

УДК 624.131

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Строкова Людмила Александровна¹,
strokova@sibmail.com

Ермолаева Алёна Викторовна¹,
alyona7@inbox.ru

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность работы обусловлена ростом аварийности на линейной части магистральных газопроводов в труднодоступных, малонаселенных и малоосвоенных регионах, вследствие неконтролируемого развития опасных геологических процессов в сложных природно-климатических условиях.

Цель работы: оценка и прогноз локализации оседания земной поверхности в зоне влияния магистрального газопровода в южной Якутии. Задачи: выявление критериев состояния геологической среды, способствующих оседанию поверхности, разработка методики районирования по степени опасности процесса оседания в геоинформационной системе.

Методика исследования: анализ материалов инженерно-геологических изысканий для проектирования объектов линейной инфраструктуры магистрального газопровода «Сила Сибири» на участке «Чаянда–Ленск», подборка картографического материала, разработка структуры данных в геоинформационной системе, критериев районирования по степени опасности карстового и термокарстового процессов; построение картографических схем в геоинформационной системе, выделение опасных, потенциально-опасных и неопасных участков по трассе магистральных газопроводов.

Результаты. Рассмотрены основные и особые нагрузки и воздействия на магистральный газопровод. Отмечено влияние процессов оседания земной поверхности на возникновение дополнительных механических напряжений в стенке трубопровода. Определены опасные инженерно-геологические процессы, приводящие к оседанию земной поверхности на участке «Чаянда–Ленск» магистрального газопровода «Сила Сибири». Разработана информационная база по инженерно-геологическим условиям строительства, определены критерии отнесения участка газопровода к опасным, потенциально-опасным, неопасным. Построены схемы районирования территории по степени опасности, вследствие карстового и термокарстового процессов. Предложено использование в дальнейшем полученных данных для предварительной оценки трубопровода на прочность и устойчивость на опасных участках.

Ключевые слова:

Магистральные газопроводы, оценка риска, напряженно-деформированное состояние, геоинформационные системы, карст, термокарст.

Введение

В настоящее время перспективы развития газовой отрасли неотъемлемо связаны с такими регионами, как Иркутская область, п-ов Ямал, о. Сахалин, Республика Саха (Якутия), находящихся в сложных природно-климатических условиях. Существующие нормативные документы в области проектирования магистральных трубопроводов в достаточной мере обеспечивают надежность Единой системы газоснабжения (далее – ЕСГ), в то же время вероятность возникновения аварийных ситуаций, инцидентов, отказов, инициированных природными факторами, сохраняется.

Одной из причин данной тенденции, по данным ООО «Газпром ВНИИГАЗ» [1], является изменение природных систем под воздействием техногенной нагрузки. Кроме того, отмечается активизация опасных процессов и явлений на стадиях строительства и эксплуатации, которые в ненарушенных условиях не фиксировались и не представляли опасности. Также немаловажен тот факт, что проектирование, строительство и эксплуатация трубопроводных систем ведется в малоосвоенных регионах, где регулярные наблюдения за опасны-

ми природными процессами и явлениями охватывают непродолжительный период, таким образом, расчет параметров зданий и сооружений будет проводиться исходя из необъективных данных.

Напряженно-деформированное состояние любого несущего элемента линейной части магистрального газопровода однозначно определяется характеристиками воздействующих на него нагрузок [2–10]. Эти нагрузки изменяются в зависимости от характеристик окружающей среды, параметров перекачиваемого продукта и т. п. Все нагрузки и воздействия на магистральный газопровод подразделяются на постоянные и временные, которые в свою очередь делятся на длительные, кратковременные и особые.

Особыми нагрузками и воздействиями на магистральные газопроводы принято называть те, которые возникают в результате деформаций грунтовых оснований. Эти нагрузки должны определяться на основании данных анализа грунтовых условий и их возможного изменения в процессе строительства и эксплуатации трубопровода [11].

Важную роль при возникновении особых нагрузок на магистральные газопроводы играют про-

