

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА «СИЛА СИБИРИ» НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ ЗАВЕРШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 624.131

М.Н. Железняк, д.г.-м.н., Институт мерзлотоведения имени
П.И. Мельникова СО РАН (Якутск, РФ), fe@mpi.ysn.ru

М.М. Шац, к.г.н., Институт мерзлотоведения имени
П.И. Мельникова СО РАН, mmshatz@mail.ru

В статье освещено современное состояние реализации проекта создания газотранспортной системы «Сила Сибири» на стадии завершения прокладки трубы по состоянию на середину 2018 г. Показана сложность природных условий в инженерно-геологическом и геокриологическом отношении. Трасса газотранспортной системы проходит по сложному рельефу (высокие горные хребты, плато, расчлененные речными долинами плоскогорья и низменности), обуславливающему многообразие природных условий. В южной и юго-восточной частях территории располагаются горы с отметками от 800 до 1500 м над уровнем моря. Сезонное и многолетнее промерзание и протаивание горных пород в сочетании с их составом вызывают широкое развитие криогенных явлений и образований вдоль трассы. Наиболее развиты по трассе морозобойное растрескивание пород, наледообразование и пучение грунтов, в меньшей степени – термокарст, солифлюкция. Отмечено применение современных технологий и материалов, позволяющих сохранять высокие надежность и устойчивость газопровода. В статье приведены основные результаты эколого-геокриологических исследований Института мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН последних лет, позволившие выявить главные сложности проекта и показать пути их решения. Проанализированы геоэкологические и геотехнические проблемы, возникающие на стадии завершения строительства трубопровода «Сила Сибири». Показаны основные причины данных проблем, пути их предупреждения и минимизации ущерба.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГАЗОТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА, СИЛА СИБИРИ, ЗАВЕРШЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА, ИЗЫСКАНИЯ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОКЛАДКА ТРУБЫ, СТРОИТЕЛЬСТВО СИСТЕМЫ, НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ.

Проектирование, создание и эксплуатация магистральных газопроводов в различных регионах Сибири за последние 15 лет являются для Российской Федерации важными составляющими государственной политики, ориентированной на повышение энергетической безопасности, усиление межрегиональных топливно-энергетических связей, решение задач разных территориальных уровней. В настоящее время на территории Сибири реализуется ряд крупнейших проектов по транспортировке углеводородов: «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ВСТО), «Сила Сибири» и др. Их строительство и эксплуатация

осуществляются в сложных динамических, инженерно-геологических, природно-климатических и мерзлотных условиях, нередко приводящих к проблемным и чрезвычайным ситуациям.

По обобщенным данным научных и технологических исследований и официальным данным ПАО «Газпром», 42 % всех аварий на линейной части магистральных газопроводов обусловлено прямым или косвенным воздействием природных факторов [1]. При этом 16 % проблем связаны с внешней общей коррозией, 12 % – с экзогенными процессами, 3 % – возникают в результате изменения геокриологических условий,

13 % – обусловлены коррозионными явлениями, 1 % – другими естественными факторами.

Создание крупнейшей газотранспортной системы (ГТС) осуществляется в сложных динамических, инженерно-геологических, природно-климатических и мерзлотных условиях [1–8], нередко приводящих к проблемным и чрезвычайным ситуациям. Многообразие природных условий вдоль трассы ГТС связано с довольно сложным рельефом, включающим высокие горные хребты, плато, расчлененные речными долинами плоскогорья и низменности. Наиболее высокие горы располагаются в южной

Zheleznyak M.N., Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Yakutsk, Russian Federation), fe@mpi.ysn.ru

Shatz M.M., Candidate of Sciences (Geography), Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, mmshatz@mail.ru

Geocryological and geotechnical conditions of the Power of Siberia main gas pipeline at the present stage of the construction completion

The article presents the current status of implementation of the construction project of the Power of Siberia gas transportation system at the stage of completion of pipelaying as on mid 2018. The complicated geotechnical and geocryological conditions are shown. The route of the gas transportation system passes through a complex terrain (high mountain ranges, plateaus and lowlands dissected by river valleys), which causes a variety of natural conditions. In the southern and south-eastern parts of the territory, there are mountains with elevations from 800 to 1500 m above sea level. Seasonal and perennial freezing and thawing of rocks, in combination with their composition, cause wide development of cryogenic phenomena and formations along the route. Frost cracking of rocks, aufeis formation and soil heaving are the most developed along the route, whereas thermokarst and solifluction are less widespread.

