

# ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ И АВИАЦИОННОЙ БЕСПИЛОТНОЙ СЪЕМКИ

*П.В. Корвяков, первый заместитель генерального директора  
ОАО «Газпром космические системы»,*

*В.А. Лазутин, к.т.н., с.н.с., директор Центра аэрокосмического мониторинга,*

*Д.Н. Севастьянов, к.т.н., генеральный директор,*

*Д.С. Сергеев, заместитель директора Центра аэрокосмического  
мониторинга, все – ОАО «Газпром космические системы»*

Важнейшей составляющей надежного функционирования газотранспортной системы является диагностическое обслуживание линейной части (ЛЧ) магистральных газопроводов (МГ).

В соответствии с нормативными документами [1, 2], основными целями системы диагностического обслуживания ЛЧ МГ являются:

- бесперебойный транспорт газа;
- безаварийная работа МГ;
- минимизация издержек от рисков природного и техногенного характера.

Одним из источников объективной информации о состоянии ЛЧ МГ являются аэрокосмические методы мониторинга. Аэрокосмические методы используются для получения информации о взаимодействии МГ с окружающей средой, текущем состоянии ЛЧ МГ, данных об окружающем ландшафте и его влиянии на состояние МГ.

Аэрокосмические методы эффективно применяются для решения следующих задач:

- оценки технического состояния МГ (пространственного положения и его изменения во времени, наличия открытых участков, состояния обвалования и балластировки, крепежных конструкций и др.);
- прогнозирования процессов разрушения обвалования и обнажения МГ для выработки рекомендаций по ремонту;

- оценки устойчивости ландшафтов к техногенным воздействиям при строительстве и эксплуатации МГ;
- оценки состояния окружающей среды и ее влияния на состояние МГ;
- контроля выполнения работ по обустройству трасс ЛЧ МГ;
- контроля состояния охранных зон;
- технического районирования и картирования местности по природно-техническим условиям эксплуатации.

Для повышения достоверности результата аэрокосмические методы предполагают комплексный характер проведения работ с использованием всех доступных информационных материалов о состоянии МГ и окружающей среды:

- исполнительной документации на обследуемые участки, проектов строительства;
- материалов внутритрубной диагностики, наземных обследований переходов МГ через преграды;
- ландшафтных, геологических, почвенных и других данных об окружающей природной среде.

Рациональное сочетание перечисленных материалов, пространственных данных, получаемых из нескольких источников, а также средств их обработки и визуализации позволяет существенно повысить вклад аэрокосмических методов в эффективность комплексной системы обеспечения надежности эксплуатации МГ.

Основной аэрокосмических методов обследования ЛЧ МГ являются актуальные первичные данные космической и авиационной съемки. Вместе с тем, получение таких данных во многих случаях связано с рядом проблем:

- сложность получения актуальных космических данных из-за физико-географических особенностей региона (условия освещенности, сложный рельеф);
- существенная зависимость космической и авиационной съемки от погодных условий;
- высокие стоимость и риски проведения пилотируемых авиационных работ;
- длительный цикл доставки пространственных данных с мест полевых работ и их тематической (камеральной) обработки.

Космическая и авиационная съемка в настоящее время является одним из самых универсальных видов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Учитывая, что ее эффективность связана с пространственным разрешением данных, возможностью их оперативного получения и обработки, ОАО «Газпром космические системы» в течение последних нескольких лет проводит работы по созданию и совершенствованию методов и средств получения и обработки аэрокосмической информации для задач мониторинга МГ.

Основными направлениями работ, проводимых и реализованных ОАО «Газпром космические системы» в последние три года по совершенствованию методов аэрокосмического мониторинга МГ, являются:

**первое** – создание и использование собственной земной станции приема и обработки космических данных ДЗЗ, что позволило существенно повысить оперативность получения и обработки пространственных данных;

**второе** – исследование применения беспилотных авиационных комплексов (БАК) и создание собственной инфраструктуры беспилотного мониторинга (ИБМ), что позволило повысить качество, оперативность и информативность первичной целевой информации;

**третье** – использование собственных средств спутниковой связи для передачи первичной целевой информации из мест проведения работ на средства ее камеральной обработки, что существенно сократило продолжительность цикла обработки пространственных данных;

**четвертое** – совместное использование материалов космической и авиационной беспилотной съемки, что позволило объединить достоинства каждой из них в выходной продукции – высокое пространственное разрешение беспилотной съемки и высокую точность позиционирования космической съемки;

**пятое** – объединение, анализ и интерпретация всех полученных данных о состоянии МГ в составе тематической геоинформационной системы (ГИС), что существенно повысило информативность и достоверность получаемых результатов диагностического обследования МГ.