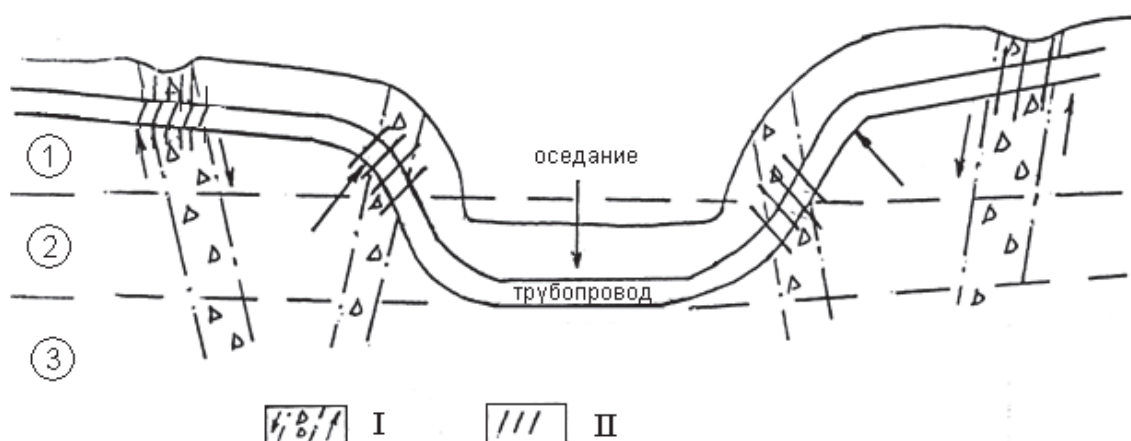


Рис. 1. Схема формирования мульды оседания земной поверхности и дополнительных напряжений в системе труба – массив горных пород: I – тектонически ослабленные зоны, определяющие блоковый характер векторных деформаций земной коры; II – дополнительные напряжения на металле трубопровода в связи с формированием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

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

цессы оседания земной поверхности. Данные процессы оказывают существенное влияние на рельеф поверхности земли, формируя мульды оседания (рис. 1) на значительных площадях [12].

При воздействии данных процессов на трубопровод возникают дополнительные механические напряжения, что в конечном счете усиливает влияние других дефектов в стенке магистрального газопровода. Дополнительные нагрузки, воздействующие в период эксплуатации, приводят к быстрому износу трубопровода. Самыми распространенными и опасными являются непроектные нагрузки под воздействием вышеупомянутых источников, которые практически невозможно учесть при проектировании. Выявлять действие непроектных нагрузок возможно на стадии строительства и эксплуатации путем расчета напряженно-деформированного состояния трубопровода на участках оседания земной поверхности.

Объект и методика исследования

На сегодняшний день инвестиционный проект «Магистральный газопровод "Сила Сибири"» является одним из крупнейших проектов ПАО «Газпром». Осуществление данной программы позволит увеличить рост уровня социально-экономического развития республики Саха (Якутия), Амурской области, реализовать экспортный потенциал страны, ориентированный на Азиатско-Тихоокеанский регион.

В связи с вышеизложенным рассмотрим перспективы возникновения процессов оседания земной поверхности строящегося газопровода «Сила Сибири» в Южной Якутии, на участке «Чаян-

да-Ленск» протяженностью 160 км. На данной территории оседание поверхности, способствующее возникновению механических напряжений в металле трубопровода, приводящее к снижению его эксплуатационной надежности, может быть вызвано карстом и термокарстом.

Для достижения поставленной цели выполнены следующие этапы работы. На первом этапе был проведен анализ имеющихся материалов комплексных инженерных изысканий, рассмотрены природные условия оседания поверхности, подобран соответствующий картографический материал. Обработка данных была организована с применением программных продуктов ГИС MapInfo Professional и AutoCAD [13–15]. На втором этапе было проведено ранжирование по степени опасности вследствие карстовых и термокарстовых процессов.

В данной работе использовались следующие исходные данные:

- материалы комплексных инженерных изысканий, выполненных ФГУП «ВостСиб АГП», ООО «Промнефтегазпроект», ООО «Ингеоком», ОАО «Фундаментпроект» по объекту «Магистральный газопровод "Сила Сибири"», участок «Чаянда-Ленск», 0–160 км [16];
- государственная геологическая карта (листы Р-49-XXX, Р-49-XXXVI, Р-50-XXV, Р-50-XXVI, Р-50-XXXI, Р-50-XXXII);
- топографические карты (листы Р-49-XXXV-XXXVI, Р-49-XXIX-XXX, Р-50-XXXI-XXXII, Р-50-XXV-XXVI).

В геоинформационной системе MapInfo Professional использовался послойный принцип организации информации. Были построены следую-



Рис. 2. Общая структура данных в геоинформационной системе

Fig. 2. General structure of the data in the geographic information system

щие информационные таблицы (слои): скважины, государственная геологическая карта, карта четвертичных отложений, гидрография, геофизические исследования, участки с развитием карста (рис. 2).

Основным векторным информационным слоем в данной работе является слой «Скважины». Данный слой содержит информацию о составе и свойствах пород в инженерно-геологическом разрезе. Фактический материал по скважинам составляет более 1500 единиц, в базе данных указаны следующие характеристики грунта: вид грунта по ГОСТ 25100, льдистость, влажность на границе текучести, влажность на границе раскатывания, число пластичности, модуль деформации, влажность за счет незамерзшей воды, плотность грунта, плотность сухого грунта, предел прочности на одноосное сжатие (в воздушно-сухом состоянии, при водонасыщении), льдистость за счет ледяных

включений. Пример интерпретации геолого-литологической колонки скважины в ГИС представлен на рис. 3.

