

УДК 528.88 (15)

В.С. Готинян,
А.Г. Мичак,
О.В. Титаренко,
О.М. Кожан

ВИКОРИСТАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ГЕОДИНАМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНОК НА ТРАСАХ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Наведено методику та основні результати моніторингу магістральних трубопроводів "Долина – Воловець" і "Долина – Росош" з метою прогнозування зон підвищеного ризику в гірських умовах. Цей ризик пов'язаний з сучасною геодинамікою.

The methodology and main results of the of the trunk Dolyana-Volovets and Dolyana-Rososh pipeline monitoring for the prognostication of the heightened risk zones in the mountainous condition are presented. Given risk are connected with modern geodynamism.

Актуальність досліджень. Газотранспортна система України – це потужна і розвинена інфраструктура, що включає 37 000 км газопроводів, 78 компресорних і понад 1000 газорозподільчих станцій, під'їзні шляхи, захисні споруди тощо. На сьогодні одними з найбільш важливих енергоносіїв у Європі залишаються природний газ та нафта, значна частина яких надходить до Західної та Центральної Європи магістральними трубопроводами з Росії та країн Середньої Азії. Україна займає стратегічне положення на шляху цих трубопроводів. Тільки в минулому році вона забезпечила транзит близько 125,0 млрд м³ газу до країн Європи. У зв'язку з цим моніторинг стану газотранспортної мережі та попередження аварійних ситуацій на трубопроводах є одним з найбільш актуальних завдань сьогодення.

Аналіз практики проектування і будівництва магістральних трубопроводів свідчить, що на цих етапах не було враховано геодинамічну активність тектонічних структур як фактора впливу на дані об'єкти. А саме геодинамічний фактор значно впливає на надійність функціонування техногенних об'єктів як на рівнинних територіях, так і у відносно невисоких горах, якими є Українські Карпати, де відбуваються постійні вертикальні та горизонтальні рухи земної кори, що призводять до утворення геодинамічно активних зон, локальних високоактивних структур і деформації гірських порід.

При геодинамічних дослідженнях можуть ефективно застосовуватися дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), передусім космічні знімки високого просторового розрізнення. Для рівнинних умов методику моніторингу газотранспортних систем (ГТС) було опрацьовано спільними дослідженнями ДНВЦ "Природа" та НВЦ "Техдіагаз" [1]. Методику моніторингу магістральних трубопроводів та прогнозування аварійних ситуацій в гірських умовах, зумовлених новітньою геодинамікою, в ДНВЦ "Природа" опрацьовано в ході геодинамічних досліджень на ділянках магістральних трубопроводів Долина – Воловець та Долина – Росош, що знаходяться на території Долинського району Івано-Франківської області, Воловецького, Міжгірського, Іршавського та Свалявського районів Закарпатської області, а також частково у Стрийському районі Львівської області.

Хід досліджень. Ділянки магістральних газопроводів "Долина – Воловець" та "Долина – Росош" в геологічному відношенні розташовані в межах Передкарпатського крайового прогину (Бориславсько-Покутського покриву), Складчастих Карпат, їх Скибового покриву (Берегова скиба, Орівська, Сколівська, Парашка, Зелем'янка), зони Кросно (підзони Сколівська, Турківська, Битлянська, Либохорівська) й перетинають невеликі фрагменти тектонічних структур Дуклянсько-Ужодської та Поркулецької зон.

Процес прогнозування зон підвищеного ризику розглянутих ділянок магістральних газопроводів відбувався в кілька етапів:

- підготовчі роботи (збір картматеріалів, добір матеріалів аерокосмічної зйомки (МАКЗ), вивчення архівних матеріалів);
- геометрична корекція та обробка матеріалів ДЗЗ;
- дешифрування МАКЗ;
- створення проміжних карт, схем;
- наземне обстеження;
- обробка та інтерпретація отриманих результатів;
- створення вихідних карт.