Практическая реализация каждого из перечисленных выше направлений позволила создать **комплексную методику диагностического обследования ЛЧ МГ по материалам аэрокосмической съемки**, основанную на совместном использовании данных космической и авиационной (беспилотной) съемки.

В ходе реализации данной методики на основе натурных и камеральных исследований с использованием аэрокосмических и геоинформационных технологий выявляются и анализируются природные и техногенные факторы, воздействующие на техническое состояние ЛЧ МГ, разрабатываются рекомендации, внедрение которых позволяет минимизировать негативное воздействие природных и техногенных факторов на техническое состояние МГ.

Для получения информации об актуальном состоянии МГ, природно-климатических условиях и оценки динамики изменений в методике используются:

а) актуальная мультиспектральная космическая съемка в стереорежиме с разрешением 0,5 м с полосой захвата вдоль оси МГ шириной 150 м. Космические снимки с разрешением 0,5 м являются основой для получения ортофотопланов и цифровой модели рельефа с относительной точностью 1–3 м;

б) актуальная космическая съемка в видимом, ближнем инфракрасном и тепловом диапазоне с разрешением 10–15 м, которая используется для оценки негативных природных факторов и поиска участков газопровода в непроектом положении, определения глубины залегания трубопровода. Видимый и ближний инфракрасный диапазоны позволяют определить состояние растительности и гидрологический режим. Съем-

ка в тепловом диапазоне определить геологическое строение территории, глубину залегания трубопровода;

в) актуальная цветная аэросъемка с БПЛА с продольным перекрытием смежных кадров до 90% и разрешением не более 0,1 м, которая позволяет создавать фотосхемы (фотопланы) высокого разрешения, стереоскопическое изображение МГ на каждом его участке, с использованием которых выявлять проблемные участки газопровода с минимальными объемами дополнительных полевых обследований;

г) архивные данные космической съемки с ретроспективой до 3 лет, которые позволяют выявлять динамику происходящих процессов.

Аэросъемка объектов проводится с использованием БПЛА с параметрами (высота, скорость полета, размерность сенсора фотоаппарата), обеспечивающими продольное перекрытие смежных снимков до 90% и разрешением не более 0,1 м. Объектами аэросъемки являются трасса МГ и её охранная зона, а также участки с опасными процессами, находящиеся вне трассы газопровода в пределах до 100 м.

В ходе выполнения работ по реализации методики используются следующие технические средства и комплексы ОАО «Газпром космические системы»:

1. **Земная станция удаленного мониторинга объектов (ЗС УМО)** ОАО «Газпром космические системы» (рис. 1, 2), которая предназначена для формирования плана проведения космических съемок на основе анализа заявок потребителей, приема, регистрации и обработки целевой информации, получаемой с привлекательных космических аппаратов (КА) ДЗЗ, производства, хранения и передачи потребителям заказанной информационной продукции.

Станция расположена на технической территории ОАО «Газпром космические системы» в Московской обл. и эксплуатируется техническим персоналом ОАО «Газпром космические системы».

Основные виды обработки изображений, выполняемых на ЗС УМО:

– географическая привязка принятых исходных изображений на основе поступающих с борта КА данных о положении и ориентации спутника;

– радиометрическая коррекция принятых изображений, осуществляемая стандартными алгоритмами с использо-

ванием бортовых калибровочных данных и таблиц;

– геометрическая коррекция принятых изображений, их трансформирование в заданную картографическую проекцию (без использования или с использованием опорных точек);

– создание ортотрансформированных и мозаичных изображений;

– наложение принятых изображений на имеющуюся цифровую модель рельефа (ЦМР).

2. **Инфраструктура беспилотного мониторинга (ИБМ)** ОАО «Газпром космические системы» (рис. 3), которая предназначена:

– для получения с использованием малоразмерных низкобюджетных БПЛА первичных пространственных данных дистанционного зондирования объектов и территорий;

– для создания на основе первичных пространственных данных дистанционного зондирования продукции и услуг по обследованию и мониторингу объектов и территорий и их доведение (предоставление) заказчиком.