На всем протяжении трассы магистральный газопровод пересекает значительное количество водотоков, в связи с этим разработан слой «гидрография», источником для которого послужили материалы инженерно-экологических изысканий (рис. 4).

В ходе маршрутных наблюдений при проведении инженерных изысканий по трассе трубопровода зафиксированы участки проявлений поверхностного и глубинного карста в виде блюдцев, зон разуплотнения. Данный критерий внесен в разработанную базу данных (рис. 5).

Государственная геологическая карта является растровым слоем, служащим для определения линеаментов – характерных форм рельефа, приуроченных к зонам повышенной трещиноватости (рис. 6).

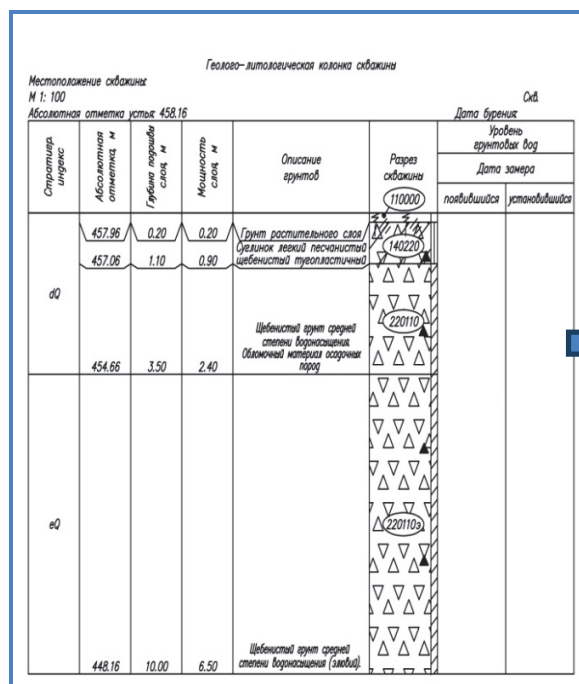


Рис. 3. Схема формирования данных геолого-литологической колонки в ГИС

Fig. 3. Scheme of formation of the geological-lithological column data in GIS

№	X	Y	H	Мощность слоя, м	Классификация грунта по ГОСТ 25100-2011 (разновидность)	Классификация грунта по ГОСТ 25100-2011 (разновидность)
скв. 69	xxx	xxx	458,16	0,2	грунт растительного слоя	
скв. 69	xxx	xxx	457,96	0,9	суглинок	легкий, песчанистый, щебенистый, тугопластичный
скв. 70	xxx	xxx	457,06	2,4	грунт щебенистый	средней степени водонасыщенный
скв. 69	xxx	xxx	454,66	6,5	грунт щебенистый	средней степени водонасыщенный (эпювий)



Рис. 4. Фрагмент слоя «Гидрография»

Fig. 4. Portion of a layer «Hydrography»

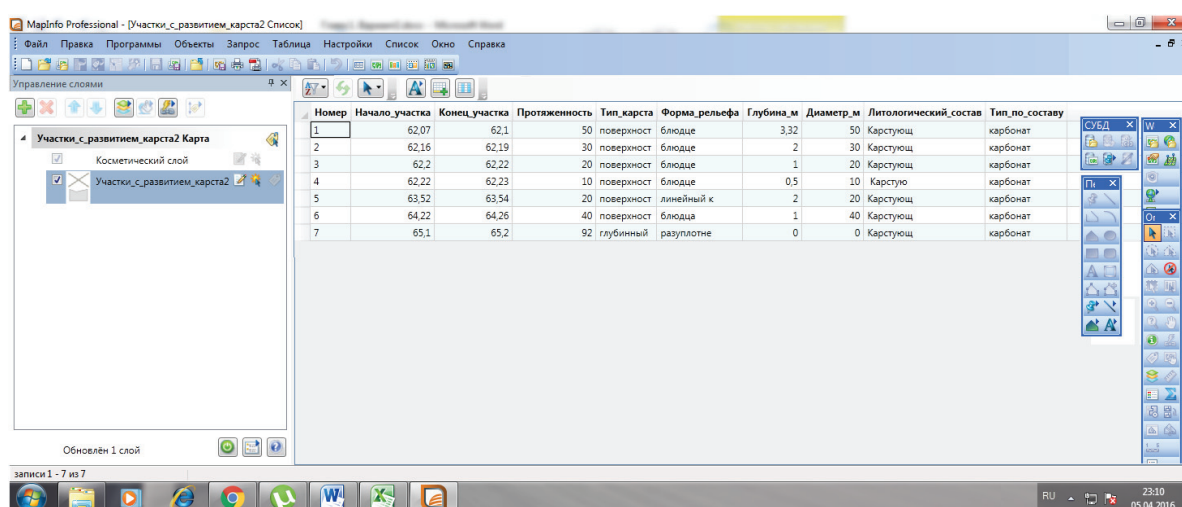


Рис. 5. Слой «Участки с развитием карста» в ГИС «Mapinfo Professional» в форме таблицы

