
ПРИКПАДНАЯ ПАНДШАФТНАЯ ЭКОПОГИЯ

© В.В. КОЗИН, В.А. ЧИХАРЕВ

kozin1945@mail.ru, chivasiliy@mail.ru

УДК 911.53; 911.9; 624.159.2; 551.4.042

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СОПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В КРИОЛИТОЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

АННОТАЦИЯ. На основе анализа пространственного взаимодействия элементов геотехнической системы при помощи картографирования оценивается дифференцированная ландшафтно-экологическая среда создаваемых коридоров транспорта газа.

Построены серии карт масштаба 1:5000 ключевых участков: ландшафтно-экологические (группы ландшафтных фаций) с отражением элементов геотехнических систем и гидротопов (местоположений, отличающихся условиями увлажнения). Инвентаризация выделов карт производилась на основе регистрации фотоструктурных единств на космических снимках.

Разработана легенда карты местоположений, отличающихся условиями увлажнения: выделены сухие, свежие, влажные, сырые и торфяномерзлые гидротопы; проведено их описание в пространственной сопряженности с анализом влияния на инженерное состояние газопроводной системы.

Установлены причины и характер водной эрозии, процессов термокарста и размыва обвалования, приводящие газотранспортные системы к ненормативному состоянию и значительному удорожанию транспорта газа. Даны рекомендации по мониторингу и проектированию газопроводных геотехнических систем в коридорах коммуникаций, с учетом взаимного влияния инженерных объектов через природные комплексы.

SUMMARY. The article suggests a way to estimate the environmental features of the gas transportation corridors. The estimate is based on the analysis of spatial interaction between elements of geotechnical systems powered by cartographic methods. The authors compiled a set of 1:5000 maps of the key areas: landscape and ecological maps of different types of landscape environments showing elements of geotechnical systems and hydrographic features of areas which vary in humidity conditions. The inventory of the areas on the map is based on the analysis of photo structural unities at aerospace pictures. The maps also have a legend for areas with different humidity conditions: it shows dry, fresh, humid, damp area types and frozen peat hydrotops; these types have been described and linked to the analysis of their influence on the engineering status of the contiguous gas pipeline system.

The article identifies the reasons and describes characteristics of water erosion, processes of thermokarst and ground swell undercutting, which contribute to deterioration of gas transportation system and add to its costs. The article includes recommendations on monitoring and design of gas pipeline geotechnical systems in the utilities corridors which are based on the knowledge of interaction between engineering projects via ecosystems.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Газопровод, геотехническая система, термоэрозия, водная эрозия, устойчивость.

KEY WORDS. Pipeline, geotechnical system, thermal erosion, hydro erosion, stability.

В результате многолетнего мониторинга трубопроводных систем в Надым-Пур-Тазовском междуречье сотрудниками ООО «ТюменНИИгипрогаз» [1-2], Тюменского университета [3-5] и других научных организаций [6-9] выявлены недостатки, связанные с несовершенством инженерно-технической базы для проектирования. В частности, при понимании объективности существования и функционирования геотехнических (ГТС) [1], [2], [5], [6], [10] и природно-технических систем (ПТС) [7-9] в составе проектной документации, обязательной к приему на Главгосэкспертизу [11], [12], отсутствуют требования к проектированию или учету геотехнических систем как самостоятельных категорий.

В данной статье приведен анализ изменчивости пространственной структуры геотехнических систем газопроводного транспорта на основе результатов картографирования геосистем пространственного взаимодействия (ГПВ).

Объекты и методы. Линейная часть системы магистральных газопроводов «Заполярье-Уренгой» в настоящее время включает три эксплуатируемые нитки магистральных газопроводов (МГ), диаметром 1420 мм, протяженностью около 190 км по каждой нитке, еще два газопровода — лупинга. Газопроводы проложены в едином технологическом коридоре с сетью подъездных автодорог. Первые три нитки газопроводной системы построены по I типу использования многолетнемерзлых грунтов основания — с сохранением мерзлоты. В целях выбора оптимально приемлемого решения по предупреждению оттаивания многолетнемерзлых пород (ММП) были применены 11 типов прокладки МГ. Для строящихся лупингов применяется только подземный тип прокладки МГ.