The use of modern technologies and materials that allow maintaining high reliability and stability of the pipeline is noted. The main results of ecological and geocryological researches of the Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences for recent years are considered in the article, which made it possible to identify the main problems of the project and show the ways of their solution. The geocryological and geotechnical problems arising at the stage of the construction completion of the Siberia Power pipeline are analyzed. The main causes of these problems, ways to prevent them and minimize the damage are shown.

KEYWORDS: GAS TRANSPORTATION SYSTEM, POWER OF SIBERIA, CONSTRUCTION COMPLETION, SURVEY, DESIGNING, PIPELAYING, SYSTEM CONSTRUCTION, NEW TECHNOLOGIES, NEW MATERIALS.

и юго-восточной частях территории с преобладанием отметок от 800 до 1500 м над уровнем моря.

Рассмотрен ход прокладки трубы магистрального газопровода «Сила Сибири» по состоянию на середину 2018 г. [10–12]. Особенно актуальной задачей реализуемого этапа проекта является получение оперативной информации о состоянии трубы и природной среды по трассе ГТС, в том числе о реакции ее наиболее динамичных компонентов, в частности многолетнемерзлых пород (ММП), на техногенные воздействия. Современное освоение криолитозоны, использование ее ресурсов, проживание городского и сельского населения нуждаются в системной оценке совокупного влияния на нее как проектируемых, так и уже существующих промышленных объектов. Их взаимосвязь в сочетании с оценкой последствий социально-экономических, экологических, историко-культурных и медико-биологических процессов представляет собой сложную задачу, требующую глубокого системного подхода и

имеющую фундаментальное социально-региональное значение.

Именно эколого-геокриологическая составляющая стала в последнее время наиболее актуальной в общей системе инженерно-геологических знаний. Трасса газопровода проходит в экстремальных природно-климатических условиях, преодолевает заболоченные, горные и сейсмоактивные территории, участки с многолетнемерзлыми и скальными грунтами. Абсолютные минимальные температуры воздуха на территории прохождения газопровода «Сила Сибири» составляют зимой от -62°C в Республике Саха (Якутия) до -41°C на территории Амурской обл.

ЭКОЛОГО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Особенности распространения, температуры и мощности многолетнемерзлых толщ по трассе ГТС зависят от состава и свойств доломитов и известняков нижнего кембрия [2–4, 6, 8–13]. Обычно наблюдается отсутствие ММП или их малая мощность на водораздельных пространствах при по-

всеместном развитии в долинах рек и на северных склонах. Эта закономерность нарушается в связи со специфическими геотектоническими и орографическими условиями, когда ММП отсутствуют не только на водоразделах, но и на склонах южной экспозиции, кроме 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. Увеличение мощности до 100–150 м наблюдается в днищах узких и глубоко врезанных долин под воздействием устойчивой орографической инверсии и на севере Лено-Алданского плато вследствие более сурового климата. Причиной широкого развития таликов на площадях, сложенных карбонатными породами, служит активное отепляющее воздействие атмосферных осадков, легко инфильтрующихся в закарстованную толщу,

а также снежного покрова, мощность которого южнее 59° с. ш. достигает 60–80 см.

ГТС «Сила Сибири» пересекает зоны с разнообразными природными условиями, чем обусловлено разнообразие геокриологической обстановки вдоль трассы. Максимальные мощности мерзлой толщи отмечаются в верховьях рек, где вершины водоразделов достигают отметок 1300–1600 м, с превышением над днищами в 300–500 м. Многолетнемерзлые породы сплошного распространения в таких районах имеют низкие температуры и мощность до нескольких сотен метров. Сезонное и многолетнее промерзание и протаивание горных пород в сочетании с их составом обуславливают широкое развитие вдоль трассы криогенных явлений и образований. Направленность и интенсивность формирующих их мерзлотных процессов определяются характером теплообмена верхних горизонтов грунтов с атмосферой и геолого-геоморфологическими условиями территории. По данным исследований Института мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ имени П.И. Мельникова СО РАН) и Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, вдоль трассы наблюдаются морозобойное растрескивание пород, пучение грунтов, наледообразование, в меньшей степени развиты термокарст и солифлюкция [2, 3, 8, 9, 12, 13].