ИБМ обеспечивает решение следующих задач:

– доставку оборудования и обслуживающего персонала к местам проведения работ в зоны авиационной доступности на базе автомобиля повышенной проходимости;



Рис. 1. Общий вид ЗС УМО

- планирование практических полетов БПЛА и экспресс-обработку первичной фотографической целевой информации с целью определения ее качества и полноты;

- получение первичной целевой информации в ходе полетов БПЛА над обследуемыми объектами, ее запись на электронные цифровые носители;

- полевую плано-высотную подготовку территорий с целью высокоточной геодезической привязки полученных снимков;

- тематическую камеральную обработку первичной целевой информации (фотографической, телевизионной и тепловизионной) с целью получения продукции для заказчиков работ, хранение и доведение результатов мониторинга до потребителей.

С использованием ИБМ обеспечивается получение следующих видов продукции (рис. 4–7):

- аннотированные «сырые» фотографические изображения в оптическом диапазоне с разрешением 7–10 см/пикс, сопровождаемые данными пространственного позиционирования с точностью до 15 м;

- геокодированные фотографические изображения в оптическом диапазо-

не в заданной географической проекции с использованием (или без использования) опорных точек местности;

- калиброванные фотографические изображения в оптическом диапазоне,

прошедшие стандартную радиометрическую и геометрическую коррекцию;

- «мозаичные» фотографические изображения в оптическом диапазоне;

- пространственные данные для об-



Рис. 2. Размещение ЗС УМО на крыше здания телекоммуникационного центра ОАО «Газпром космические системы»