Fig. 5. Layer «Sites with karst development» in «Mapinfo Professional» in the form of a table

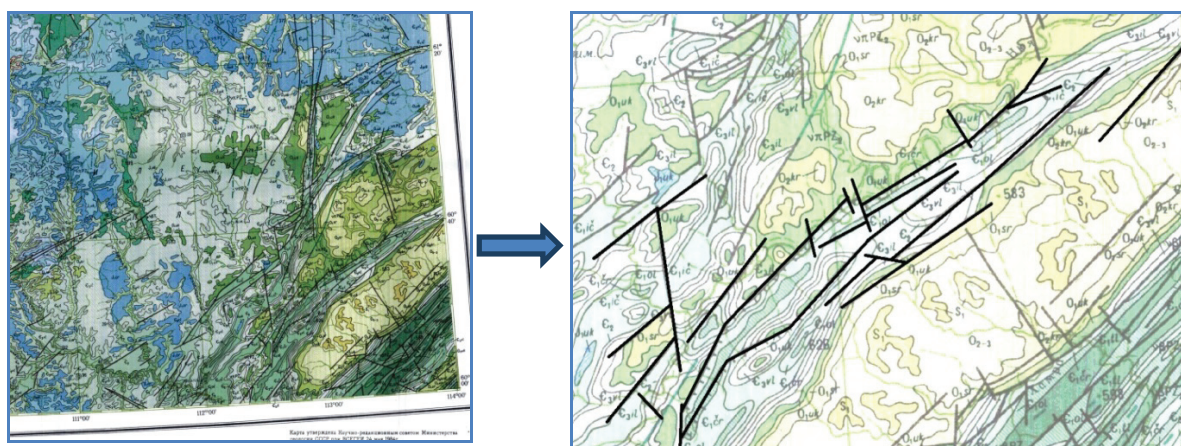


Рис. 6. Фрагмент государственной геологической карты и слой «Линеаменты» в ГИС

Fig. 6. Part of the state geological map and layer «Lineaments» in GIS

Таким образом, была разработана информационная база по инженерно-геологическим условиям территории строительства.

Одним из методов прогнозирования опасных природных процессов является районирование территории строительства по степени опасности проявления процесса.

Под геологической опасностью понимается возможность (угроза) проявления геологических процессов, способных наносить материальный ущерб [17]. Анализ необходимости выполнения инженерной защиты и выбор ее проектного варианта следует осуществлять на основании оценки риска опасных геологических процессов с учетом прогнозируемых предотвращенных потерь (ущерба и социальных потерь). Для выбора оптимального варианта инженерной защиты технические и технологические решения и мероприятия должны быть обоснованы и содержать оценки экономического, социального и экологического эффектов при осуществлении конкретного варианта или отказе от него. Расчеты и оценки, связанные с соответствующими обоснованиями, должны основываться на исходных материалах одинаковой точности, детальности и достоверности, на единой нормативной базе, одинаковой степени проработки вариантов, идентичном круге учитываемых затрат и результатов. Сравнение вариантов инженерной защиты при различии в результатах их осуществления должно учитывать затраты, необходимые для приведения их к сопоставимому виду. При определении экономического эффекта инженерной защиты в размер ущерба должны быть включены потери от воздействия опасных геологических процессов и затрат на компенсацию последствий от этих воздействий.

Анализ публикаций, посвященных оценке опасности карста, свидетельствует, что эта проблема в целом разработана, благодаря исследованиям Ф.П. Саваренского (1939), Г.А. Максимовича (1963, 1969), И.В. Попова (1959), Н.А. Гвоздецкого (1972, 1981), К.А. Горбуновой (1977, 1979, 1992), В.Н. Дублянского (1984, 1992), Г.Н. Дублянкой (1992, 1998), В.П. Зверева (1967), В.М. Кутепова (1989), А.Г. Лыкошина (1968, 1992), И.А. Парабучева (1992), И.А. Печеркина (1966, 1969), И.А. Саваренского (1962, 1990, 1995), Д.С. Соколова (1962), А.В. Ступишина (1947, 1954, 1967, 1972), В.В. Толмачева (1980, 1986, 1990, 2004), Ю.Б. Трждинского (1977, 1999), В.Н. Андрейчука (1995, 1999, 2001), В.Н. Катаева (2001, 2004), Е.В. Колосова (1984, 2000), А.В. Лехова (1986), Н.А. Миронова (1977, 1988, 1995), А.И. Печеркина (1983, 1986), В.П. Хоменко (1986, 2003), К.С. Джонсона (2004), Ф. Ройтера (1981), Х. Молека (2004) и многих других крупных ученых и практиков. Ими были установлены основные закономерности карстового процесса и роль отдельных факторов в его развитии, разработаны показатели и классификации как самого процесса, так и его проявлений, созданы методы изучения, оценки устой-

чивости и районирования карстоопасных территорий. Хотя до сих пор отмечаются значительные расхождения в понимании содержания основных терминов, так нет единого определения карстовой опасности, не разработаны общие правила, последовательность ее определения.