Кроме того, в коридоре коммуникаций проложены автомобильная дорога «Коротчаево—Заполярье», метанолопровод «Коротчаево—Заполярье», конденсатопровод «Заполярье—Уренгой» с сетью подъездных автодорог, пересекающих систему магистральных газопроводов. Общая ширина коридора коммуникаций достигает 10-15 км.

Согласно ландшафтному районированию Ямало-Ненецкого автономного округа [13-14] газопроводная система «Заполярье-Уренгой» относится к следующим ландшафтным районам: Пур-Тазовскому северному, Варга-Сылькинскому, Среднепурскому долинному и Хадуттэ-Пурскому районам. Зона прерывистого распространения характеризуется преимущественно высокотемпературных ММП.

Рассматриваемая газотранспортная геотехническая система включает иерархически соподчиненные типологические единицы: тип (подтип), род и вид участков.

Тип участка ГТС определяется групповыми свойствами местоположений, дифференцируемых по степени дренированности, гидро- и криоморфизма, обуславливающих способы прокладки газопровода (подземная, полуподземная, наземная, воздушный переход, подводный переход, водопропуск).

Подтип участка ГТС дифференцируется в зависимости от применения инженерно-конструкторских решений в рамках способа прокладки (термоизоляция, укрепление, утяжеление, замена типа грунта и др.), отражающих локальные мерзлотно-грунтовые особенности участка, учтенные при создании газопроводной системы.

Род участка ГТС лимитируется элементами структуры, набором форм мезо- и микрорельефа, создаваемых при строительстве участка газопроводной системы.

Вид участка ГТС — совокупность реакций природной среды, выраженная в виде закономерного набора фаций, дифференцированных по видам местоположений, направленных на стабилизацию (гармонизацию) созданных геосистем. Проявляется как пространственно-антропогенные структурные элементы, отражающиеся в биоценологических и гидроморфных рядах.

На ряд ключевых участков, на основе регистрации фотоструктурного единства (ФСЕ) космического снимка [4-5], построены серии карт масштаба 1:5000, отражающих группы фаций естественных ПТК и виды участков ГТС, их положение в структуре ГТС, а так же гидротопов — местоположений, отличающихся условиями увлажнения [15-16]. Итоговой является ландшафтно-экологическая карта геотехнической системы газопроводного транспорта, отражающая распределение геосистем пространственного взаимодействия [5].

Объект исследования — ключевой участок, в природном отношении расположенный в зоне лесотундры. Местность представлена пологоувалистыми слабо заболоченными поверхностями IV озерно-аллювиальной террасы, сложены с поверхности суглинками, покрытыми сообществами лишайников с листовичными редколесьями.

Основные поверхности территории расчленены ложбинами стока. Основным базисом эрозии является ручей без названия (рис. 1, юго-западная часть). Остальные ложбины стока мелкие и не образуют русловых форм. Многолетне-мерзлые породы представлены в увлажненных грунтах и под отложениями торфа.

Рассматриваемая территория представлена типами участков ГТС с прокладкой: подземной (высокие дренированные поверхности); полуподземной (ложбины стока, участки распространения ММП); воздушные переходы и водопропуск (нижние части ложбин стока), дифференцированные на девять подтипов участков ГТС.

Роды и виды участков ГТС учтены при ландшафтно-экологическом картографировании.

К процессам, приводящим к ненормативному состоянию элементов трубопроводного транспорта относятся: водная эрозия, термоэрозия и мерзлотное растрескивание.



