

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВПЛИВУ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА МАГІСТРАЛЬНІ ГАЗОПРОВОДИ ЗА ДАНИМИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗЙОМОК

Робота присвячена окремим аспектам впливу геологічного середовища на магістральні трубопроводи. Зволоження ґрунту та корозійно-небезпечні ділянки, вплив процесів ендодинаміки та екзодинаміки вивчалися в різних фізико-географічних умовах за даними аеро-космічних зйомок. Описано важливі дешифрувальні ознаки несприятливих процесів на аеро- і космічних знімках, особливості застосування зйомки у видимому та інфрачервоному діапазоні для вивчення ґрунтів вздовж траси трубопроводів.

The article is devoted to a character aspects of influencing of geologic environment on gas pipelines. Moistening of soils and corrosion-dangerous sites, the influencing of processes of endogenous and exogenous geodynamics on gas pipelines was studied in various geographic conditions applying the data of aerial and space remote sensing. The relevant decoding features of adverse processes on aerial and space images as well as features of applying the imaging in visible and infra-red bands for analysis of grounds along the pipelines' tracks are investigated.

Між магістральними газопроводами (МГ) та іншими складовими інфраструктури газотранспортної системи, з одного боку, та природним середовищем, в першу чергу літологічною основою, рельєфом та поверхневими водами, ґрунтами, з іншого боку, існує тісний взаємозв'язок. Це особливий тип лінійних геотехнічних систем, дослідження яких дозволяє вивчати вплив трубопровідного транспорту на довкілля, визначити комплекс оптимальних рішень при будівництві та експлуатації МГ, підвищити безпеку та надійність функціонування об'єктів газотранспортної системи, здійснювати моніторинг МГ, у тому числі із застосуванням сучасних аерокосмічних методів.

За узагальненнями даними наукових інженерно-геологічних і технологічних досліджень та офіційними даними РАО "Газпром" 42 % всіх аварій на лінійній частині МГ зумовлено прямою чи опосередкованою дією природних факторів. В тому числі 16% аварійних ситуацій зумовлено зовнішньою корозією, 12% – дією екзогенних процесів (зсуви, катастрофічні паводки та повені, та геологічні процеси, зумовлені ними, геологічні процеси в зоні БМП, руслові процеси), 13% – стрес-корозійними дефектами, 1% – іншими природними факторами [6]. Крім цього, залишається неврахованою частка пошкоджень трубопроводів, зумовлених проявами ендогенних факторів, які зумовлюють механічні деформації труб та інших споруд, сприяють активізації екзогенних процесів, зміні інженерних властивостей ґрунтів тощо. При вивченні багатьох явищ з наведеного переліку можуть з ефективністю використовуватися дистанційні дані, отримані зніманням місцевості з літаків, вертольотів та космічних апаратів у різних діапазонах спектру електромагнітних випромінювань. Разом із цим необхідно зазначити, що наразі і в Росії, і в Україні відсутні стандартизовані методики дослідження МГ із застосування аерокосмічних даних. Напрацьований великий арсенал розрізнених засобів і методик моніторингу труб та навіколотного простору, що базуються на основі використання фотографічних, сканерних, радіолокаційних зображень, отриманих різною апаратурою з різноманітних літальних апаратів, у фізико-географічних зонах від тундри до пустель, проте єдина концепція зйомок та інтерпретації отриманих даних для моніторингу МГ на сьогодні практично відсутня.

Дана стаття присвячена узагальненню результатів досліджень автора з оцінки впливу різних складових геологічного середовища на МГ з використанням даних супутникових та літакових зйомок. Досліджувалися ділянки "Північна" – три нитки магістрального газопроводу на ділянці загальною протяжністю понад 300 у Вологодській області Росії (на півдні тайгової зони) та "Південна" – дві нитки магістрального газопроводу загальною протяжністю біля

200 км в Центрально-Чорноземному районі (у лісостеповій зоні). При вивченні впливу природних явищ, насамперед, екзогенних та ендогенних геологічних процесів, а також умов для розвитку корозії різних типів, використовувалися наступні дані: дані планової аерофотозйомки топографічними АФА, дані літакових зйомок багатозональним скануючим пристроєм та космічні знімки, також отримані у декількох діапазонах спектру, з супутників Landsat-7 і Spot – 5. Таким чином, була створена можливість використовувати при вивченні МГ зображення у видимій (панхроматичні знімки плюс зображення у чотирьох вузьких діапазонах), ближній інфрачервоній і тепловій зонах спектру, всього – в одинадцяти зонах спектру. При цьому у чотирьох ділянках спектру були отримані зображення з високою роздільною здатністю завдяки проведенню зйомок з борту літака. Крім цього, враховувалися дані попередніх досліджень автора з визначення впливу ендеогеодинаміки на лінійну частину МГ у західній частині України.