Для региональной оценки карстовой опасности до последнего времени использовались в основном качественные методы, основу которых составляет районирование территорий преимущественно по инженерно-геологическим факторам формирования карста (Горбунова и др., 1992; Катаев, 2001; Абдрахманов и др., 2002). В отдельных случаях данная операция дополняется оценкой факторов карстообразования в баллах, их суммированием и типизацией на этой основе ранее обособленных таксонов районирования по степени их опасности или устойчивости относительно карстовых деформаций [20].

Общепринятой интегральной мерой карстовой опасности до последнего времени являлась среднелетняя интенсивность провалообразования, предложенная З.А. Макеевым (1948). Существует несколько классификаций и методов количественной прогнозной оценки карстовой опасности или устойчивости территорий для карстовых провалов, разработанных И.А. Саваренским (1967, 1995, СП 11–105–97 (часть II)), В.В. Толмачевым (1980, 1986), Ф. Ройтером и др. (1981). Данные методы позволяют устанавливать интенсивность или вероятность образования провалов определенных размеров. Но они практически не применимы для региональной оценки карстовой опасности больших по площади территорий, малонаселенных и слабоизученных в геологическом отношении, какой является южная Якутия. Как уже было отмечено ранее, для территории проектирования объекта отсутствуют многолетние наблюдения о наличии и развитии геологических процессов. Учитывая вышеизложенное, предлагается оценивать участки трассы по степени предрасположенности к карстовому процессу, исходя из региональных и зональных геологических факторов инженерно-геологических условий территории.

Результаты и их обсуждение

Анализ публикаций о количественных вероятностно-статистических интегральных показателях опасности проявления карста [2, 8, 12, 18, 19], нормативных рекомендаций, имеющих данных инженерных изысканий позволил отобрать следующие группы показателей: структурно-тектонические, гидрогеологические, геологические, геоморфологические, геофизические.

В качестве показателей, характеризующих карстовую опасность, выбраны следующие: количество пересечений линейного объекта с линиями, глубина установившихся грунтовых вод, показатель агрессивности подземных вод, наличие карстующихся пород, наличие/отсутствие водопора, удаленность от речной сети, наличие поверх-



Рис. 8. Схема районирования по степени опасности термокарста

Fig. 8. Zoning according to thermokarst hazard ranking

При оценке опасности термокарста необходимо учитывать опыт проектирования, строительства и эксплуатации первого нефтепровода в криолитозоне – «ВСТО-1». Почти треть трассы данного сооружения расположена в зоне массивно-островного распространения многолетнемерзлых грунтов, оттаивание которых может вызвать недопустимые изменения планово-высотного положения трубопровода и угрозу его функционирования.

Для развития процесса термокарста особую озабоченность вызывают участки с льдогрунтами, пластовыми и полигонально-жильными подземными льдами. Основным фактором, увеличивающим опасность проявления термокарста, является изменение теплообмена на поверхности почвы, при котором глубина сезонного оттаивания начинает превышать глубину залегания подземного льда или сильнольдистых многолетнемерзлых пород. При вырубке просеки для эксплуатации магистрального газопровода происходит изменение глубины сезонного оттаивания-промерзания, что приводит к оттаиванию подземного льда и, как следствие, к проявлению термокарста.

Таблица 2. Критерии опасности развития термокарста

Table 2. Indicators of thermokarst hazards

Участок/Area	Показатели/Indicators
Опасный Dangerous	Наличие в инженерно-геологическом разрезе мономинеральных залежей льда мощностью более 0,1 м Presence of monomineralic ice (depth more than 0,1 m) in geological column
Потенциально опасный Potentially dangerous	Наличие в инженерно-геологическом разрезе пород с льдистостью ($i_{\text{лг}}$ д. е. > 0,3) Presence of ice content in rocks (unit fraction > 0,3) in geological column
Неопасный Safe	Отсутствие в инженерно-геологическом разрезе пород с льдистостью > 0,3 и мономинеральных залежей льда Absence of ice content rocks (unit fraction > 0,3) and monomineralic ice in geological column

Для определения опасных участков предлагается следующий алгоритм: анализ геолого-литологических колонок скважин для определения участков трассы с наличием подземных льдов (опасный участок) и сильнольдистых пород (потенциально опасный участок) (табл. 2).

Путем выборок в ГИС MapInfo Professional выделены зоны по степени опасности развития термокарста (рис. 8), в соответствии с критериями, указанными в табл. 2.

