

© Е.Е. ПОДБОРНЫЙ, В.А. ЧИХАРЕВ

epodbornyy@yandex.ru, chivasiliy@mail.ru

УДК 911.9; 624.159.2; 551.4.042

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЧАСТКОВ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГАЗОПРОВОДА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

АННОТАЦИЯ. Показаны взаимодействия технической и природной сред, приводящие к ненормативному состоянию газотранспортной геотехнической системы, на двух ключевых участках газопроводной системы Заполярное — Уренгой. Описание основано на экспериментальных данных, полученных в ходе многолетнего геотехнического мониторинга. Помимо измерения температур грунтов и морозного пучения, проведен анализ пространственной сопряженности геосистем и инженерно-геологической обстановки.

На первом анализируемом участке магистрального газопровода рассматривается контакт типов прокладки, ставший зоной разгрузки блокированных валиком обваловки вод, что привело к активно проявляющемуся морозному пучению грунтов.

Второй анализируемый участок магистрального газопровода подземного типа прокладки с использованием пригрузов представляет собой компенсатор в заторфованном долинообразном понижении. Фиксирование тела газопровода на мерзлых минеральных бортах заторфованного массива без достаточного заглубления и «вход» трубы в торф на малой глубине, привело к увеличению глубины сезонного промерзания, образованию перелетков и всплытию на дневную поверхность газопровода.

SUMMARY. The article shows an interaction between technical and natural environments, resulting in abnormal conditions of gas transportation system. Description is based on experimental data derived during long-term geotechnical monitoring which was performed by the staff of "TyumenNIIgiprogas", LLC. In addition to measuring of soil temperature and frost heave, the analysis of spatial contingency of geosystem with geotechnical conditions has been performed.

The analysis of the first section of the gas-main pipeline allows to describe a joint between types of packing which serves as a relieving zone for water blocked by banking.

The second section of the gas-main pipeline of underground packing type with using of cantledge is regarded as a compensator in the turfed valley depression. Fixation of gas pipeline's body in the frozen mineral sides of turfed area without sufficient deepening in and gas pipeline's shallow entrance into peat caused the increase in the depth of seasonal freezing, formation of permanent snowdrift and pipeline floating to the surface.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Газопровод, геотехническая система, морозное пучение, регистратор (логгер) данных температуры, устойчивость.

KEY WORDS. Gas pipeline, geotechnical system, frost heave, temperature data logger, stability.

Магистральные трубопроводы при их значительной протяженности в различных ландшафтных условиях, образуют сложные сочетания геотехнических систем (ГТС), прямых и обратных связей в них. Разнообразие, величина контраста ландшафтных условий, и как следствие, структура и связи внутри ГТС, определяют устойчивость функционирования газотранспортной системы и природной среды [1-3].

Объекты и методика результатов исследования

В статье приводится детальный анализ взаимодействия двух участков газопровода с вмещающей средой на основе инструментального анализа пространственного распространения криогенных процессов, динамики температурного поля и процессов морозного пучения.

Температурный режим грунтов определялся с запланированной периодичностью (1 раз в два месяца), в ряде скважин измерения температуры производятся каждые сутки, в соответствии с опытом [4] и требованиями [5-6] проведения работ. Измерение температуры в скважинах осуществлялось термодатчиками ТК-10.10 с регистрацией измерений программно-аппаратным измерительным комплексом «Логгер LPC-m», погрешность измерения 0,1°C.

Первый тестовый участок магистрального газопровода проложен в многолетнемерзлых суглинистых грунтах IV озерно-аллювиальной равнины [7-8]. Растительный покров представлен рядом ассоциаций: от лишайниковых (по дренированным поверхностям), до травяно-мохово-лишайниковых мелкозалежных болот с термокарстовыми западинами (заболоченные склоны). Ложбины стока приурочены к заторфованным долинам ручьев с нечетко выраженными водотоками, сливающимися ниже по склону с образованием постоянных ручьев.

На участках без распространения ММП выбран подземный вариант прокладки с заглублением трубы с утяжелением бетонными пригрузами. По долинам стока с участками ММП принят наземный вариант прокладки, имеющий участки воздушных переходов через водоток. На анализируемом участке магистрального газопровода происходит смена типов прокладки, при этом пригрузки, утяжеляющие газопровод, находятся здесь выше уровня земли в выпученном состоянии.