Для забезпечення досліджень первинними фактичними даними на підготовчому етапі було зібрано й проведено аналіз необхідних фондових і картографічних матеріалів, таких як геологічні та геоморфологічні карти, карти четвертинних відкладів, топографічні карти. Проведено цифрову обробку картографічних матеріалів.

Аналіз наявних на дану територію космічних знімків показує, що найбільш інформативними є дані з таких космічних апаратів:

1. Landsat-7 з апаратурою Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) з розрізненням 15 м у панхроматичному, 30 м у мультиспектральному та 60 м у тепловому діапазонах (рис. 1).

2. EOS-FV (TERRA) з апаратурою ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) з розрізненням VNIR – 15 м, SWIR – 30 м та TIR – 90 м.

3. Знімки апаратури КФА-1000 та МК-4 з супутника "Ресурс-Ф" з розрізненням 5 та 10 м відповідно.

4. Знімки з супутника QuickBird з розрізненням 64 см у панхроматичному режимі та 2,5 м у мультиспектральному.

З метою підвищення інформативності використання знімків та підготовки їх для подальшого дешифрування проводилася геометрична корекція та обробка матеріалів ДЗЗ за допомогою програми ERDAS. Для переважної більшості космічних знімків, що використовувалися при дослідженнях, здійснювалися процедури покращення зображувальних характеристик, нормалізації яскравості, контрастності. Поліпшення згаданих характеристик забезпечувалося корекцією значень яскравості, вирівнювання гістограм. У результаті низки перетворень вдалося значно покращити якість знімків у форматі TIFF, отриманих як фотографічною, так і сканерною зйомкою, а саме:

- збільшити інформативність зображення за рахунок підсилення загальної яскравості та підкреслення контурів;
- розділити малокоонтрастні об'єкти; видалити деякі шуми та знизити нерівномірність оптичних щільностей між центром та краями сцени (при використанні знімків, отриманих скануванням дубль-негативів).

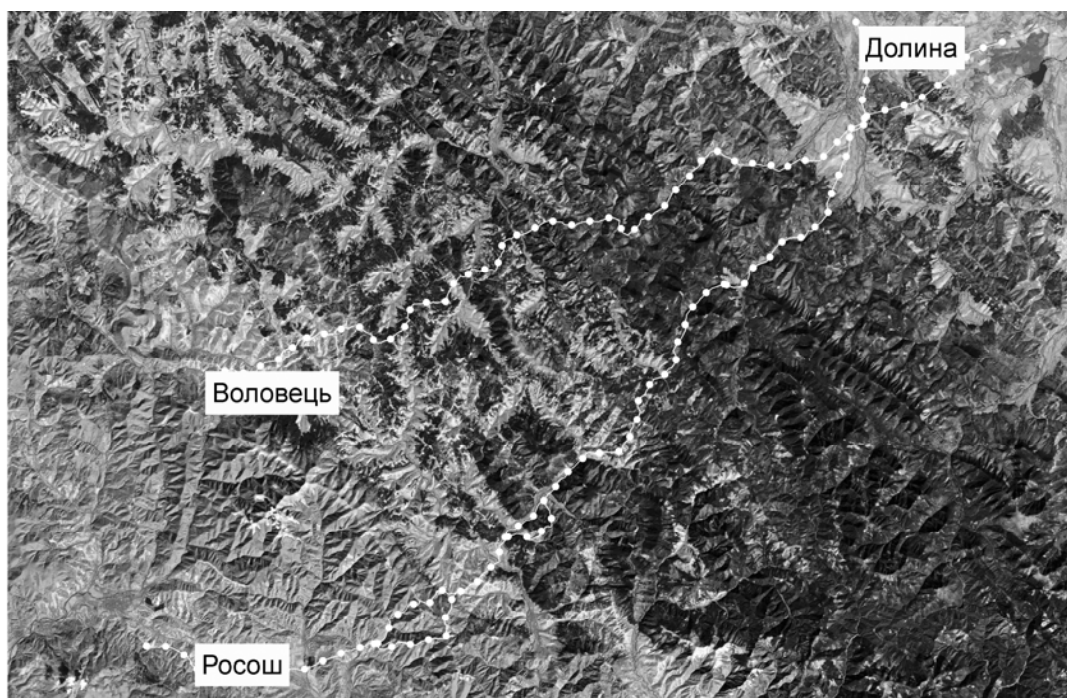


Рис. 1. Космічний знімок, зроблений апаратом Landsat-7 (ETM+) з нанесеною лінією трубопроводу.

