

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ЦЕЛОСТНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

А. Ф. Мухамедгалиев, М. Г. Разакова, В. В. Смирнов, М. А. Мухамедгалиева*

Институт космических исследований им. акад. У. М. Султангазина,
050010, Алма-Ата, Казахстан

* Казахский национальный технический университет им. акад. К. А. Сатпаева,
050013, Алма-Ата, Казахстан

УДК 519.95

Представлены методы комплексной обработки данных дистанционного зондирования и традиционной диагностики для определения степени риска нарушения целостности магистральных трубопроводов. Разработанная математическая модель интегрирована в ГИС и апробирована на участке трассы магистрального газопровода “Газли — Шымкент”.

Ключевые слова: Магистральный трубопровод, риски возникновения аварийных ситуаций, геоинформационные системы.

This article presents methods for complex processing of remote sensing and traditional diagnostics to determine the degree of risk the integrity of pipelines. The mathematical model is integrated into a GIS and approved sites on the route of the main gas pipeline “Gazly — Shymkent”.

Key words: The main pipeline, the risk of accidents, geoinformation system.

Мониторинг целостности магистральных трубопроводов. Практика мониторинга технического состояния (целостности) магистральных трубопроводов показывает, что дефекты на трубопроводах носят, как правило, территориально-распределенный скрытый характер, и обнаружение их при традиционном обследовании территории очень трудоемко, а порой и невозможно.

К сказанному следует добавить, что дефектоскопия магистральных трубопроводов (МТ) является достаточно дорогостоящим технологическим процессом, часто связанным с проведением больших объемов земляных работ. Поэтому применение геоинформационных моделей “риск-анализа”, основанных на комплексном использовании данных дистанционного зондирования и традиционной технической диагностике с целью распознавания и локализации “рисковых зон”, связанных с ускоренным развитием деформационных и коррозионных процессов на магистральных трубопроводах, является актуальным.

Развитие деформационных процессов, как правило, обусловлено происходящими эндогенными и экзогенными геологическими процессами (геодинамических подвижек, пучения грунтов, появления карста и др.), в результате которых трубопроводы подвергаются постоянному напряженно-деформированному воздействию, что отражается на их техническом состоянии.

Распознавание и пространственная локализация геодинамических зон, являющихся основными индикаторами напряженно-деформированного состояния магистрального трубопровода, наиболее эффективно могут быть проведены с использованием методов линейного анализа спектрозональных космических изображений региона прохождения трассы магистрального трубопровода.

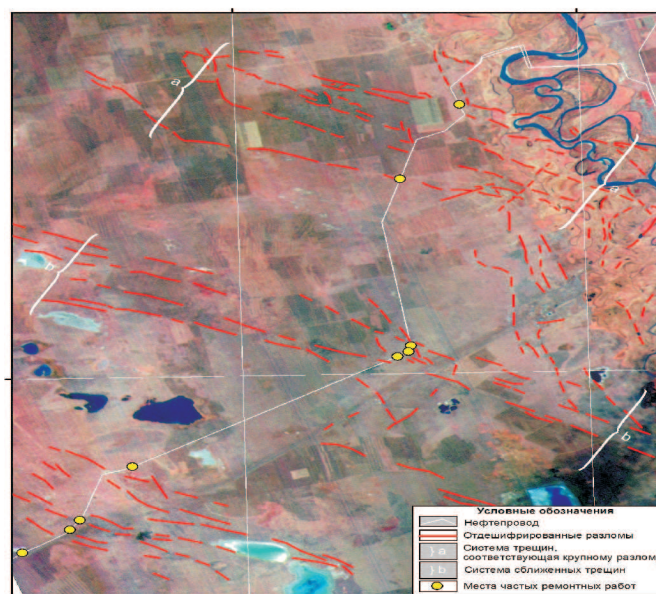


Рис. 1. Локализация геодинамических “рисковых зон” по трассе магистрального трубопровода (фрагмент снимка из космоса, 3 сентября 2004 г., пространственное разрешение 32×37 м, м-б. 1:200 000)

На обработанном космическом снимке (рис. 1) красными полосами дешифрируется система тектонических трещин, принадлежащих крупному тектоническому разлому, к которым приурочены места наиболее частого проведения ремонтных работ. Поэтому выделенный участок магистрального трубопровода может быть распознан как “рисковая зона” с ускоренным развитием деформационных процессов.

