiev S.M. *Podzemnye vody i merzlye porody Iuzhno-Iakutskogo uglennogo basseina* [Underground waters and frozen rocks of the South Yakutian coal basin]. Moscow, Nauka Publ., 1965, 231 p.
19. *Chaianda na poroge dobychi: Geologorazvedka na krupneishem gazovom mestorozhdenii zavershitsia v 2016 godu* [Chayanda on the threshold of production: Exploration at the largest gas field will be completed in 2016]. Available at: <http://hews.ykt.ru/article/35101> (accessed February 22, 2018).
20. Shats M.M. *Sostoianie i perspektivy Vostochnoi gazovoi* [The state and prospects of the Eastern Gas]. *Truboprovodnyi transport: teoriia i praktika* [Pipeline transport: theory and practice], 2011, no. 3, pp. 12–16.
21. *Ekoplan kitaiskogo uchastka «Sily Sibiri» odobren vlastiami KNR* [Ecoplan of the Chinese section “Forces of Siberia” approved by the authorities of the PRC]. Available at: <http://hews.ykt.ru/article/43034> (accessed February 22, 2018).
22. *Iuzhnaia Iakutiia. Merzlotno-gidrogeologicheskie i inzhenerno-geologicheskie usloviia Aldanskogo gornopromyshlennogo raiona* [Southern Yakutia. The permafrost-hydrogeological and engineering-geological conditions of the Aldan Mining Area]. Moscow, MGU Publ., 1975, 444 p.