Прокладка трубопровода привела к блокированию и перераспределению стока в двух направлениях: правого с разгрузкой вод на участке смены типа прокладки от подземного к наземному (в 50 м по оси нитки до перекрытия) и левого, где разгрузка вод происходит вдоль основания насыпи (рис. 1).

Для мониторинга состояния ГТС на участке оголения пригрузов установлены термоскважины (Тс) (рис. 2), вне зоны теплового влияния газопровода (Тс1-56), на участках теплового влияния с эффектами морозного пучения (Тс1-57 и Тс1-58), а также в краевой части (Тс1-55 и Тс1-59), за пределами распространения пучения грунтов.

Разрез грунтов вне зоны теплового влияния газопровода Тс1-56 представлен немерзлыми супесчано-суглинистыми грунтами с глубиной сезонного промерзания 0,9-1,0 м. Средняя температура грунтов по разрезу составляет 1,5°C.



Рис. 1. Участок смены типов прокладки газопровода: подземного (вверху) и наземного (средняя часть). Стрелками показано направление стока, красным цветом выделены зоны разгрузки вод через МГ

Участок газопровода с оголенными пригрузами (Тс1-57, Тс1-58) находится на талых грунтах с глубиной сезонного промерзания 1 м. Средняя температура грунтов по разрезу положительная и составляет от 0,9°С до 1,0°С.

В краевой части заболоченного участка (20-30 м от участка с оголенными пригрузами, Тс1-55, Тс1-59) газопровод расположен на пучинистых пластично-мерзлых грунтах. Средняя температура мерзлых грунтов, что ниже слоя сезонного оттаивания, составляет от -0,2°С (Тс1-55) до 0,4°С (Тс1-59), а глубина сезонного оттаивания составила 2 м. Таким образом, участок с пригрузами опирается по краям на пучинистые мерзлые высокотемпературные грунты.



Рис. 2. Расположение наблюдательных термоскважин на участке оголения пригрузов (центральная часть космоснимка)

Анализ направления стока [9] и температуры грунтов за период наблюдения показывает, что имеет место нестабильное состояние термического режима грунтов, обусловленное положением участка пучения в зоне разгрузки поверхностных вод. Величина выпучивания газопровода по данным технического нивелирования за пять лет составила 70 мм.

Изменчивость температурного поля во времени объясняется нелинейностью восстановительной реакции природной среды, выраженной в изменчивости температурного поля при стабильных условиях эксплуатации технического ядра ГТС (трубопровода).

Второй, тестовый участок магистрального газопровода подземной прокладки с пригрузами, представляет собой компенсатор в заторфованном долинообразном понижении, покрытом травяно-моховыми сообществами, шириной 130 м, характеризуется наличием талого торфяного массива мощностью до 3 м. Морфологические признаки мерзлотного пучения отсутствуют [9-10]. Мерзлые минеральные

бугры, покрытые мохово-кустарниковыми листовиннично-березовыми сообществами, располагаются только на склонах к заторфованному долинообразному понижению.

При создании компенсатора верхние части мерзлых минеральных бугров срезаны, краевые участки компенсатора лежат на мерзлых суглинках, а центральная часть компенсатора находится во всплывшем состоянии вместе с пригрузами и обваловкой.

Для мониторинга ГТС на участке оголения пригрузов установлены Тс (рис. 3), вне зоны теплового влияния газопровода (Тс1-40), в центральной части заторфованного долинообразного понижения Тс1-39, Тс1-41, Тс1-42 и Тс1-43, а также по его бортам Тс1-38, Тс1-44, Тс1-45 — на срезанных мерзлых минеральных буграх.