Выводы

В работе представлены схемы районирования по степени опасности оседания земной поверхности в зоне влияния магистрального газопровода в Южной Якутии. Анализ литературных источников, данных инженерно-геологических условий района строительства газопровода позволил выявить условия и факторы оседания поверхности в результате карстового процесса и термокарста.

Выбраны критерии по каждому процессу, установлены интервалы значений показателей, характеризующихся различной степенью опасности. Пространственный анализ показателей природных условий позволил определить участки развития процессов в полосе отвода магистрального газопровода с разной долей вероятности. Выбор того или иного критерия был обусловлен, в одной стороны, необходимостью использования данных повседневной изыскательской практики и относительной простотой установления показателей природных условий, ответственных за развитие оседания, с другой стороны, максимально объективного отражения условий протекания процесса оседания.

В дальнейшем планируется расчет и оценка напряженно-деформированного состояния трубопровода на опасных участках для определения необходимости проведения компенсационных мероприятий. Полученные результаты можно использовать при обосновании применения средств инженерной защиты в проектной документации и для оптимизации мероприятий геотехнического мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власова Л.В., Ракитина Г.С., Долгов С.И. Влияние природных факторов на устойчивость функционирования Единой системы газоснабжения России. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. – 184 с.
2. Тигулев Е.А., Мустафин Ф.М. Оценка влияния грунтовых условий и выработка конструктивных решений по снижению напряженно-деформированного состояния трубопроводов в зонах активных тектонических разломов при подвижках грунта // Трубопроводный транспорт – 2015: материалы X Международной учебно-научно-практической конференции. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – С. 320–323.
3. Ларионов В.И., Новиков П.А., Гумеров А.К. Анализ напряженно-деформированного состояния трубопровода на участках с карстами // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. – 2012. – № 3. – С. 60–67.
4. Honegger D.G., Nyman D.J. Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines. Contract PR-268–9823. Arroyo Grande, CA: Pipeline Research Council International, Inc., 2005. 206 p.
5. Optimization of engineering solutions for thermal stabilization of saline permafrost soils at bases of structures by means of two-phase heat pipes / R.M. Bayasan, S.I. Golubin, G.P. Pustovoyt, T.V. Proshina, A.G. Korotchenko // Heat pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources: VII Minsk International Seminar. – Minsk, Belarus, 2008. – P. 367–370.
6. Ingebritsen S.E., Sanford W.E., Neuzil C.E. Groundwater in geologic processes. 2nd edition. – New York: Cambridge Univ. Press, 2006. – 536 p.
7. Baker R. Variational slope stability analysis of materials with nonlinear failure criterion // The Electronic Journal of Geotechnical Engineering. – 2005. – V. 10. – Bundle A. URL: <http://www.ejge.com/2005/Ppr0514/Ppr0514.htm> (дата обращения: 3.02.2007).
8. Carrera A. Multivariate models for landslide hazard evaluation // Mathematical Geology. – 1983. – V. 15. – № 3. – P. 403–426.
9. Kalaugher P.G., Hodgson R.L.P., Grainger P. Pre-failure strains as precursors of sliding in a coastal mudslide // Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. – 2000. – V. 33. – P. 325–334.
10. Troncone A. Numerical analysis of a landslide in soils with a strained softening behavior // Geotechnique. – 2005. – V. 55. – № 8. – P. 585–596.
11. Бурков П.В., Ключ О.В., Шатров А.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов, проложенных в условиях вечной мерзлоты // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 7–11 апреля 2014 г. В 2 т. Т. 2. – С. 565–566. URL: <http://portal.tpu.ru/files/conferences/usovma/2014/tom2-2014.pdf>
12. Примеры моделирования карстовых процессов / А.Я. Гаев, Ю.А. Килин, И.Н. Алферов, Н.С. Алферова // Карстовые системы севера в меняющейся среде: материалы конф. – Пинега-Голубино, 2011. – С. 34–37.
13. Чихарев В.А. Использование геоинформационных технологий при проведении геотехнического мониторинга трубопроводного транспорта // Трубопроводный транспорт. Мониторинг и транспорт. – № 4 (32). – 2012. – С. 4–6.
14. Применение геоинформационных систем для оценки влияния природных факторов на техническое состояние магистральных газопроводов ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» / А.Н. Распутин, В.А. Желобецкий, С.Н. Куимов, К.В. Постаутов // Газовая промышленность. – 2009. – № 11. – С. 81–83.
15. Гостева А.В., Глебова Е.В., Черноплёков А.Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на магистральных газопроводах на основе результатов анализа риска // Нефть, газ и бизнес. – 2009. – № 9. – С. 68–70.
16. Технический отчет. Выполнение комплексных инженерных изысканий по объекту «Магистральный газопровод «Сила Сибири»». Участок Чаянда–Ленск. В 5 т. – Саратов: ОАО «ВНИПИгаздобыча», 2012.
17. Природные опасности России. Т. 1. Экзогенные геологические опасности / под ред. В.П. Кутепова, А.И. Шеко. – М.: Изд. фирма «КРУК», 2002. – 345 с.
18. Золотарев Д.Р., Катаев В.Н. Воздействие линейной тектоники на развитие карстовых процессов на локальном уровне // ГЕОРИСК. – 2013. – № 1. – С. 34–43.
19. Влияние геологического строения территории на распределение карстовых форм (на примере территории г. Кунгура) / В.Н. Катаев, С.В. Щербаков, Д.С. Золотарев, О.М. Лихая, Т.Г. Ковалева // Вестник Пермского университета. Научный журнал. Вып. 3. Геология. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2009. – С. 77–93.
20. Щербаков С.В., Катаев В.Н. Интегральная оценка карстоопасности урбанизированных территорий (на примере г. Кунгур) // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – Т. 153. – Кн. 1. – С. 203–224.