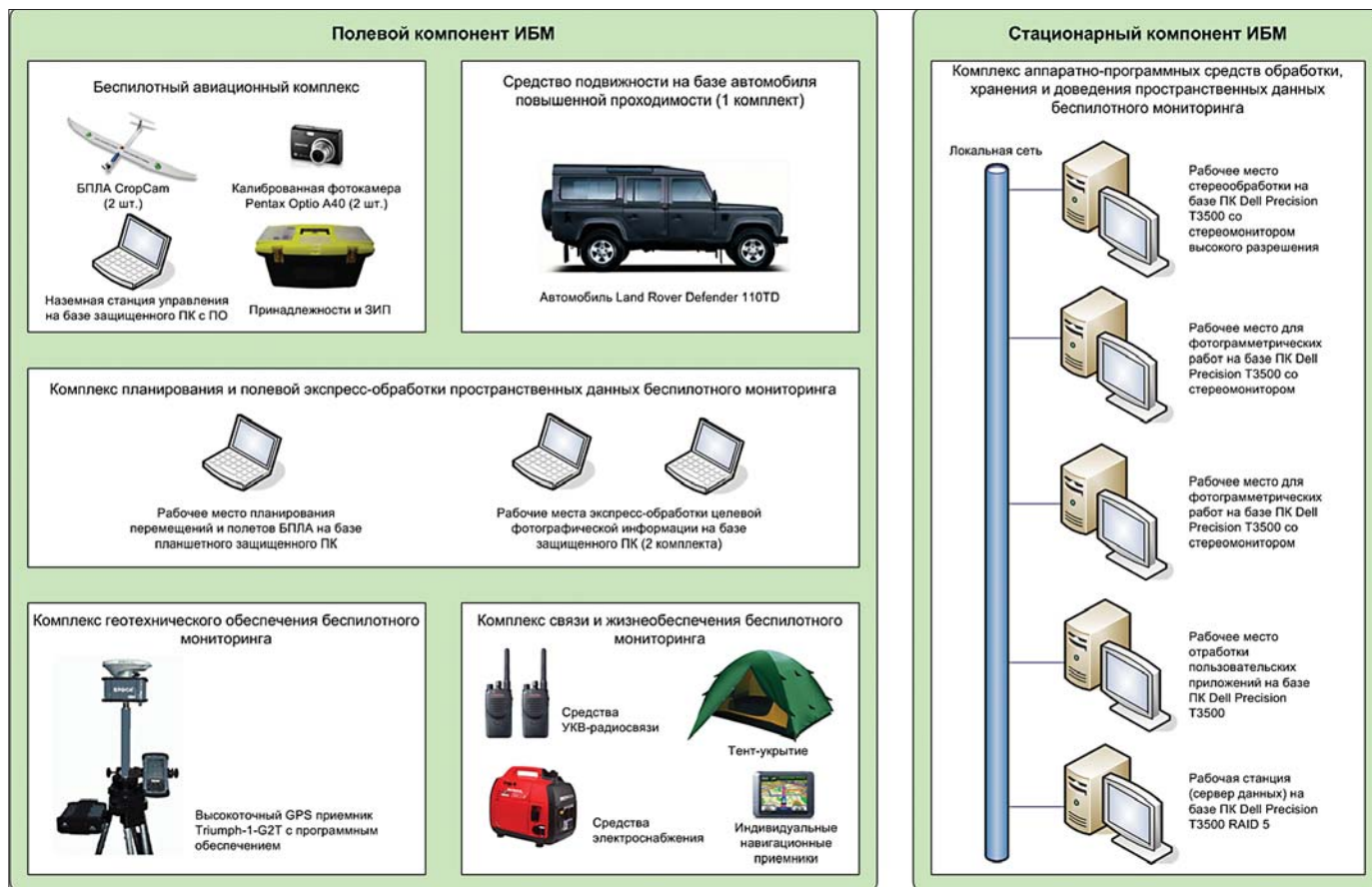


Рис. 3. Состав ИБМ



Рис. 4. Пример «сырого» беспилотного снимка трассы МГ. Необорудованное пересечение трассы МГ с водотоком



Рис. 5. Пример «сырого» беспилотного снимка трассы МГ. Выход трубы МГ на поверхность



Рис. 6. Пример «сырого» беспилотного снимка трассы МГ. Пересечение трассы МГ с рекой. Участок с повышенным обводнением

новления топографических карт масштабов 1:10000 и менее;

– стереоскопические снимки.

Методика диагностического обследования с использованием материалов авиационной беспилотной и космической съемки предполагает выполнение работ в **три функциональных этапа:**

**первый** (предполетная подготовка) – получение исходных данных, обработка и анализ проектной, исполнительной и эксплуатационной документации на обследуемые объекты, подготовка исходных данных для приобретения космических снимков и проведения полетов БПЛА;

**второй** (натурные исследования) – получение космических снимков и проведение практических полетов БПЛА на объектах Заказчика, обработка и анализ результатов ранее проведенных обследований и ремонтов газопроводов;

**третий** (обработка данных) – проведение комплексного обследования газопроводов, обработка данных анализа и обследований газопроводов, составление технического отчета с заключением о техническом состоянии газопровода и технически обоснованными рекомендациями и предложениями, обеспечивающими их дальнейшую безопасную эксплуатацию.

В ходе работ решаются следующие задачи:

– подбор, изучение и первичная обработка исходных материалов Заказчика:

- карт (схем) ЛЧ МГ масштаба не менее 1:100000;
- информации о составе и параметрах объектов линейной части МГ (трассы трубопроводов, отводы, крановые узлы, переходы через естественные и искусственные препятствия, установки электрохимической защиты, вдольтрассовые дороги и другие линии коммуникаций и т.д.);
- технологических схем участков МГ и газопроводов-отводов;
- информации о пространственном положении объектов в виде километровых отметок с указанием их точек привязки;
- нормативной документации, регламентирующей размещение объектов и правила содержания охранной зоны;
- проектно-изыскательской, исполнительной и эксплуатационной документации на обследуемые участки ЛЧ МГ и другой геопрограммной информации об объектах диагностики;



Рис. 7. Пример сшивки беспилотных снимков трассы МГ. Участок трассы многониточного газопровода.

- данных о ландшафтных и климатических условиях расположения обследуемых ЛЧ МГ;
- подготовка описаний трасс прохождения ЛЧ МГ с перечнем объектов МГ, особенностей местности, пересечений с реками, дорогами, ЛЭП, другими МГ и др. с координатной привязкой и привязкой к километровым отметкам ЛЧ МГ и указанием участков детально обследованных, содержащих потенциально опасные явления;
- подготовка координат полигонов для приема необходимых космических снимков на ЗС УМО;
- планирование авиационной беспилотной фотографической съемки с учетом технических характеристик используемых БПЛА и авиационной доступности трасс ЛЧ МГ;
- космическая съемка ЛЧ МГ в полосе шириной не менее ширины охранной зоны;
- авиационная беспилотная фотографическая съемка трасс ЛЧ МГ;
- первичная обработка материалов космической и авиационной съемки (яркостная, геометрическая коррекция, сшивка единого поля изображения) на основе навигационных данных без использования полевого планово-высотного обоснования и их разбивка на километровые участки с привязкой к трансформированным материалам космической съемки;
- определение границ коридоров охранных зон, расстановка километровых

указателей вдоль коридора трассы газопроводов;