Морозобойное трещинообразование приводит к потере прочности массива пород, способствует образованию залежей подземного льда, многочисленных форм крупно- и мелкобугристого рельефа, развитию склоновых процессов [8, 9]. Помимо полигонального рельефа, возникающего в результате морозного трещинообразования, на рассматриваемой территории широко распространены структурные формы микрорельефа в виде каменных многоугольников (центральная



Рис. 1. Курум на склоне междуручья руч. Таежный и Гольцовый, сложенный крупноглыбовым материалом, 2015 г. Фото: С.И. Сериков

Fig. 1. Combe rock on the slope of the interstream area of the Taezhnyy and Goltsovyy streams, formed of coarse block material, 2015. Photo: S.I. Serikov

часть Алданского нагорья), каменные кольца (Чульманское плоскогорье), курумы (рис. 1). Эти образования достигают 2–3 м в диаметре на карбонатных и терригенных породах и 3–10 м – на магматических [8].

Пучение грунтов. Неглубокое залегание ММП и связанных с ними вод слоя сезонного протаивания способствует широкому развитию в рассматриваемом районе процессов пучения грунтов. Образуются бугры пучения, различные формы бугристого микрорельефа. По трассе газопровода отмечаются бугры пучения двух генераций: однолетние и многолетние, наиболее широко развитые в заболоченных верховьях речных долин и суглинистых заторфованных отложениях, а также на заболоченных и замшелых участках террас и водоразделов и, особенно, в пределах слаборасчлененной части Алданского нагорья. Ядрами



Рис. 2. Бугры пучения в долине р. Керак (Южная Якутия), 2011 г. Фото: С.И. Сериков

Fig. 2. Swelling hummocks in the valley of the Kerak river (South Yakutia), 2011. Photo: S.I. Serikov

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. Гидролакколиты (многолетние бугры пучения) локальны, обычно достигают 5 м в высоту и 15–25 м в диаметре, приурочены к местам разгрузки трещинно-жильных и других подземных вод (бассейны рек Васильевка, Керак (рис. 2) и др.) [8]. В южной части трассы по материалам изысканий бугры известны в долинах р. Горбылях, руч. Окурдан и Амуначи.

Массивы подземных льдов, термокарст и термоэрозия. 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 рассматриваемой трассы известны в долинах некоторых рек Алданского щита в южной части Якутии и даже на севере Амурской обл. Наиболее четко по данным аэровизуального обследования и дешифрирования снимков полигональный рельеф прослеживается в долинах рек Горбылях, Могот, Амуначи (левый приток р. Тимптон) [8]. Ледяные жилы залегают в нижних частях склонов или днищах долин. Внешне они проявляются по наличию канавообразных микропонижений, образующих полигоны с размерами сторон от 10 до 15–18 м. 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



Рис. 3. Активная термоэрозия в средней части трассы, 2011 г. Фото: И.В. Дорофеев
Fig. 3. Active thermal erosion in the middle part of the route, 2011. Photo: I.V. Dorofeev

увлажненных марей. Особенно наглядны на местности последствия процесса термоэрозии (рис. 3). Были проведены специальные мероприятия, позволившие повысить устойчивость пород. По данным [2], особенности географического распространения ММП в Южной Якутии предполагают полное отсутствие термокарстовых процессов лишь на склонах и водоразделах Лено-Алданского и Чульманского плато. Инъекционные льды, развивающиеся на участках неравномерного пучения грунтов, ограничены и обычно приурочены к участкам наледеобразования. В целом наледи в южной части трассы распространены очень широко, практически во всех долинах термокарста наледных полей происходит почти на всей территории Алданского щита. Развитие современных термокарстовых образований на юге Якутии не связано с общим изменением климата, а обусловлено местными причинами: динамикой растительного покрова, торфонакопления, поверхностного и внутригрунтового стока, а также денудационными процессами [2].