Поступила 18.07.2016 г.

Информация об авторах

Строкова Л.А., доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Ермолаева А.В., аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 624.131

ZONING ACCORDING TO THE HAZARD LEVEL OF EARTH SURFACE SUBSIDENCE WHEN DESIGNING THE MAIN GAS PIPELINE IN SOUTH YAKUTIA

Lyudmila A. Strokova¹,
strkova@sibmail.com

Alyona V. Ermolaeva¹,
alyona7@inbox.ru

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Relevance of the research is caused by growth of accident rate on linear part of the main gas pipelines, owing to dangerous geological processes in low-developed regions which are in difficult climatic conditions.

The main aim of the research is to evaluate and predict localization of the earth's surface subsidence in the area of influence of the main gas pipeline in South Yakutia. Tasks: to identify the criteria of geological media state, resulting in the earth's surface subsidence constructed; to develop the zoning technique according to the subsidence degree in geoinformation system.

Research methodology: analysis of materials of engineering-geological researches for designing the objects of linear infrastructure of the main gas pipeline «Force of Siberia» on a site «Chayanda–Lensk», selection of cartographic materials, development of structural data on geographic information system, criteria of division into districts on hazard degree of karst and thermokarst processes, plot of cartographical schemes in geographic information system, allocation of dangerous, potential-dangerous sites on the route of the main gas pipelines.

The results. The authors have considered the main and super loads and impacts on the main gas pipeline. The earth surface subsidence impact on occurrence of additional mechanical tension in a pipeline wall is noted. The authors determined hazardous engineering-geological processes leading to the earth surface subsidence on a site «Chayanda–Lensk» of the main gas pipeline «Force of Siberia». The information base on engineering-geological conditions of construction was developed and the criteria of referring a site of the gas pipeline to the hazardous one, potential-hazardous, harmless are defined and allocated on groups. The authors plotted the schemes of the territory division into districts on hazard degree owing to karst and thermokarst processes and proposed to use the obtained data for preliminary estimation of the pipeline on durability and stability on hazardous sites.

Key words:

Main gas pipelines, risk evaluation, stress-strain state, GIS, karst, thermokarst.

REFERENCES

1. Vlasova L.V., Rakitina G.S., Dolgov S.I. *Vliyanie prirodnnykh faktorov na ustoychivost funktsionirovaniya Edinoy sistemy gazo-snabzheniya Rossii* [Influence of natural factors on stability of the Unified gas supply system of Russia]. Moscow, Gazprom VNI-IGAZ Publ., 2009. 184 p.
2. Tigulev E.A., Mustafin F.M. Otsenka vliyaniya gruntovykh uslovy i vyrabotka konstruktivnykh resheny po snizheniyu napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovodov v zonakh aktivnykh tektonicheskikh razlomov pri podvizhnykh grunta [Evaluation of soil conditions effect and development of constructive solutions to reduce stress-strain state of pipelines in areas of active tectonic faults during ground movements]. *Truboprovodny transport – 2015: materialy X Mezhdunarodnoy uchebno-nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proc. 10th Symp. Pipeline transport – 2015]. Ufa, 2015. pp. 320–323.
3. Larionov V.I., Novikov P.A., Gumerov A.K. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovoda na uchastkakh s karstami [Analysis of Stress and Strain State of a Pipeline in Karst Areas]. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University Series Mechanical Engineering*, 2012, no. 3, pp. 60–67.
4. Honegger D.G., Nyman D.J. *Guidelines for the Seismic Design and Assessment of Natural Gas and Liquid Hydrocarbon Pipelines*. Contract PR-268–9823. Arroyo Grande, CA, Pipeline Research Council International, Inc., 2005. 206 p.
5. Bayasan R.M., Golubin S.I., Pustovoi G.P., Proshina T.V., Korotchenko A.G. Optimization of engineering solutions for thermal stabilization of saline permafrost soils at bases of structures by means of two-phase heat pipes. *Proc. 7th Minsk International Symp. Heat pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources*. Minsk, Belarus, 2008, pp. 367–370.
6. Ingebritsen S.E., Sanford W.E., Neuzil C.E. *Groundwater in geologic processes*. New York, Cambridge Univ. Press, 2006. 536 p.
7. Baker R. Variational slope stability analysis of materials with nonlinear failure criterion. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2005, vol. 10, bundle A. Available at: <http://www.ejge.com/2005/Ppr0514/Ppr0514.htm> (accessed 3 February 2007).
8. Carrera A. Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Mathematical Geology*, 1983, vol. 15, no. 3, pp. 403–426.
9. Kalaugher P.G., Hodgson R.L.P., Grainger P. Pre-failure strains as precursors of sliding in a coastal mudslide. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 2000, vol. 33, pp. 325–334.
10. Troncone A. Numerical analysis of a landslide in soils with a strained softening behavior. *Geotechnique*, 2005, vol. 55, no. 8, pp. 585–596.
11. Burkov P.V., Klyus O.V., Shatrov A. G. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya podzemnykh truboprovodov, prolozhennykh v usloviyakh vечноy merzloty [Investigation of the stress-strain state of underground pipelines in the permafrost]. *Problemy geologii i osvoeniya nedr: trudy XVIII Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchennykh* [Problems of Geology and exploitation of mineral resources. Trudy XVIII International symposium named after academician M.A. Usov for students and young researchers]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. house, 2014. Vol. 2, pp. 565–566. Available at: <http://portal.tpu.ru/files/conferences/usovma/2014/tom2–2014.pdf> (accessed 3 February 2015).