Значительное влияние на развитие коррозионных процессов оказывает геоморфология участка прохождения трубопровода (солончаки, агрессивные почвы, грунтовые воды и др.). Выявление таких процессов и их пространственная локализация наиболее эффективно могут быть осуществлены с использованием космических спектрально-зональных данных дистанционного зондирования [1].

На рис. 2 показан фрагмент космического снимка, на котором трасса магистрального нефтепровода пересекает солончаковые образования. При этом данные внутритрубной дефектоскопии регистрируют на выделенном участке МТ повышенное число дефектов трубопровода (коррозионные образования). Локализованный участок МТ с большой степенью уверенности может быть отнесен к “рисковым зонам” с ускоренным развитием коррозионных процессов.

Существующая практика диагностики показала, что лучшие результаты мониторинга технического состояния МТ достигаются при комплексном использовании методов традиционной диагностики и результатов тематической обработки (дешифрирования) спектрально-зональных данных дистанционного зондирования (ДДЗ).

Модели комплексного “риск-анализа” целостности магистральных трубопроводов. Известно, что пространственно локализованные геодинамические зоны, а также коррозионно-агрессивные среды относятся к числу основных внешних индикаторов, объективно влияющих на безопасность функционирования магистрального трубопровода (МТ).

Для верификации полученных данных, а также для определения степени их влияния на техническое состояние МТ необходимо провести сопоставление данных, полученных дистанционными методами, с существующими статистическими данными традиционной тех-