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. В приустьевой части бассейна процессы наледеобразования выражены слабо, что связано, вероятно, с повышением водопрпускной способности русла и подрусловых отложений, а также со снижением водообильности горных пород, представленных гранитоидами.

Таким образом, к числу основных геоэкологических задач в процессе завершения строительства ГТС относится изучение особенностей реакции природной среды на многоплановое и разномасштабное воздействие в результате прокладки трубы и создание объектов инфраструктуры.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Результаты проведенных сотрудниками ИМЗ имени П.И. Мельникова СО РАН исследований позволяют высказать соображения по компенсационным мероприятиям применительно к наиболее

сложным в геоэкологическом и геотехническом отношении участкам трассы, существенно различающимся по особенностям прокладки трубы. Наиболее сложными являются участки развития каменных развалов – курумов (см. рис. 1), пучения, подземных льдов инъекционного и сегрегационного характера, термокарста, термоэрозии (см. рис. 2), где строителей могут ожидать значительные трудности технологического характера. Более благоприятны в этом отношении участки с близким к поверхности залеганием пород коренной основы, серьезно упрощающим условия строительства.

Серьезного внимания заслуживает проблема диагностики состояния элементов ГТС. Не исключая традиционных методов 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 специализированных оптико-электронных системах.

Строительство «Силы Сибири» ведется из лучших отечественных труб, высокое качество которых выступает важнейшим условием надежности ГТС.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОЕКТА

Сейчас ГТС активно строится на протяжении трех участков: первого – от Чаяндинского месторождения в Якутии до г. Благовещенска на границе с КНР, протяженностью около 2200 км; второго – от Ковыктинского месторождения в Иркутской обл. до Чаяндинского, длиной около 800 км. На третьем этапе проводится расширение газотранспортных мощностей на участке от Чаяндинского месторождения до г. Благовещенска.

Особенно важным в геотехническом отношении является подводный переход трансгра-



ничного участка «Силы Сибири» через р. Амур [6]. На его создание «Газпром» и CNPC подписали ЕРС-контракт. Сооружение перехода с китайской стороны началось в апреле 2017 г., а уже в мае 2018 г. был открыт временный двусторонний пункт пропуска через российско-китайскую границу для организации в пограничной зоне доступа и беспрепятственной работы строительной техники и персонала.

Продолжает сохраняться особое внимание к экологическим проблемам. Для минимизации воздействия на окружающую среду маршрут «Силы Сибири» проложен преимущественно по участкам редколесий и старых гарей. На рис. 4 хорошо видно, насколько продуманно с геотехнологической точки зрения спроектирован переход ГТС через один из крупных водотоков в средней части трассы. Оценивая современные темпы строительства, руководство «Газпрома» планирует ввести газопровод в эксплуатацию к 20 декабря 2019 г. Таким образом, реализация проекта как с российской, так и с китайской стороны осуществляется строго по графику.

Важным условием успешной реализации проекта является обеспеченность надежной ресурсной базы. В качестве ее основы 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 2 км. Все скважины работают в режиме испытания,



Рис. 4. Спланированный переход трубы через крупный водоток в средней части трассы

Fig. 4. Planned transition of the pipe through a large stream flow in the middle part of the route

определяющего запасы и качество топлива. В период освоения месторождения рядом с разведочными скважинами построят еще несколько эксплуатационных – для добычи газа.