12. Gaev A.Ya., Kilin Yu.A., Alferov I.N., Alferova N.S. Primery modelirovaniya karstovykh protsessov [Examples of modeling karst processes]. *Karstovye sistemy severa v menyayushcheyse srede*. [Proc. Symp. Northern karst systems in our changing environment]. Pinega-Golubino, Russia, 2011. pp. 34–37.
13. Chiharev V.A. Ispolzovanie geoinformatsionnykh tekhnology pri provedenii geotekhnicheskogo monitoringa truboprovodnogo transporta [Use of geoinformation technologies in geotechnical monitoring of pipeline transport]. *Truboprovodny transport. Monitoring i transport*, 2012, no. 4 (32), pp. 4–6.
14. Rasputin A.N., Zhelobetsky V.A., Kuimov S.N., Postautov K.V. Primenenie geoinformatsionnykh sistem dlya otsenki vliyaniya prirodnykh faktorov na tekhnicheskoe sostoyanie magistralnykh gazoprovodov OOO «Gazprom transgaz Ekaterinburg» [Using GIS to assess the impact of environmental factors on technical condition of main gas pipelines LLC «Gazprom transgaz Yekaterinburg»]. *Gazovaya promyshlennost*, 2009, no. 11, pp. 81–83.
15. Gosteva A.V., Glebova E.V., Chernoplekov A.N. Prognozirovaniye chrezvychaynykh situatsiy na magistralnykh gazoprovodakh na osnove rezultatov analiza riska [Forecasting emergencies at gas-main pipelines on the basis of the risk analysis results]. *Neft, gaz i biznes*, 2009, no. 9, pp. 68–70.
16. Tekhnicheskyy otchet. Vypolnenie kompleksnykh inzhenernykh izyskany po obektu «Magistralny gazoprovod «Sila Sibiri». Uchastok Chayanda–Lensk [Technical report. Implementation of complex engineering surveys on the main gas pipeline «Power of Siberia». The Chayanda–Lensk Section]. Saratov, VNIPIgazdobycha, 2012. Vol. 1–5.
17. *Prirodnye opasnosti Rossii. Ekzogennyye geologicheskie opasnosti* [Natural hazards of Russia. Exogenous geological hazards]. Moscow, Kruk Publ., 2002. Vol. 1, 345 p.
18. Zolotarev D.R., Kataev V.N. Impact of lineament tectonics on development of karst processes at local level. *GeoRisk*, 2013, no. 1, pp. 34–43. In Rus.
19. Kataev V.N., Shcherbakov S.V., Zolotarev D.S., Likhaya O.M., Kovaleva T.G. Influence of geological structure of the territory on distribution of karst forms (by the example of Kungur). *Bulletin of Perm University. Geology*, 2009, vol. 3, pp. 77–93. In Rus.
20. Shcherbakov S.V., Kataev V.N. Integralnaya otsenka karstoopasnosti urbanizirovannykh territoriy (na primere g. Kungur) [Analysis of Stress and Strain State of a Pipeline in Karst Areas]. *Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series*, 2011, vol. 153, B. 1, pp. 203–224.

Received: 18 July 2016.

Information about the authors

Lyudmila A. Strokova, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Alena V. Ermolaeva, postgraduate, National Research Tomsk Polytechnic University.