Вивчення умов для розвитку корозійних дефектів. Зовнішня корозія, разом із дефектами металу, зварних швів та деякими видами при будівництві, є найбільш розповсюдженим явищем і причиною аварій МГ. Серед причин виникнення корозії – як техногенні, так і суто природні – агресивний вплив підземних і поверхневих вод, підвищена електропровідність ґрунтів, еманції газів тощо.

На ділянці "Північна" наземними дослідженнями було встановлено, що переважна частина корозійних дефектів приурочена до перезвожених ділянок, складених глейовими та (або) важкими ґрунтами. На спектрально-зональних знімках у діапазонах 0.4 – 0.55 та 0.9 – 1.1 мкм можна, використовуючи характеристики спектральних яскравостей, отримані на ключових ділянках, із вірогідністю 70 – 90% виділяти потенційно-небезпечні ділянки. Ефекти, виражені на кривих яскравості, можна пояснити зміною складу трав'янистої та чагарникової рослинності у відповідних екосистемах. При цьому деревна рослинність створює істотний маскуючий ефект, оскільки крони дерев затуляють собою земну поверхню, істотно змінюючи спектральні характеристики.

Дослідження дешифрувальних ознак різних компонентів геосистем, що так чи інакше впливають на МГ, показали, наскільки тісно пов'язані між собою зміни у літології антропогенних відкладів, рівні ґрунтових вод, тип і склад ґрунтів та рослинності. Зображення місцевості, отримані з літака чи супутника, іноді помітно змінюються в залежності від коливань мікроклімату, заболоченості, порушеності рослинного покриву тощо. Наприклад, ділянки верхових боліт із притаманним комплексом рослинності виділяються і в оптичному, і в ближньому інфрачервоному діапазоні, навіть за умови,

що висоти місцевості, планові обриси рельєфу, склад четвертинних (доголоценових) відкладів істотно не змінюється. Карти розміщення болотних масивів, поширення перезволожених ґрунтів, складені за дистанційними даними високої роздільної здатності в умовах Європейської Півночі, виявляються набагато точнішими, ніж дані топографічних карт. На окремих ділянках трубопроводу видно, що верхові болота впритул підходять до ниток трубопроводу – а це створює сприятливі умови для розвитку цілого комплексу несприятливих природних процесів за рахунок зростання аеробності ґрунтів, істотної зміни електропровідності ґрунтів, еманцій агресивних газів, застоювання вод, розвитку у такому середовищі агресивних бактерій.

Взагалі дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) відкривають широкі можливості для вивчення вологості ґрунтів, вмісту окремих хімічних сполук, наприклад оксидів, солей тощо, що дозволяє оцінити небезпеку розвитку корозійних процесів одразу на великих площах. Для цього аналізуються спектральні характеристики підстилаючої поверхні.

Як у видимій, так і в ближній інфрачервоній зоні спектру зі збільшенням вмісту вологи у ґрунті відбиваюча здатність поверхні зменшується. Постійно зволожені глейові та болотяні ґрунти (як, наприклад, на ділянці

"Північна") і лучно-чорноземні ґрунти (наприклад, на ділянці "Південна") мають найменші коефіцієнти яскравості. Це відбувається завдяки інтенсивному поглинанню водою випромінювання у цих зонах. Особливо яскраво даний ефект проявляється у так званих смугах "водяного поглинання" при довжині хвиль 1,4 та 1,9 мкм. (Саме тому ділянки 1,4 та 1,9 мкм є непридатними для дистанційного зондування – через "непрозорість" атмосфери, зумовлену поглинанням водяної пари) [4]. Однак, і на інших досліджених ділянках спектру різниця у яскравості ґрунтів буде помітною, особливо, якщо порівняти дуже сухий і вологий ґрунт – тоді різниця складе до 35%.