– совместная обработка тепловизионной, телевизионной и фотографической информации с целью определения общего технического состояния ЛЧ МГ на переходах через водные преграды и транспортные коммуникации, состояния трасс МГ, проходящих по гористой местности, и т.д., выявления и позиционирования возможных дефектов следующих типов:

- участков отклонения глубины заложения МГ от проектного значения с потерей устойчивости (всплывшие и оголенные участки);
- участков выхода труб на поверхность;
- участков обводнения трубы;
- мест размыва и заболачивания МГ;
- участков с вертикальными и горизонтальными «арками»;
- негативных природных факторов гидрогеологического генезиса (карстовые формы, подземные водооттоки (перетоки), обводненные участки трассы);
- негативных природных факторов гидрологического генезиса (эрозионные зоны, аккумуляция и переработка берегов водоемов и водооттоков);
- опасных природных процессов, обусловленных воздействием гравитационных сил и т.п. (оползни, осыпи и др.);
- техногенных нарушений;

– аналитическая обработка исходных данных, включая природно-климатические условия района (в т.ч. геологическое строение, гидро- и гидрогеологические условия района, климат, рельеф и т.п.), данные проектно-изыскательских работ по трассе и результаты геотехнической диагностики (ГТД);

– разработка рекомендаций по предотвращению или снижению негативного воздействия природных и техногенных факторов окружающей среды на техническое состояние ЛЧ МГ.

В ходе работ создается **геоинформационная система** для отображения полученных пространственных данных, результатов их анализа и обобщения (рис. 8). Основные задачи, решение которых обеспечивает ГИС:

- обновление картографической основы масштаба 1:50 000;
  - дешифрирование космических снимков, выявление природных факторов и природных процессов в зоне МГ и техногенных нарушений;
  - создание карты «Влияние природных факторов и природных процессов на МГ и техногенные нарушения»;
  - формирование сводной таблицы «Пересечения с природными и антропогенными объектами» и ее наполнение.
- Наполнение ГИС выполняется с использованием картографических материалов, архивных и актуальных данных космической съемки и материалов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