Рис. 1. Космический снимок WorldView-2 ключевого участка

Результаты и их обсуждения. С инженерных позиций важной является оценочная (интерпретационная) карта гидротопов (рис. 2), построенная на базе инвентаризационной ландшафтно-экологической карты. Карта гидротопов отражает ряд местоположений, отличающихся условиями увлажнения сухие — свежие — влажные — сырые, торфяномерзлые.

Сухими гидротопами характеризуются основные поверхности дренированных массивов IV озерно-аллювиальной террасы, индикатором служит сплошной лишайниковый покров, хорошо фиксирующийся на КС. К сухим относятся также приподнятые поверхности надтрубных валов — ядер ГТС, зарастающие травяно-луговыми сообществами, краевые части ГТС и технологические проезды. Для них характерны залегание грунтовых вод глубже годового слоя колебания температур и отсутствие ММП.

К свежим гидротопам относятся участки локальных понижений и стоковые комплексы, не приводящие к накоплению воды на дневной поверхности. Представлены увлажненными низинами среди дренированных массивов с мохово-кустарничковыми сообществами, а также нижние части склонов дренированных массивов. Уровень грунтовых вод здесь 0,5—1 м. При этом в отдельные годы могут формироваться ледяные перелетки. При дальнейшем торфонакоплении происходит образование высокотемпературных ММП.

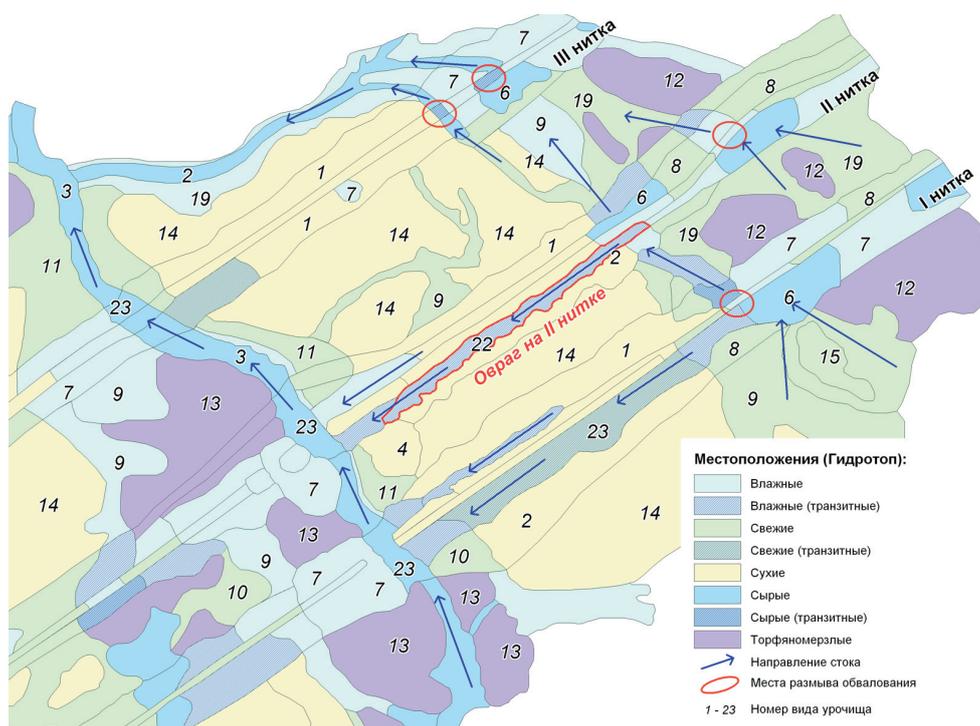


Рис. 2. Схема гидротопов участка газотранспортной ГТС

Влажные гидротопы представлены участками увлажненных стоковых комплексов с кустарниково-травяно-моховым покровом, нарушенные необводненные участки мерзлых торфяников. К участкам блокирования стока без формирования открытой водной поверхности. Уровень грунтовых вод здесь близок к поверхности, ММП представлены перелетками. На нарушенных, преимущественно торфяных, участках при «стабилизации» геосистемы происходит восстановление ММП.