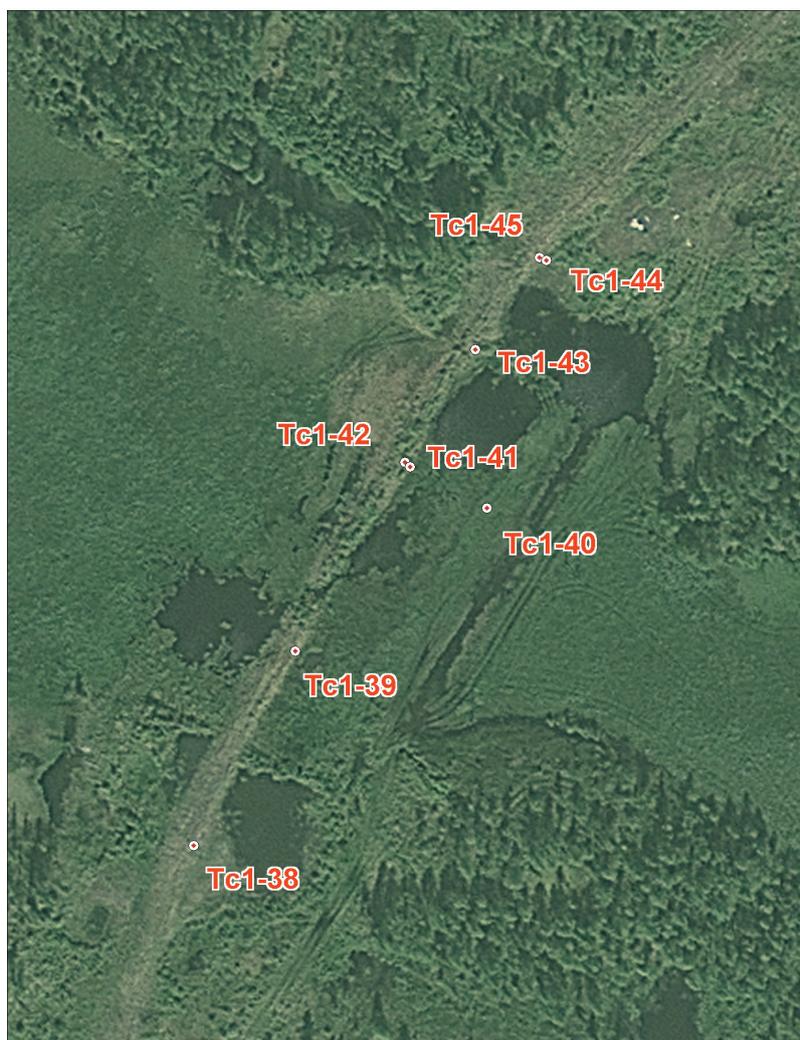


Рис. 3. Расположение наблюдательных термоскважин на участке

В Тс 1-40 (вне зоны теплового влияния газопровода), средняя температура грунтов по разрезу составляет 1,7°C. ММП отсутствуют, сезонно мерзлый слой (СМС) составляет 1,2 м (рис. 4).

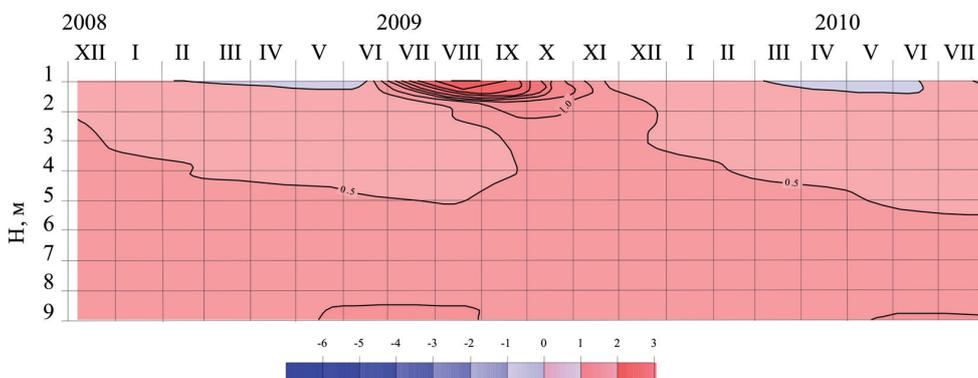


Рис. 4. Термоизоуплеты по скважине Тс1-40

Разрез в центральной части заторфованного долинообразного понижения (Тс1-41, 42) и на участке газопровода с оголением пригрузов (Тс1-43) до глубины 3 м сложен водонасыщенными пылеватыми песками, подстилаемыми тугопластичными суглинками с температурой грунтов выше 1°C. Тс1-42 вскрыта линза мерзлого среднеразложившегося сильнольдистого торфа, мощностью до 3,5 м. С удалением от газопровода, массив мерзлого грунта деградирует (рис. 5).