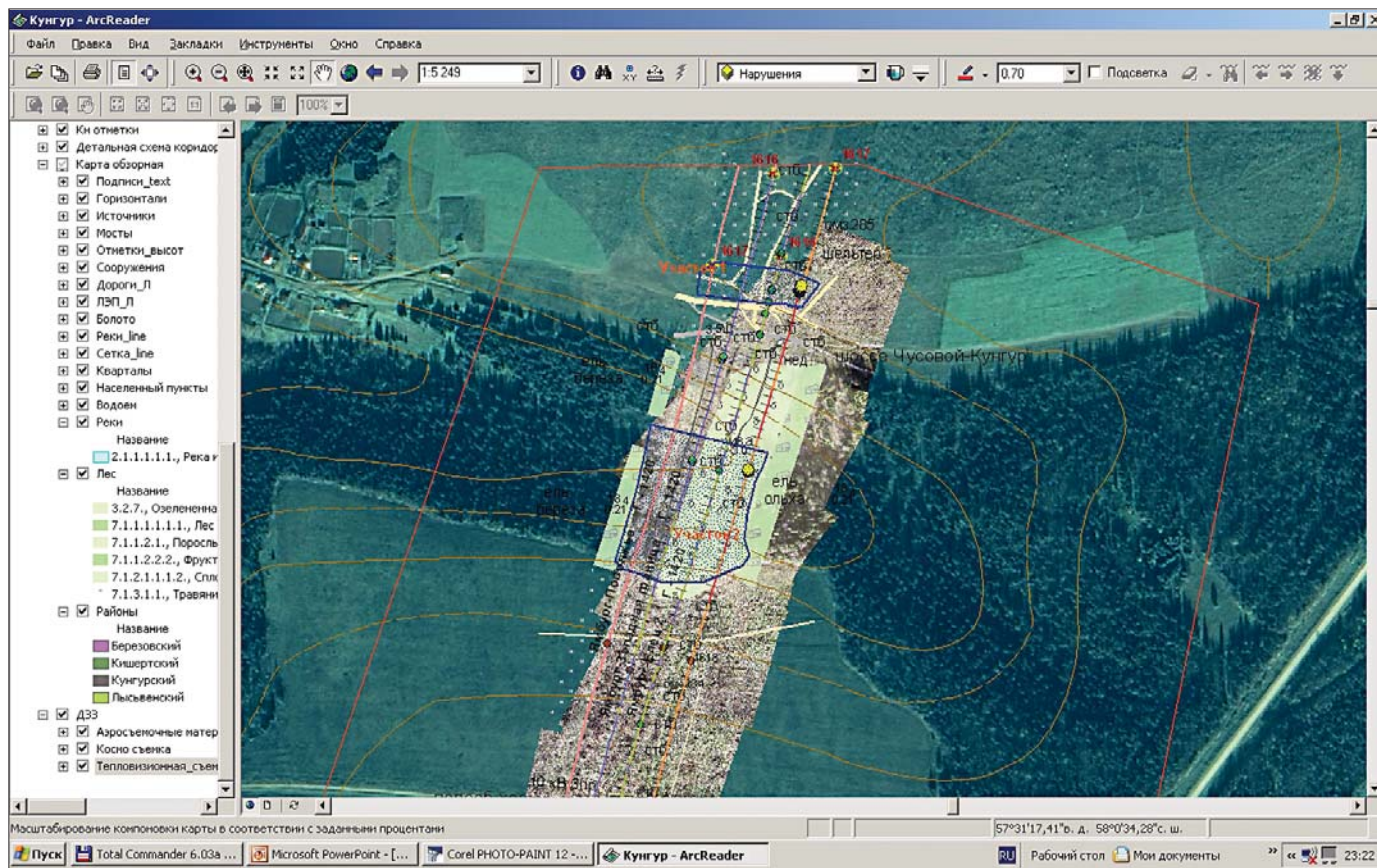


Рис. 8. Совместное использование данных космической и авиационной беспилотной съемки. Схема участка МГ в составе ГИ.

Для включение в ГИС данных космической и авиационной беспилотной съемки проводится их обработка с использованием современного программного обеспечения.

На основе тематической обработки и анализа материалов космической съемки и беспилотной аэросъемки проводится выявление и позиционирование:

- участков МГ, находящихся в непроецируемом положении с потерей устойчивости (всплывшие и оголенные участки);
- негативных природных факторов гидрогеологического генезиса (карстовые формы, подземные водотоки (перетоки), обводненные участки трассы);
- негативных природных факторов гидрологического генезиса (эрозионные зоны, аккумуляция и переработка берегов водоемов и водотоков);
- опасных природных процессов, обусловленных воздействием гравитационных сил и т.п. (оползни, осыпи и др.);
- техногенных нарушений.

В ходе работ по диагностическому обследованию ЛЧ МГ с использованием материалов космической и авиационной беспилотной съемки разрабатывается отчет, включающий:

- схему отснятого коридора трассы МГ, а также параметры пространственного разрешения снимков;

- перечень выявленных участков газопроводов, находящихся в непроецируемом положении с потерей устойчивости (всплывшие и оголенные участки);
- перечень выявленных природных факторов гидрогеологического и гидрологического генезиса;
- перечень выявленных природных процессов, обусловленных гравитационными силами и т.п.;
- перечень техногенных нарушений;
- цифровые цветные снимки местности высокого разрешения (3 м) с нанесенными газопроводами и другими подземными объектами и коммуникациями в 150-метровой полосе вдоль газопровода;
- графическое отображение на материалах съемки наземных проекций осей газопроводов и объектов природного и техногенного происхождения, которые могут являться причинами (источниками) дефектов трубопроводов, а также материалов электрометрических обследований и внутритрубно-диагностики (при их наличии);
- рекомендации по предотвращению или снижению негативного воздействия природных и техногенных факторов окружающей среды на техническое состояние ЛЧ МГ.

Совместное использование пространственных космических данных и данных

авиационной беспилотной съемки позволяет:

- снизить риски зависимости работ по аэрокосмическому мониторингу от погодных условий;
- существенно повысить информативность и дешифруемость первичных аэрокосмических материалов (количество идентифицируемых объектов на трассе МГ при совместном использовании данных авиационной беспилотной и космической съемки возрастает в 5–7 раз по сравнению с космической съемкой);
- снизить стоимость авиационных работ при исследовании объектов локального характера (площадных объектов, линейных объектов малой протяженности). □

**Литература.**

1. Методические указания по диагностическому обследованию линейной части магистральных газопроводов. СТО Газпром 2-2.3-095-2007.
2. Методические рекомендации по применению аэрокосмических методов для диагностики трубопроводных геотехнических систем и мониторинга окружающей среды. ОАО «Газпром», 1995 г.