На рисунку показані дві криві яскравості в діапазоні 0,76 – 0,9 мкм, отримані на одній і тій же ділянці трубопроводу (Вологодська область Росії). Таким чином демонструється описаний вище ефект. Нижня крива (позначена суцільною лінією) демонструє коливання яскравості вологого ґрунту, верхня (позначена пунктирною лінією) – сухого ґрунту (рис.1). Звернемо увагу, що у центральній частині значення показника яскравості практично не змінилося – це район, де магістральні газопроводи перетинають територію поширення ілювіально-підзолистих та болотно-залізистих ґрунтів, які характеризуються постійним високим вмістом вологи.

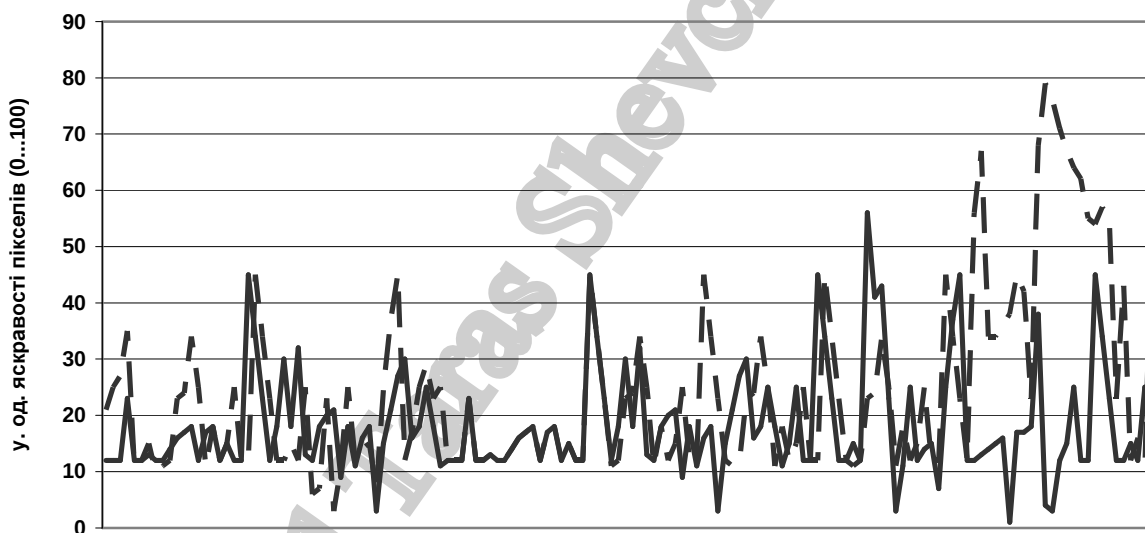


Рис.1. Спектральні криві, що характеризують яскравість (у діапазоні 0,76 – 0,90 мкм) сухого (пунктирна лінія) і волого (суцільна лінія) ґрунту вздовж траси магістрального газопроводу

На ділянці "Південна" ділянки найбільшої корозійної небезпеки приурочені: до схилів річкових долин та заплав річок на підході до підводних і надводних переходів, а на межиріччях – до ділянок насичення ґрунтів солями. Останні ділянки виявляти особливо складно. Візуально виявити їх як на спектрально-зональних, так і на синтезованих знімках практично неможливо. Однак кореляційний аналіз параметрів яскравості, виконаний за програмою "Criteria+", показав, що аномальні ділянки можна визначити, враховуючи вузькі аномалії зональних коефіцієнтів яскравості у різних каналах, між якими встановлений кореляційний зв'язок. Зважені вибірки даних по яскравості (понад 100 значень) забезпечують високу вірогідність виявлення корозійно-небезпечних ділянок, які добре зіставляються із даними наземного вимірювання електропровідності ґрунтів.

Новими є дослідження з визначення умов зволоження та аерації ґрунтів в траншеї, зокрема мате-

ріалу засипки, шару ґрунту над ним, мікро- і нанорельєфу. Вузькі "піки" – максимуми на кривих яскравості (орієнтованих впоперек траси МГ) у ближньому інфрачервоному діапазоні (0,85 – 1,0 мкм, 1,0 – 1,1 мкм) показують ділянки, де в траншеї, завдяки розпученню ґрунту, чи утворенню глинистого прошарку, застоюється вода. Особливо інформативними є знімки, отримані після дощів у теплу пору року. На цих же знімках видно, наскільки негативний вплив на формування водного режиму навколотрубного простору спричиняють під'їзні шляхи, ґрунтові дороги, прокладені вздовж ниток МГ та інші порушення рельєфу та ґрунтового покриву.