Кроме Чаяндинского, «Газпром» продолжает подготовку Ковыктинского месторождения к переводу из опытно-промышленной разработки в стадию промышленной эксплуатации. Помимо двух месторождений, ООО «Газпром экспорт» в начале 2018 г. завершило конкурсную процедуру по предстоящей реализации объемов гелия с Амурского газоперерабатывающего завода (ГПЗ). Заключены долгосрочные контракты с крупнейшими компаниями мирового рынка промышленных газов. Как известно, кроме природного газа, богатые месторождения Восточной Сибири позволяют добывать такой ценный продукт, как гелий, необходимый во многих отраслях промышленности. Растущий спрос на продукцию Амурского ГПЗ – крупнейшего

завода по производству гелия – гарантирует систематические поступления в бюджет страны. Амурский ГПЗ станет первым в России и вторым по мощности в мире предприятием по переработке природного газа – 42 млрд м³ газа в год. Завод будет перерабатывать многокомпонентный газ из Якутского и Иркутского центров газодобычи и извлекать из газа ценные для газохимической и других отраслей промышленности компоненты: этан, пропан, бутан, пентан-гексановую фракцию и гелий. После этого очищенный природный газ будет поступать на экспорт в Китай. Подготовленные для поставки на экспорт контейнеры с гелием будут направляться из портов Дальнего Востока России на зарубежные рынки.

ВЫВОДЫ

Трасса газопровода в основном проходит по пологим элементам рельефа с неглубоким залеганием коренных пород карбонатной и терригенной формаций палеозоя

и терригенной формации нижней юры, сильно трещиноватых и нестойких к выветриванию, особенно в зонах тектонических нарушений. Это определяет их высокую водопроницаемость, снижение несущей способности грунтов оснований и широкое развитие карста [1]. Четвертичные породы представлены образованиями в основном элювиального, склонового и аллювиального генезиса мощностью от 0 до 10 м.

По трассе ГТС широко развиты ММП, имеющие характер распространения от массивно-островного до прерывистого при средней годовой температуре на подошве слоя годовых колебаний от 0 до $-2,5$ °С. Наи-

более суровые в мерзлотном отношении районы приурочены к днищам долин и нижним частям склонов. Состав мерзлых толщ в основном представлен слабльдистыми грунтами, а более высокое содержание льдов характерно для заболоченных и заторфованных участков долин, до глубины 2 м.

Наиболее широкое распространение из современных экзогенных геологических процессов по трассе ГТС имеют: выветривание, карст, речная эрозия, суффозия, заболачивание, гравитационные обвалы и осыпи. Из числа криогенных процессов преобладают приуроченные к днищам долин трещинообразование, термокарст

и солифлюкция, пучение грунтов и наледообразование. Наиболее масштабные опасные процессы эндогенного характера в районе работ – землетрясения, а из числа физико-геологических – мерзлотный карст. На всех стадиях работ (от разведки и подбора площадки до проведения водоохраных мероприятий) обеспечивается экологическая безопасность этой территории.

В середине мая 2018 г. руководство ПАО «Газпром» сообщило, что газопровод «Сила Сибири» построен на 83 %, к этому моменту был проложен 1791 км газопровода от Чаяндинского месторождения до границы с Китаем в Амурской обл. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Строкова Л.А., Ермолаева А.В. Природные особенности строительства магистрального газопровода «Сила Сибири» на участке Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение – Ленск // Известия Томского политех. ун-та. 2015. Т. 326. № 4. С. 41–55.
2. Алексеев В.Р. Ландшафтная индикация наледных явлений. Новосибирск: Наука, 2005. 364 с.
3. Мельников Е.С., Гречищев С.Е. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов. М.: ГЕОС, 2002. 402 с.
4. Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М.: Изд-во МГУ, 1990. 383 с.
5. Гостева А.В., Глебова Е.В., Черноплеков А.Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на магистральных газопроводах на основе результатов анализа риска // Нефть, газ и бизнес. 2009. № 9. С. 68–70.
6. Железняк М.Н., Сериков С.И., Шац М.М. Газотранспортная система «Сила Сибири»: Современные проблемы и перспективы // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2017. № 4. С. 48–56.
7. Задериголова М.М. Снижение техногенных рисков на подводных переходах ЛЧ МГ с опасными геодинамическими процессами // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2013. № 9. С. 18–23.
8. Труш Н.И., Чижов А.Б., Чижова Н.И. Южная Якутия. Мерзлотно-гидрогеологические и инженерно-геологические условия Алданского горнопромышленного района. М.: Изд-во МГУ, 1975. 444 с.
9. White W.B. Karst Hydrology: Recent Developments and Open Questions // Engineering Geology. 2002. Vol. 65. Iss. 2–3. P. 85–105.
10. Железняк М.Н. Геотемпературное поле и криолитозона юго-востока Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 2005. 227 с.
11. Железняк М.Н., Сериков С.И., Шац М.М. Газотранспортная система «Сила Сибири»: Современные проблемы и перспективы // Недропользование XXI век. 2018. № 1. С. 118–131.
12. Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П. и др. Мерзлотные ландшафты Якутии. Пояснительная записка к Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР масштаба 1:2 500 000. Новосибирск: ГУГК, 1989. 170 с.
13. Макаров В.Н. Геоэкологические условия территории нефтяного комплекса Талакан – Витим // Наука и образование. 1998. № 2. С. 100–106.
14. Шац М.М. Геоэкологические проблемы нефтегазовой отрасли Якутии // Промышленная безопасность и экология. 2009. № 10. С. 36–42.