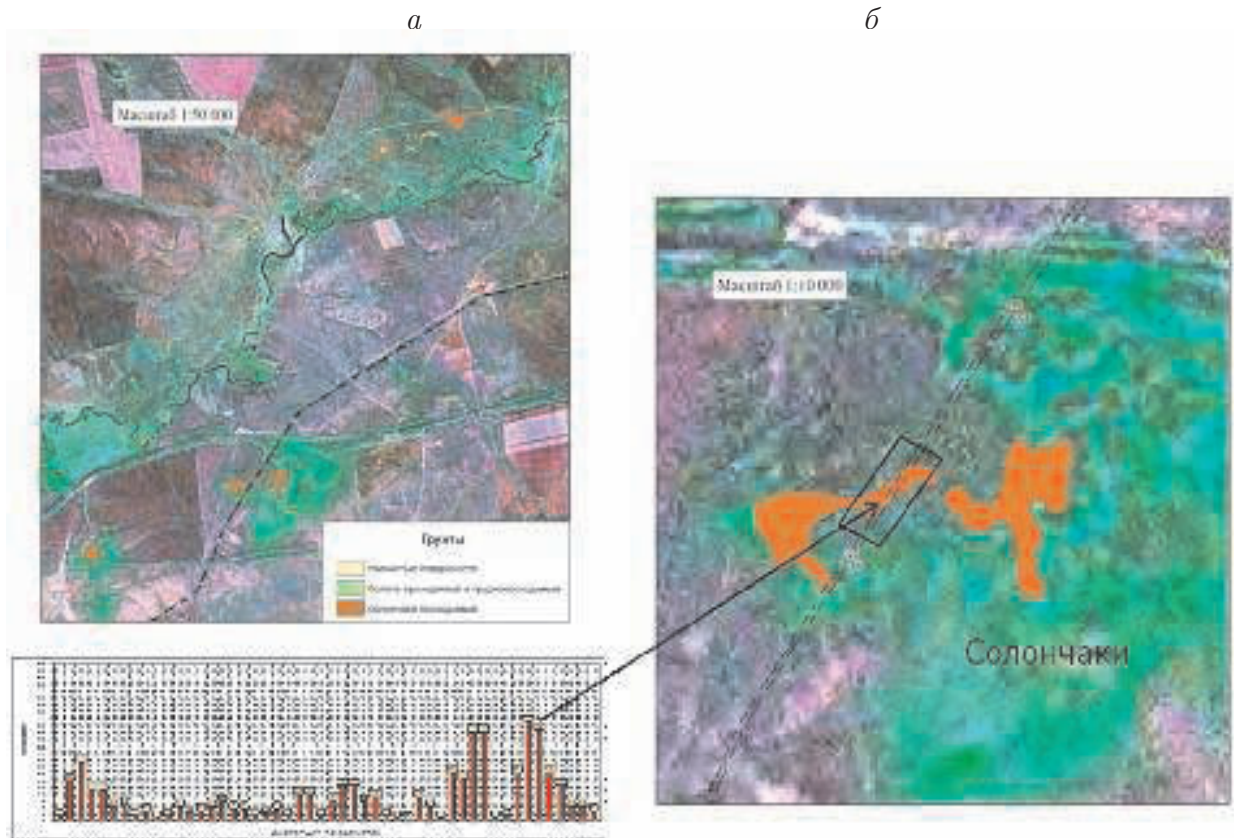


Рис. 2. Локализация рискованной зоны с ускоренным развитием коррозионных процессов:
 а — внутритрубная дефектоскопия; б — фрагмент снимка из космоса

нической диагностики. Другими словами, необходимо провести комплексный анализ внешних (природных) и внутренних (технологических) индикаторов, влияющих на безопасность функционирования МТ [2].

Существует большое количество методов диагностики МТ, фиксирующих развитие процессов деформации и коррозии. В качестве примера рассмотрим следующие, на наш взгляд, наиболее доступные для использования индикаторы развития деформационных и коррозионных процессов на МТ:

A_1 — превышение допустимых значений температурного градиента на входе и выходе участка трубопровода;

A_2 — превышение допустимых значений градиента давления на входе и выходе участка трубопровода;

A_3 — среднегодовое число ремонтных работ по исследуемому локальному участку МТ;

A_4 — число пониженных значений величин потенциалов “труба – грунт”;

A_5 — среднегодовое число нарушений изоляции по пилотному участку.

Первые три индикатора (A_1 , A_2 , A_3) связаны с развитием процессов пластической деформации, индикаторы (A_4 , A_5) отображают развитие коррозионных процессов. При пониженном значении потенциала “труба – грунт” возможно нарушение изоляции трубопровода.

При пространственном совмещении локализованных рискованных зон, связанных с активной геодинамикой, и повышенных значений градиента температуры или давления можно прогнозировать аварийное развитие процессов деформации на том или ином участке МТ.

Для получения количественных оценок рисков ситуаций на локальных участках МТ представим результаты комплексирования внешних и технологических индикаторов состояния МТ в виде таблицы T :

$$T = \|T_{ij}\|_{m \times n},$$

строками которой

$$t_i = a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip}, a_{ip+1}, \dots, a_{in}, I = 1, \dots, m$$

являются качественные и количественные характеристики признаков a_{ij} , описывающих техническое состояние определенного участка m_i магистрального трубопровода.

При этом качественные признаки

$$a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip}, a_{i1} = 0, 1$$

определяют наличие или отсутствие геолого-геофизического или геоморфологического признака (геодинамические зоны, зоны солончаков, грунтовые воды и др.) Количественные признаки

$$a_{ip+1}, \dots, a_{in}$$

показывают нормализованные $0 \leq a_{ij} \leq 1$ числовые значения измеренных диагностических данных в пределах того или иного участка m_p магистрального трубопровода.