Аерокосмічні дослідження над- та підводних переходів МГ через річки, та також підходів до них, виявили наступні несприятливі явища: високу вірогідність заболочування траси МГ на заплавах ділянках; накопичення біля берегових споруд річкових наносів, рослинних решток, сміття; активні екзогенні процеси на берегах великих

річок (переформовання річищ, зсуви та дефлюкція, розростання конусів виносу ярів), в одному випадку – спливання труби у заплаві через неефективність привантажувачів.

Важливе завдання дистанційних методів дослідження підводних переходів – вивчення напрямку та особливостей розвитку руслового процесу, моніторинг гідрологічних явищ, вивчення екзогенних процесів на берегах [5, 7]. Горизонтальні та вертикальні деформації русла річки можуть, зокрема, призвести до провисання труби. Провисання труби та її вібрація під впливом течії спричинятимуть знакозмінні навантаження, і як наслідок, руйнування металу.

Знімки річкової долини, отримані з інтервалом хоча б 15 років, дозволяють за геоморфологічними індикаторами визначити особливості розвитку русла й заплави. На аерознімках можна виділити ділянки підмиву корінного берега й плеси (найглибші ділянки) в руслі, прируслові відмілини, берегові вали й переكاتи, ділянки заплави різної морфології. Острови та осередки в руслі річки, навіть невеликі, свідчать про фуркацію (розділення) потоку на декілька струменів. Ділянки розмивів та плесів, де відбувається поглиблення русла, є найбільш небезпечними з точки зору формування провисання труби.

Останнім часом приділяється велика увага **впливу** ендеогединаміки, себто **активних тектонічних структур**, на інженерні споруди, зокрема, і трубопроводи [1,2,3]. На основі використання дистанційних даних виконується лінеаментний аналіз, спрямований на виявлення активних розломів та інших диз'юнктивних дислокацій.

Диз'юнктивні тектонічні структури, пов'язані з лінеаментами, визначають рухомість блоків земної кори, впливають на деякі фізико-механічні властивості ґрунтів, особливості циркуляції підземних вод, а іноді визначають активність екзогенних процесів. Із лінеаментними зонами пов'язані наступні явища:

1) підвищена роздробленість масиву гірських порід системами тріщин, розущільнення відкладів: це, зрозуміло, значно знижує міцність порід, опір процесам вивітрювання, підвищує фільтраційні властивості

2) лінеаментні зони значно обводнені, у їхніх межах інтенсивно циркулюють підземні води; у зонах глибинних розломів циркулюють ювенільні води, яким властивий підвищений вміст агресивних іонів, що сприяють виникненню й інтенсивному розвитку процесів корозії; обводненість зон розломів також відображається на розвитку карстових, суфозійних, зсувних процесів;

3) до лінеаментних зон приурочені підвищені значення теплового потоку, а також еманції газів, іноді з ними пов'язані електричні аномалії – ці явища, а також згадані вище явища циркуляції мінералізованих вод зумовлюють необхідність впровадження додаткових засобів активного й пасивного електрохімічного захисту МГ;

4) вздовж лінеаментних зон, а також у вузлах їх перетину концентруються епіцентри землетрусів;

5) до послаблених, тріщинуватих зон приурочені ділянки річкових долин, балки, яри, що спричиняє необхідність спорудження додаткових інженерних споруд вздовж траси трубопроводів; подвижки блоків вздовж активних розломів сприяють інтенсивному розвитку процесів ерозії, площинного змиву, обвалювання і осипання. Згадані екзогенні процеси зазвичай зосереджені вздовж піднятого крила розлому – скиду чи підкиду. У цьому випадку існує ризик виникнення серйозних аварій, пов'язаних з розривом труб.

Таким чином, ділянки, де траса МГ перетинає геодинамічно активні зони, потребують особливої уваги, впровадження додаткових заходів з інженерного захисту трубопроводу та його інфраструктури.