К сырым гидротопам относятся ненарушенные участки с открытыми водными поверхностями, а также появившиеся в результате формирования антропогенных стоковых комплексов и локальных понижений (участки термокарста) с блокированием стока. Интенсивный прогрев летом приводит к повышению среднегодовых температур, деградации ММП и усилению термокарста.

Торфяномерзлые гидротопы представлены мерзлыми торфяниками по долинам водотоков мелкого порядка, а также плоскими болотами с мелкозалежным торфом (до 0,8 м) по долинам диффузного стока. При сооружении инженерных объектов участок с мерзлоторфяным гидротопом переходит при спуске воды во влажный, при блокировании в сырой гидротоп.

При отсутствии ММП степень гидроморфности определяется степенью перекрытия стока. При прокладке по участкам распространения ММП, последняя деградирует с формированием просадок грунта. При наличии дренажа местоположение становится влажным с последующей термостабилизацией, но при

блокировании талых вод они скапливаются в понижениях, образуя термокарстовые озера с последующим усилением деградации ММП.

При оценке состояния газопроводной ГТС особого внимания заслуживают гидротопы транзитного натечного увлажнения. К транзитным относятся участки в зоне пространственного влияния ГТС.

Анализ карты гидротопов показывает, что при сооружении ГТС нарушены ряды гидроморфности, за счет перераспределения грунтового и поверхностного стока. Создана принципиально новая ландшафтно-геоморфологическая ситуация вследствие замены геологического материала при засыпке и отсыпки оснований, изменения форм мезо- и микрорельефа и смене почвенно-растительных ассоциаций.

В склоновом комплексе северо-восточной части участка ядро ГТС состоит из трубопровода в теле насыпи полуподземной прокладки. Насыпь имеет превышение до 1 м, но выступает в роли дамбы для склонового комплекса, увеличивая гидроморфность (подпруживание) выше и уменьшая (осушение) ниже по склону (эффект нижнего и верхнего бьефа). В условиях параллельного существования нескольких ниток трубопроводов на незначительном расстоянии — 100-150 м, подпруживание приобретает каскадную форму.

При этом накопление влаги (подтопление) вызывает закономерное преобразование ГПВ, выражающееся в структурной перестройке геосистем — образовании обводненных болотных и озерковых комплексов с деградацией ММП, процессами термокарста и увеличением площади воздействия.

Накопленная влага в притрубопроводных понижениях частично фильтруется через тело обвалования, частично стекает через участки размыва обвалования, образуя временные водотоки. Основной объем поверхностного стока проходит в период снеготаяния (май-июнь), когда сезонная мерзлота препятствует фильтрации влаги через тело насыпи, что приводит к значительному накоплению талой воды в сырых понижениях и залповым сбросам вод, преобразующих нижележащую территорию.

Так, накопление влаги на участке первой нитки обуславливает залповые паводковые сбросы талых вод через размыв обвалования, образуя серию ГПВ транзитного гидроморфного ряда (рис. 2), блокирующаяся трубопроводным валом второй нитки, что привело к образованию оврага вдоль второй нитки, длиной 270 и глубиной до 3 метров (рис. 3).

Выводы. Направленность динамики природной подсистемы ГТС зависит от степени влияния техногенного тела на природную среду, проявляющейся в условиях созданных местоположений в виде ГПВ.

Негативные мерзлотно-эрозионные процессы являются формой обратной связи в системе «природная среда — техническое сооружение», как результат неполного учета факторов реакции природной среды.

Подпор поверхностного стока приводит к серии трансформаций ГПВ, при этом скорость негативных водно-мерзлотных процессов оврагообразования и термоэрозии зависит от объема воды в жидкой фазе — как основного природопреобразующего вещества.

Участки подпора поверхностных вод являются ключевыми для проведения геотехнического мониторинга в криолитозоне, так как позволяют установить характер и скорость протекания процессов, влияющих на устойчивость ГТС.