Величина $\varphi_p = \sum_{i=1}^n \gamma_{p,i} a_{p,i}$, $p = 1, \dots, m$ является интегральной оценкой технического состояния локального участка и по сути определяет степень риска возникновения аварийной ситуации на определенном локальном участке магистрального трубопровода.

Коэффициент γ_{ij} определяет степень важности признака a_{ij} . Например, при пространственном совмещении геодинамической зоны и повышенных значений градиента температуры на входе и выходе трубопроводного участка коэффициент γ_{pj} для p -го участка будет принимать более высокие значения, что отразится на общей оценке

$$\varphi_p = \sum_{i=1}^n \gamma_{p,i} a_{p,i}, \quad p = 1, \dots, m. \quad (1)$$

Нетрудно заметить, что чем больше значение показателя φ_p , тем выше опасность возникновения чрезвычайных ситуаций на p -м участке магистрального трубопровода.

Геоинформационная карта рисков. Наиболее информативной формой отображения результатов проведенного “риск-анализа” возникновения аварийной ситуации на локальных участках магистрального трубопровода является геоинформационная карта рисков.

Для построения карты рисков буферная зона трассы МТ разбивалась на локальные участки длиной 1–10 км с выделением в пределах каждого участка групп и подгрупп факторов риска. В качестве природных групп факторов риска использовались:

- агрессивные типы почв и грунтов;
- активные геодинамические зоны;
- сейсмоопасные территории;
- сложные условия рельефа;



Рис. 3. Блок-схема геоинформационной модели риск-анализа

— водные и транспортные преграды;
— урбанизированные и сельскохозяйственные территории, другие локальные агрессивные природные и техногенные среды.

На основании приведенной выше технологии для каждого локального участка m трассы МГ по формуле (1) вычислялось значение степени риска φ_p .

Дальнейшая задача риск-анализа состояла в ранжировании локальных участков по величине оценки степени риска в порядке его уменьшения с использованием алгоритмов автоматической классификации.

В результате проведенного ранжирования локальные участки трассы магистрального газопровода были объединены в следующие классы степени риска: 2 — низкая; 3 — средняя; 4 — умеренная; 5 — высокая.

На рис. 3, 4 представлены блок-схема геоинформационной модели “риск-анализа” (ГМР), а также фрагмент карты рисков для трассы магистрального газопровода “Газли — Шымкент”, построенной с использованием описанной выше ГМР.



Рис. 4. Фрагмент карты распределения степени риска по локальным участкам магистрального газопровода “Газли — Шымкент”. Цветом обозначена суммарная степень риска аварийности МГ: зеленый — низкая; оранжевый — средняя; желтый — умеренная; красный — высокая

Созданная карта рисков может быть эффективно использована при планировании первоочередных диагностических и ремонтных работ на магистральном газопроводе.

Список литературы

1. Хренов Н. Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок. М.: Газоилпресс, 2003.
2. КИПШАКБАЕВ А. И., ЗАКАРИН Э. А., МУХАМЕДГАЛИЕВ А. Ф. Мониторинг и моделирование территориальных процессов Северного Прикаспия. Алма-Ата, Гылым, 2003.

Мухамедгалиев Арстан Фазулович — зав. отделом Института космических исследований им. акад. У. М. Султангазина; e-mail: arstan@spaceres.kz;
Разакова Майра Габбасовна — зав. лабораторией Института космических исследований им. акад. У. М. Султангазина; e-mail: mairarazakova@gmail.com;
Смирнов Владимир Викторович — ведущ. науч. сотр. Института космических исследований им. акад. У. М. Султангазина; e-mail: vvsmirnov@mail.ru;
Мухамедгалиева Майра Айсагалиевна — ст. преподаватель Казахского национального технического университета им. акад. К. А. Сатпаева; e-mail: m.mayra@yandex.ru

Дата поступления — 26.09.2013