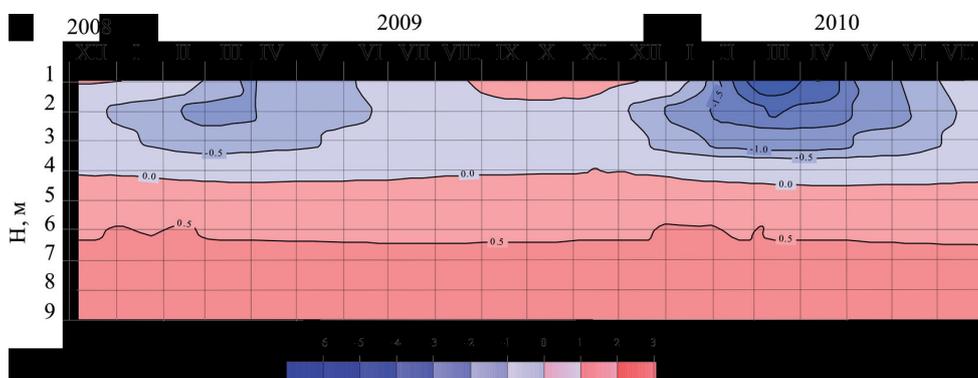


Рис. 5. Термоизоуплеты по скважине Тс1-42

Глубина промерзания грунтов у газопровода до 4 м, в летне-осенний период сохраняется высокотемпературный мерзлый грунт на глубинах от 2 до 3 м с температурой около -0,1°C. В 3 м от газопровода в Тс1-41 мерзлые грунты отсутствуют, при этом глубина промерзания грунтов составляет 1 м.

На участке оголения пригрузов (Тс1-43), в интервале глубин 1—3 м залегают ледогрунт. Средняя температура мерзлых грунтов, ниже слоя сезонного оттаивания, составляет минус 0,3°С (рис. 6).

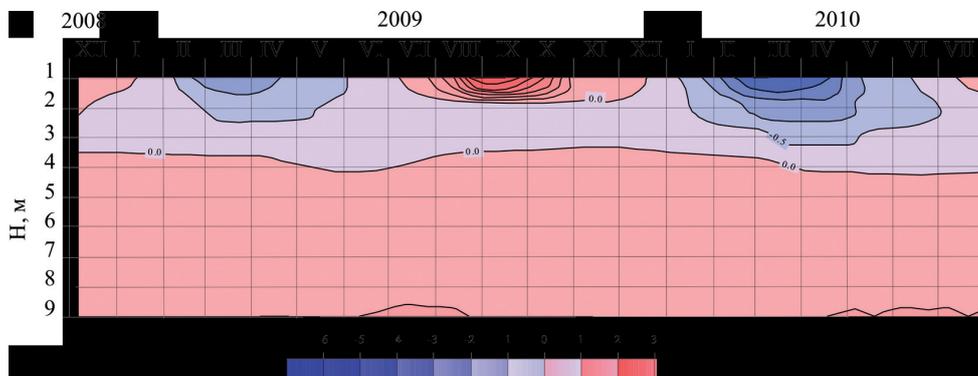


Рис. 6. Термоизоплеты по скважине Тс1-43

Ландшафтное положение Тс1-39 (рис. 7), описание разреза, а так же ход температур аналогичен предыдущему (Тс1-43).