Рис. 3. Формирование оврага при залповыми паводковыми сбросам талых вод

При создании коридоров коммуникаций необходим учет взаимных влияний подсистем ГТС через ГПВ, в особенности каскадного подпруживания стока.

При проектировании и эксплуатации линейных сооружений необходим учет возможных залповых сбросов воды во время снеготаяния, приводящих к оврагообразованию. В естественных условиях оно невозможно из-за недостаточной водосборной площади.

Возможность количественной оценки с помощью материалов дистанционного зондирования, проведения геомониторинга, позволяет удешевить и распространить наблюдения за всем протяжением трубопроводной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров Ю.Ф. Инженерно-геологический мониторинг Западно-Сибирских газопромысловых и газотранспортных систем и пути повышения их надежности. М.: ВНИИГазпром, 1987. 45 с.
2. Чихарев В.А. Использование геоинформационных технологий при проведении геотехнического мониторинга трубопроводного транспорта // Трубопроводный транспорт [теория и практика]. 2012. № 4. С. 4-6.
3. Идрисов И.Р. Ландшафтно-экологическое обеспечение реконструкции магистральных нефтепроводов в Западной Сибири: Автореф. дисс. ... канд. географ. наук. Тюмень, 2003. 23 с.
4. Козин В.В. Ландшафтный анализ в решении проблем освоения нефтегазоносных районов: Автореф. дисс. ... д-ра географ. наук. Иркутск, 1993. 44 с.
5. Козин В.В. Ландшафтный анализ в нефтегазопромысловом регионе: Монография. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2007. 240 с.
6. 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.
7. Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции / под ред. Н.Г. Москаленко. М.: РАСХН, 2006. 358 с.
8. Природные условия эксплуатации трубопроводов в Западно-Сибирской Субарктике: обзор / Власов С.В., Егурцов С.А., Чигир В.Г., Ланчаков Г.А., Степаненко А.И.; ОАО «Газпром», Информ.-реклам. центр газовой пром-сти. М.: [б. в.], 2009. 92 с.
9. Ревзон А.Л. Аэрокосмический мониторинг состояния линейных природно-технических систем // Инженерная геология. 2012. № 1. С. 24-36.
10. Куницын Л.Ф. Освоение Западной Сибири и проблема взаимодействия природных комплексов и технических систем // Изв. АН СССР. 1970. № 1. Сер. геогр. С. 41.

11. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»;
12. СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»
13. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: Омская картографическая фабрика, 2004. 303 с.
14. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Под ред. Е.С. Мельникова. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983, 163 с.
15. Видина А.А. Практические занятия по ландшафтному дешифрированию аэрофотоснимков (метод. м-лы для слушателей физико-географического потока ФПК МГУ). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. 58 с.
16. Погребняк П.С. Основы лесной типологии. 2-е изд., испр. и доп. Киев: Изд-во АН УССР, 1955. 456 с.