Додаткову інформацію про геологічну будову території дало дешифрування космічних знімків, перетворених за допомогою різноманітних фільтрів. Останні спрямовані на перетворення структури зображення.

Зупинимося на технології окремих перетворень космічних знімків та результатах, які досягнуті при дешифруванні цих зображень.

Ізотропна фільтрація за допомогою оператора Лапласа дозволяє підкреслити закономірну орієнтацію окремих складових зображення, що не завжди можна зробити безпосередньо по знімку. На знімках, перетворених за допомогою оператора Лапласа, вдається виділити лінементи як північно-західного, так і північно-східного напрямку, а також меридіональні лінементи.

Мета *високочастотної фільтрації зображень* – підкреслення дрібних деталей знімку та підсилення контрастності. При цьому іноді вдається усунути не тільки шуми, а й маскуючий вплив, що його створює рослинний покрив, і вивчати деталі рельєфу та склад поверхневих відкладів.

Більш ефективним виявилось перетворення зображень за допомогою фільтра *соляризації*, який присутній в більшості програмних пакетів для обробки растрових зображень. Використання цього фільтра дало змогу здійснити операцію віднаходження країв, і як наслідок, – визначити межі окремих об'єктів зображення, зокрема річкових долин, ділянок підвищеної зволоженості тощо.

Маскування на основі диференціальних операторів використовувалося для обробки дрібномасштабних космічних знімків. Обробка зображень здійснювалася за методикою, запропонованою Н.В.Скуболовою та Л.В.Тарасенковою [2].

Використання різноманітних методик обробки зображень, отриманих в результаті ДЗЗ, дозволило:

- покращити якість зображення, його сприйняття та наочність, завдяки чому дешифрування стало більш повним та якісним;
- перейти до інтерпретації за допомогою спеціалізованих програмних засобів;
- виконати кількісну оцінку зображувальних параметрів;
- встановити приховані елементи геологічної структури чи об'єкти, які "забиваються" іншими елементами зображення.

Тематичне камеральне дешифрування багатозональних космічних та аерознімків дозволило отримати попередні дані про геодинамічні особливості досліджуваної території і, зокрема, про блокові рухи земної кори. З цією метою при дешифруванні ми використовували ландшафтні ознаки, такі як зображення ерозійних форм, простягання й генезис форм та елементів рельєфу, характер і форми залягання гірських порід, розподіл рослинного покриву та ін. Між цими елементами ландшафту існують закономірні зв'язки, зумовлені спільною дією ендегенних та екзогенних факторів, що і дозволяє використовувати отримані дані в геодинамічних дослідженнях, зокрема й уздовж трас газопроводів.

Найбільш вразливим геодинамічним фактором є рельєф, і зокрема, ерозійна сітка, аналіз якої здійснювався найбільш ефективно за знімками в червоній та ближній інфрачервоній зонах. При використанні інших ландшафтних ознак більш інформативними є знімки в інших спектральних зонах. Суттєво покращує отримання структурно-геологічної інформації використання синтезованих знімків. Так, на синтезованому знімку, отриманому із зображень в зеленій, червоній та ближній інфрачервоній зонах, одночасно добре проявляються рослинність, відносна зволоженість гірських порід, яка часто спостерігається в зонах розривних порушень. Для інших розломів варіанти синтезу відіграють меншу роль, оскільки їх ознаками є в першу чергу наявність аномально прямолінійних уступів, знижень у рельєфі, а вже потім зміна комплексів гірських порід. На багатозональних знімках чіткіше виділяються ерозійні форми (лінійна і площинна ерозія, бічна флювіальна ерозія, зсувні процеси, осідання ґрунтів), їх розвиток, напрям дії. Балки та яри в горах поблизу траси приурочені до виходів м'яких еоценових і олігоценних порід флішу в улоговинах, зокрема Виготській. Для гравітаційних форм – зсувів, осипищ та обвалів у долині р. Свіча, де проходить газопровід Долина – Воловець, найсприятливішими умовами є наявність виходів на поверхню потужних пачок піщано-глинистих порід олігоцену, неглибоке залягання підземних вод, підмивання схилів водотоками.