REFERENCES

1. Strokova L.A., Ermolaeva A.V. Natural Features of Constructing the Main Gas Pipeline «The Power of Siberia» on a Site Chayandinskoye Oil and Gas Field – Lenск. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, 2015, Vol. 326, No. 4, P. 41–55. (In Russian)
2. Alekseev V.R. Landscape Indication of Aufeis Phenomena. Novosibirsk, Nauka, 2005, 364 p. (In Russian)
3. Melnikov E.S., Grechishchev S.E. Permafrost and Development of Oil and Gas Bearing Areas. Moscow, GEOS, 2002, 402 p. (In Russian)
4. Geocryology of the USSR. Middle Siberia. Moscow, Publishing House of the Moscow State University, 1990, 383 p. (In Russian)
5. Gosteva A.V., Glebova E.V., Chernoplekov A.N. Cross-Country Gas Pipelines Emergencies Predicting Based on the Risk Assessment Results. Neft, gaz i biznes = Oil, Gas and Business, 2009, No. 9, P. 68–70. (In Russian)
6. Zheleznyak M.N., Serikov S.I., Shatz M.M. Gas Transportation System “The Power of Siberia”: Modern Problems and Prospects. Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika = Pipeline Transport: Theory and Practice, 2017, No. 4, P. 48–56. (In Russian)
7. Zaderigolova M.M. Decrease in Technogenic Risks on Underwater Passages of Line Section of Main Gas Pipelines with Dangerous Geodynamic Processes. Territoriya “NEFTEGAS” = Oil and Gas Territory, 2013, No. 9, P. 18–23. (In Russian)
8. Trush N.I., Chizhov A.B., Chizhova N.I. Southern Yakutia. Permafrost-Hydrogeological and Engineering-Geological Conditions of the Aldan Mining Region. Moscow, Publishing House of Moscow State University, 1975, 444 p. (In Russian)
9. White W.B. Karst Hydrology: Recent Developments and Open Questions. Engineering Geology, 2002, Vol. 65, Iss. 2–3, P. 85–105.
10. Zheleznyak M.N. Geothermal Field and Cryolithozone of the Southeast of the Siberian Platform. Novosibirsk, Nauka, 2005, 227 p. (In Russian)
11. Zheleznyak M.N., Serikov S.I., Shatz M.M. The Gas Transportation System “The Power of Siberia”: Current Problems and Prospects. Nedropolzovanie XXI vek = Subsoil Using – XXI Century, 2018, No. 1, P. 118–131. (In Russian)
12. Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P., et al. Permafrost Landscapes of Yakutia. Explanatory Note to the Frozen-Landscape Map of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic of 1: 2 500 000 Scale. Novosibirsk, Main Department for Geodesy and Cartography, 1989, 170 p. (In Russian)
13. Makarov V.N. Geocological Conditions of the Territory of the Oil Complex Talakan – Vitim. Nauka i obrazovanie = Science and Education, 1998, No. 2, P. 100–106. (In Russian)
14. Shats M.M. Geocological Problems of Oil and Gas Industry of Yakutia. Promyshlennaya bezopasnost i ekologiya = Industrial Safety and Ecology, 2009, No. 10, P. 36–42. (In Russian)