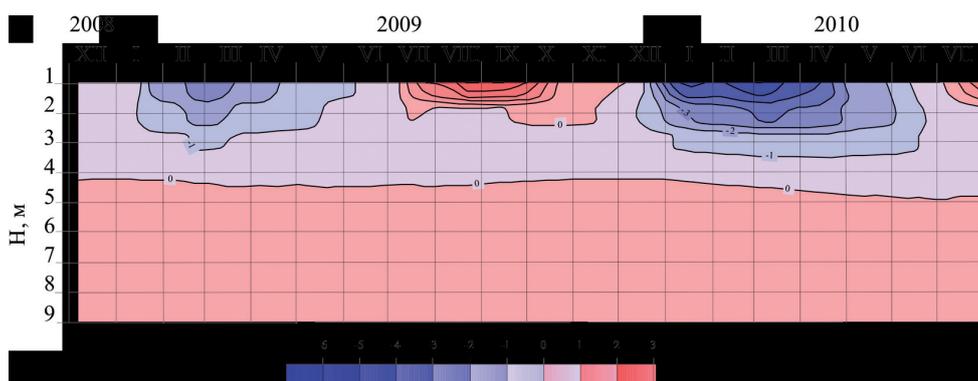


Рис. 7. Термоизоплеты по скважине Тс1-39

Тс1-45 и Тс1-44 расположены на расстоянии 0,75 и 1,9 м от газопровода, в краевой части заболоченного участка — на месте суглинистых льдистых мерзлых бугров пучения. ММП распространены до глубины 6 м. Глубина сезонного оттаивания составляет 2-2,5 м (рис. 8 и 9). За период наблюдения отмечается повышение средней температуры ММП с -0,4 до -0,1°С, что свидетельствует о деградации ММП.

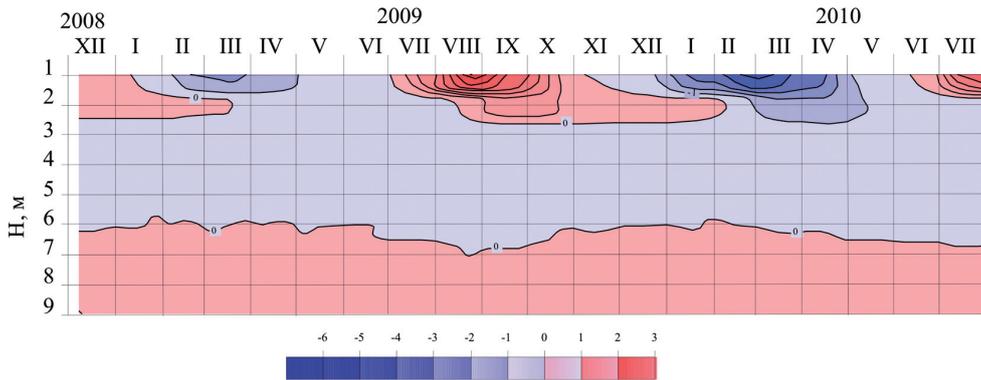


Рис. 8. Термоизоплеты по скважине Тс1-44

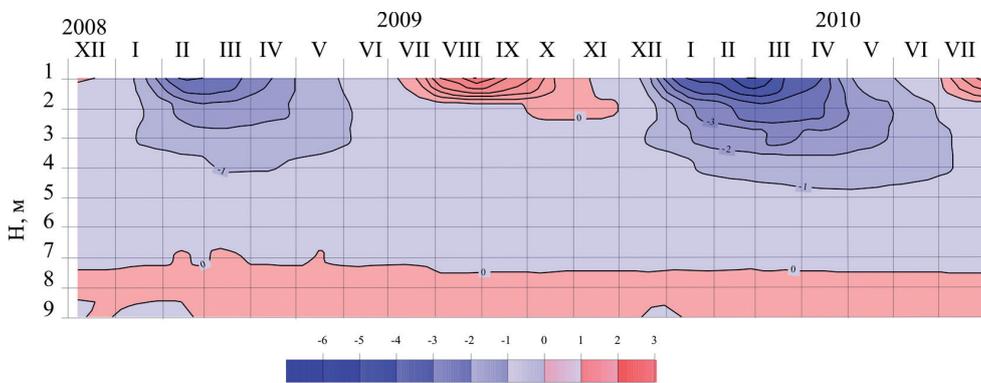


Рис. 9. Термоизоплеты Тс1-45

Скважина Тс1-38 расположена на противоположном берегу краевой части заболоченного участка, на месте суглинистых льдистых мерзлых бугров пучения, так же характеризуется деградацией мерзлоты (рис. 10).