Крім розломів існує ціла низка неотектонічно активних складчастих (плікативних) структур, розташованих

у верхньому структурному поверсі. Причому, як і диз'юнктивні структури, активні структури розташовуються не тільки у геосинклінальних областях, а і в межах давніх і молодих платформ. До них належать складчасті, складчасто-насувні та інші лінійні "надрозломні" зони дислокацій; соляні вали, куполи, штоки; діапіри в мергелях, глинах та інших пластичних породах.

Рухи цих структур також можуть призводити до зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів, а також безпосередньо викликати деформації труб.

Вплив активних тектонічних структур на МГ можна вважати істотним в межах геодинамічно активних областей. У досліджуваних районах він є незначним порівняно із зовнішньою корозією та діяльністю екзогенних процесів. В більшості випадків істотних зовнішніх порушень на лінійній частині МГ в місцях перетину траси лінеаментами не зафіксовано (на декількох з них були закладені шурфи). Однак, на ділянці "Північна" необхідно відмітити дислокації глинистих та мергелистих порід – дрібну складчастість та діапір, що прориває пухкі кайнозойські відклади (зафіксований наземними дослідженнями у відслоненні) на ділянці перетину МГ активними розломами. Ці зони були виявлені при інтерпретації даних ДЗЗ. На одній з ділянок заплановано здійснити паралельні роботи з виявлення можливих деформацій трубопроводу високоточними геодезичними методами та засобами внутрішньотрубною дефектоскопії. На ділянці "Південна" зафіксована інша характерна риса: активізація зсувів на схилах локальних додатних структур та в зоні активного розлому широтного простягання, неподалік траси МГ; також констатоване розміщення однієї з компресорних станцій у вузлі інтеграції різноспрямованих розломів. Вплив неотектоніки на МГ, очевидно, є набагато суттєвішим у гірських та перед гірських областях, в тому числі на Волино-Поділлі і у Карпатському регіоні.

Аналіз взаємодії трубопроводів з геологічним середовищем, виконаний на основі аерокосмічних методів із залученням даних наземних обстежень показує багатоманітність взаємних впливів трубопроводу та геологічного середовища. Серед усіх компонентів геосистем найбільш істотно впливають на трубу четвертинні відклади, ґрунти і підземні води. Використання аерокосмічних методів дозволяє виявляти особливості цих впливів у різних кліматичних та ландшафтних умовах, а також здійснити районування траси МГ за активністю природних процесів, зокрема корозійною небезпекою, проявами ендо- та екзогенних процесів. Результати досліджень МГ на згаданих ділянках знайшли відображення на картах, зокрема "Карті типів небезпечних впливів на трубопроводи", "Карті потенційно-небезпечних ділянок лінійної частини МГ та черговості діагностичного обстеження", "Карті прогнозування розвитку екзогенних процесів".

1. Арістов М.В. Дистанційні дослідження впливу новітніх і сучасних тектонічних рухів на лінійні споруди залізничного і трубопровідного транспорту. // Сборник научных трудов Национального горного университета. – Днепропетровск, 2005. – № 23. – С. 163 – 169. 2. Баглай Р.Д., Хренов Н.Н. Изучение взаимодействия трубопровода с окружающей средой. // Строительство трубопроводов. – 1985. – №7. – С. 37 – 39. 3. Готинян В.С., Аристов М.В. Геодинамичні дослідження потенційно-небезпечних техногенних об'єктів на основі аерокосмічної інформації. // Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції "Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища". – К., 2003. – С. 18 – 20. 4. Дистанционное зондирование: количественный подход / Ш.Дейвис, Д.А.Лендрейбе, Т.Филлипс, Ф.Сфейн, Р.Хоффер. – Пер. с англ. М.: Недра, 1983. – 396 с. 5. Забела К.А., Красков К.А., Москвич В.М., Соценко А.Е. Безопасность пересечения трубопроводами водных преград. – М.: ООО Недра-Бизнесцентр, 2001. – 195 с. 6. Фролов К.Ю., Фроимсон Р.Я., Петрусенко Е.В. Сучасні тенденції розвитку технологій антикорозійної ізоляції трубопроводів // Газ та нафта. – 2004. – №10. – С. 28 – 31. 7. Хренов Н.Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок. – М.: Газойл пресс, 2003. – 352 с.