REFERENCES

1. Zaharov, Ju.F. *Inzhenerno-geologicheskij monitoring Zapadno-Sibirskih gazopromyslovyh i gazotransportnyh sistem i puti povysheniya ih nadezhnosti* [Engineering and Geological Monitoring of Western Siberia Gas Field and Transport Systems and Ways to Improve their Reliability]. Moscow: All-Russia Economic Research Institute Gasprom, 1987. 45 p. (in Russian).
2. Chiharev, V.A. Geoinformational Technologies in geotechnical Monitoring of Pipeline Transport. *Truboprovodnyj transport [teoriya i praktika] — Pipeline Transport [theory and practice]*. 2012. № 4. P. 4-6 (in Russian).
3. Idrisov, I.R. *Landshaftno-jeologicheskoe obespechenie rekonstrukcii magistral'nyh nefteprovodov v Zapadnoj Sibiri* (Avtoref. diss. kand.) [Topographic and Ecological Support for Main Oil Pipeline Reconstruction in the Western Siberia (Cand. Diss. thesis)]. Tyumen, 2003. 23 p. (in Russian).
4. Kozin, V.V. *Landshaftnyj analiz v reshenii problem osvoeniya neftegazonosnyh rajonov* (Avtoref. diss. doct.) [Application of Topographic Analysis to the Issues of Oil-and-gas Area Development (Doc. Diss. thesis)]. Irkutsk, 1993. 44 p. (in Russian).
5. Kozin, V.V. *Landshaftnyj analiz v neftegazopromyslovom regione* [Topographic Analysis in an Oil-and-gas Rich Region]. A Study. Tyumen: Tyumen State University Publ., 2007. 240 p. (in Russian).
6. Antonov-Druzhinin, V.P. *Fiziko-geograficheskie predposylki optimizacii geotekhnicheskikh sistem Severa (na primere gazotransportnoj sistemy Urengojnskogo mestorozhdenija)* (Avtoref. diss. kand.) [Physico-geographical Backgrounds to Improve Geotechnical Systems of the North (based on the example of the gas transportation system at Urengoi gas field) (Cand. Diss. thesis)]. Moscow: USSR Academy of Science, 1991. 29 p. (in Russian).
7. *Antropogennye izmeneniya jekosistem Zapadno-Sibirskoj gazonosnoj provincii* [Man-induced Changes in the Western Siberia Gaz Province Ecosystems] Edited by N.G. Moscalenko. Moscow: Russian Academy of Agricultural Science, 2006. 358 p. (in Russian).
8. *Prirodnye usloviya jekspluatacii truboprovodov v Zapadno-Sibirskoj Subarktike: obzor* [Natural Environment of Pipeline Operation in Western Siberia Subarctic: Review]. Vlasov, S.V., Egurcov, S.A., Chigir, V.G., Lanchakov, G.A., Stepanenko, A.I.; OAO Gazprom, Information and Advertising Centre of Gas Industry. Moscow: 2009. 92 p. (in Russian).
9. Revzon, A.L. Aerospace Monitoring of Natural and Technical Linear Systems. *Inzhenernaja geologija — Geological Engineering*. 2012. № 1. P. 24-36 (in Russian).
10. Kunicyn, L.F. Western Siberia Development and the Issue of Interaction between Ecosystems and Technical Systems. *Izv. AN SSSR — Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. Geography Series. 1970. № 1. P. 41 (in Russian).

11. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 16.02.2008 № 87 «O sostave razdelov proektnoj dokumentacii i trebovanijah k ih sodержaniju»* [RF Government Decree No. 87 of February 16, 2008 On the Types of Chapters in the Project Documentation and their Contents] (in Russian)

12. *SNiP 11-02-96 «Inzhenernye izyskanija dlja stroitel'stva. Osnovnye položenija»* [Construction Norms and Rules of February 11, 1996 «Engineering Surveys for Construction Industry. Basic Provisions»] (in Russian).

13. *Atlas Jamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga* [Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. Atlas]. Omsk: Omsk Cartographic Plant, 2004. 303 p. (in Russian).

14. *Landshafty kriolitozony Zapadno-Sibirskoj gazonosnoj provincii* [Cryolithic Zone Landscapes of Western Siberia Oil-and-gas Province]. Edited by E.S. Melnikov. Novosibirsk: Nauka. Siberian Department, 1983, 163 p. (in Russian).

15. Vidina, A.A. *Prakticheskie zanjatija po landshaftnomu deshifirovaniju ajerofotosnimkov* [Practical Classes in Landscape Airphoto Interpretation] (teaching materials for Advanced Training Courses students, Moscow State University). Moscow: Moscow University Publ., 1982. 58 p. (in Russian).

16. Pogrebnjak, P.S. *Osnovy lesnoj tipologii* [Fundamentals of Forest Typology]. 2nd ed. Kiev: Academy of Science of Ukrainian Soviet Socialist Republic, 1955. 456 p. (in Russian).