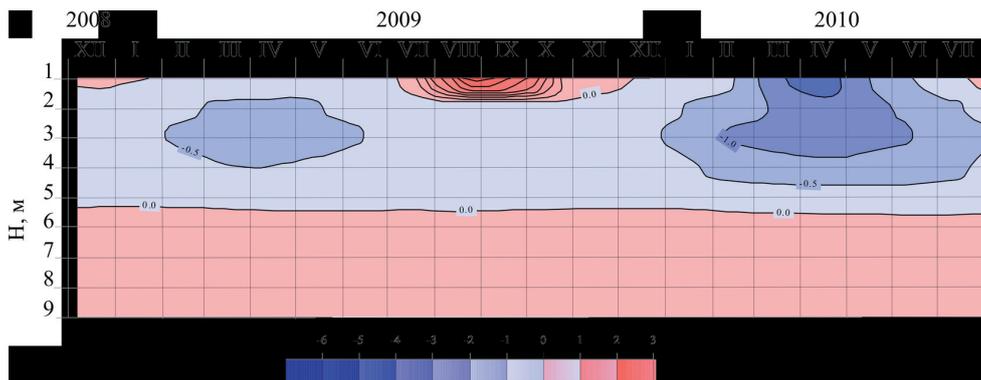


Рис. 10. Термоизоплеты по скважине Тс1-38

Анализируя термоизоплеты в скважинах, расположенных в непосредственной близости от трубопровода (Тс1-38, Тс1-39, Тс1-42, Тс1-43, Тс1-45) и на некотором удалении от него (Тс1-41, Тс1-40, Тс1-44) можно сделать вывод, что глубина промерзания зависит от наличия трубопровода с обваловкой, т.е. газопровод способствует теплообмену грунтов и атмосферы, увеличивая глубину промерзания и понижает среднегодовые температуры грунтов, что приводит к сезонному пучению грунтов. Наблюдения за деформацией выявили выпучивание трубопровода от 100 до 200 мм (в среднем 45 мм в год).

Выводы. Разделение на участки имело цель адаптировать типы прокладки к природным условиям, и в первую очередь ММП. Для дренированных участков без ММП применен подземный тип прокладки, без валика обратной засыпки. В понижениях с ММП применен наземный тип прокладки с надтрубным валиком, который на первом участке стал причиной блокирования стока, а вызванное этим дополнительное увлажнение привело к активно проявляющемуся морозному пучению грунтов. Таким образом, выбранные типы прокладки для целей сохранения ММП на первом тестовом участке привели к обратному эффекту через цепь связей в ПТК.

На втором участке последствием взаимодействия газопровода с окружающей средой явилось его всплытие в заторфованном долинообразном понижении над естественным уровнем грунта, что привело к увеличению сезонного промерзания грунтов с формированием под газопроводом слоя мерзлого грунта разной мощности — мерзлого грунтового перелетка.

Распределение температуры грунтов по глубине у газопровода не везде имеет установившийся характер. На береговых частях происходит медленное увеличение глубины оттаивания минеральных грунтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козин В.В. Ландшафтный анализ в нефтегазопромисловом регионе: Монография. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2007. 240 с.
2. Природные условия эксплуатации трубопроводов в Западно-Сибирской Субарктике: обзор / Власов С.В., Егурцов С.А., Чигир В.Г., и др.; ОАО «Газпром», Информ.-реклам. центр газовой пром-сти. М.: [б. в.], 2009. 92 с.
3. Антонов-Дружинин В.П. Физико-географические предпосылки оптимизации геотехнических систем Севера (на примере газотранспортной системы Уренгойского месторождения): Автореф. дисс. ... канд. географ. наук. М.: АН СССР, 1991. 29 с.
4. Ремизов В.В., Кононов В.И., Березняков А.И., и др. Надымгазпром: геотехномониторинг в криолитозоне. М.: ИРЦ Газпром, 2001
5. СТО Газпром 2-3.1-071-2006 Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ОАО «Газпром». Регламент организации работ по геотехническому мониторингу объектов газового комплекса в криолитозоне. М.: ИРЦ Газпром, 2006.
6. СТО Газпром 2-3.1-0721-2006 Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ОАО «Газпром». Регламент на проведение геотехнического мониторинга объектов газового комплекса в криолитозоне. М.: ИРЦ Газпром, 2006.
7. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: Омская картографическая фабрика, 2004. 303 с.
8. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Под ред. Е.С. Мельникова. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983, 163 с.