Наступним етапом досліджень було прогнозування зон підвищеного ризику ділянок магістральних газопро-

водів Долина – Воловець та Долина – Росош з точки зору надійності ГТС. Серед геодинамічних факторів, які суттєво впливають на експлуатаційну надійність ГТС, насамперед, є сучасні тектонічні рухи земної кори та ерозійні процеси (лінійна і площинна ерозія, бічна флювіальна ерозія, зсувні процеси).

Сучасні рухи розглядаються нами як сумарна дія вертикальних та горизонтальних зміщень окремих елементів тектонічних покривів, які знаходяться як в аллохтонному, так і в автохтонному заляганні складчастих Карпат та Передкарпаття. Особливості тектонічної будови уздовж трас газопроводів, де лінії регіональних насувів (насуви тектонічних зон, окремих скиб, чешуй) мають кути нахилу $80-85^{\circ}$, тобто є майже субвертикальні, зумовлюються на поверхні у вигляді вертикальних рухів. Інструментальні геодезичні спостереження свідчать про те, що інтенсивність сучасних рухів у межах трас газопроводів становить 7–11 мм за рік. Враховуючи сумарну амплітуду (підняття + опускання), від-

носне зміщення окремих блоків може досягати 15–20 мм за рік. Таким чином, на міжблокових ділянках існує реальна загроза механічного порушення щільності трубопроводів.

Основним методом виявлення розломів є лінеаментний аналіз. Лінеаменти – це лінійні аномалії рельєфу і зображення, що генетично пов'язані з розломами і тріщинами земної кори, активними на неотектонічному етапі. Космічні знімки декількох рівнів генералізації дозволили виявити лінеаменти декількох порядків: планетарного, регіонального та локального, що встановлюються на основі космічних знімків різного розрізнення і відповідають окремим розломам, зонам тріщинуватості, лінеаментним зонам.

Результатом дешифрування чи формалізованої обробки космічних знімків із виділенням прямолінійних елементів зображення стала вихідна схема лінеаментів (рис.2). Її складовими є різноспрямовані лінії – елементарні лінеаменти відповідного порядку. Порядок лінеаментів визначається масштабом і розрізненням вихідного зображення.



Рис.2. Вихідна схема лінеаментів

За результатами попереднього аналізу поля лінеаментів було складено похідні карти лінеаментів:

- загальної щільності лінеаментів;
- щільності лінеаментів певних напрямків;
- частоти лінеаментів;
- щільності вузлів перетину і зчленування лінеаментів;
- анізотропії лінеаментів.

Проведено також структурно-геоморфологічне дешифрування знімків, яке полягало у встановленні взаємозв'язків між експонованим рельєфом і структурами земної кори. В основу даного методу покладено положення про те, що як форми й комплекси форм рельєфу, так і окремі його морфографічні, морфометричні й динамічні характеристики зумовлені дифереційованими проявами ендегенних процесів: напрямом та інтенсивністю тектонічних рухів, передусім новітніх, складом гірських порід та формою їх залягання. Принцип структурно-геоморфологічного аналізу полягає у вирішенні "зворотної задачі", тобто у відшукуванні рис геологічної структури і тектонічних рухів, виражених у рельєфі.