9. Украинцева Н.Г., Дроздов Д.С., Коростелев Ю.В., и др. Ландшафтно-индикационная (геосистемная) концепция в геокриологических исследованиях: подходы и результаты // Труды Десятой Междунар. конф. по мерзлотоведению Т. 3. Салехард. 2012. С. 527-532.

10. Чихарев В.А. Морфолого-динамическая структура типа местности заторфованных долинообразных понижений // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 7. Серия «Науки о Земле». С. 85-92

REFERENCES

1. Kozin, V.V. *Landshaftnyj analiz v neftegazopromyslovom regione* [Landscape analysis in petroleum field region]. Monograph. Tyumen: Tyumen State University Publ., 2007. 240 p. (in Russian).

2. *Prirudnye uslovija jekspluatacii truboprovodov v Zapadno-Sibirskoj Subarktike: obzor* [Natural settings for pipeline maintenance in West Siberian Sub-Arctic Region: review] Vlasov, S.V., Egurcov, S.A., Chigir, V.G., and others. «Gazprom», JSC, Information advertising center of natural gas industry. M., 2009. 92 p. (in Russian).

3. Antonov-Druzhinin, V.P. *Fiziko-geograficheskie predposylki optimizacii geotekhnicheskikh sistem Severa (na primere gazotransportnoj sistemy Urengojского месторождения)* (Avtoref. diss. kand.) [Physiographic prerequisites for optimization of geotechnical systems in the North (on the data of gas-transport system of Urengoy deposit) (Cand. Diss. thesis). M.: Academy of Science, USSR, 1991. 29 p. (in Russian).

4. Remizov, V.V., Kononov, V.I., Bereznjakov, A.I., and others. *Nadymgazprom: geotekhnomonitoring v kriolitozone* [Nadymgazprom: geotechnology monitoring in cryolithic zone]. M.: Information Advertising Center Gazprom, 2001. (in Russian)

5. *STO Gazprom 2-3.1-071-2006 Dokumenty normativnye dlja proektirovanija, stroitel'stva i jekspluatacii ob#ektov OAO «Gazprom». Reglament organizacii rabot po geotekhnicheskomu monitoringu ob#ektov gazovogo kompleksa v kriolitozone* [STO Gazprom 2-3.1-071-2006 Regulations for project engineering, construction and maintenance of JSC Gazprom projects. Regulations for organizational management in geotechnical monitoring of gas system objects in cryolithic zone]. M.: Information Advertising Center Gazprom, 2006 (in Russian).

6. *STO Gazprom 2-3.1-0721-2006 Dokumenty normativnye dlja proektirovanija, stroitel'stva i jekspluatacii ob#ektov OAO «Gazprom». Reglament na provedenie geotekhnicheskogo monitoringa ob#ektov gazovogo kompleksa v kriolitozone* [STO Gazprom 2-3.1-0721-2006 Regulations for project engineering, construction and maintenance of JSC Gazprom projects. Regulations for implementation of geotechnical monitoring of gas system objects in cryolithic zone]. M.: Information Advertising Center Gazprom, 2006 (in Russian).

7. *Atlas Jamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Atlas of Yamal-Nenets Autonomous Okrug]. Omsk: Omsk cartographic factory, 2004. 303 p. (in Russian).

8. *Landshafty kriolitozony Zapadno-Sibirskoj gazonosnoj provincii* [Landscapes of cryolithic zone in West Siberian gas-bearing province]. Edited by E.S. Melnikova. Novosibirsk, Nauka. Siberian Branch, 1983, 163 p. (in Russian).

9. Ukrainceva, N.G., Drozdov, D.S., Korostelev, Ju.V., and others. Landscape indicative (geosystematic) conception in geocryolithic research: approaches and results. *Trudy Desjatoj Mezhdunar. konf. po merzlotovedeniju*. Salehard, 2012. (Works of 10th International Conference in Geocryology). Vol. 3. Salekhard, 2012. P. 527-532 (in Russian).

10. Chiharev, V.A. Morphologic dynamic structure of locality types of muck land valley-like sinking. *Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta — Tyumen State University Herald*. 2012. № 7. P. 85-92 (in Russian)