За результатами лінеаментного аналізу і структурно-геоморфологічного дешифрування знімків було створено карту розломно-блокової тектоніки. При її складанні враховували дані геологічних і геофізичних досліджень, а також геодезичних вимірювань. На цих картах знайшли

відображення диз'юнктивні порушення різної морфокінематики, а також плікативні дислокації, показано блоки, що зазнали впливу різного знака (підняття чи занурення).

Наземні спостереження виконувалися для перевірки результатів дешифрування матеріалів дистанційного зондування. Вони включали геолого-геоморфологічні дослідження сучасних ерозійних, гравітаційних, схилових та інших динамічних процесів, а також вимірювання з використанням газового індикатора газів (ИГ-5).

Дослідження охопили 15 ділянок. Основну увагу було приділено сучасним геологічним процесам та явищам, а саме ділянкам проявів процесів ерозії, зсувів, обвалів і осипів. Спостереження здійснювалися маршрутами з використанням засобів прив'язки за допомогою GPS. Портативний ИГ-5 використовувався для визначення місць витоків скрапленого газу із газопроводів безпосередньо з поверхні ґрунту або дорожнього покриття над газопроводами, а також для визначення місць нещільності швів, фланців і зварювальних з'єднань зовнішніх газопроводів та газової арматури. Під час досліджень також було зроблено фотознімки потенційно небезпечних ділянок газопроводу.

Основні результати досліджень. В результаті дешифрування та аналізу дистанційних даних встановлено, що на досліджених ділянках газопроводів існують активні розривні порушення, які простягаються перева-

жно поперек та вздовж основних тектонічних елементів. На аерокосмічних матеріалах віддешифровано серію поперечних розривів локального рангу. Деякі з них перетинають трасу магістралі під тупими кутами і тому становлять небезпеку для трубопроводу.

Одна з геодинамічних зон (ділянок) пов'язана з Тур'янським розривом, який упевнено дешифрується на матеріалах дистанційних зображень вздовж русла Мізунки. Розрив було виявлено і бурінням в ході розвідувальних робіт на Долинській і Північно-Долинській площах. Розлом перетинає трасу приблизно у 110 м на південний схід від Долинської газокompресорної станції. Потужність зони близько 20 м. Вертикальні рухи земної кори в зоні Туринського розлому можуть бути спровоковані викачуванням з пластів нафти і закачуванням, відповідно, пластових вод, тобто викликані зміною гідростатичних умов.

Іншою напруженою ділянкою можна вважати той відрізок трубопроводу, де він перетинає Береговий насуп (недалеко від селища Вигода). Саме тут насуп різко (під 90°) змінює свій напрям, що можна пояснити наявністю поперечного порушення. І дійсно, тут віддешифровано серію локаль-

них розривів антикарпатського простягання, один з яких під тупим кутом одночасно перетинає газопровід і насуп.

Два субмеридіональних порушення виділяються на лівому березі Свічі в місці, де трубопровід перетинає русло. Далі на південь, на околиці с. Шевченкове, спостерігається серія субширотних порушень. Особливої уваги потребує відрізок, де трубопровід перетинає уступ терасових рівнів, який закладено вздовж субширотного порушення. Тут розвивається лінійна ерозія, а біля підніжжя уступу тераси — заболочування.

На основі даних, отриманих у ході польових обстежень, які проводились з метою перевірки і уточнення результатів дешифрування та аналізу дистанційних даних, було встановлено, що найбільший розвиток ерозійних процесів у гірській частині Карпат спостерігається на ділянках газопроводу Долина-Росош між населеними пунктами Сойми-Росош-Лопушанка (рис.3). Розвитку ерозійних процесів сприяє активність сучасних рухів земної кори, у результаті яких кути нахилу схилів зростають, початкові форми ерозії — борозни, вибоїни, які найчастіше трапляються на незадернованих схилах, різко поглиблюються. Глибина їх врізів досягає 0,5–0,7 м, ширина 1–3 м, довжина 10–150 м.

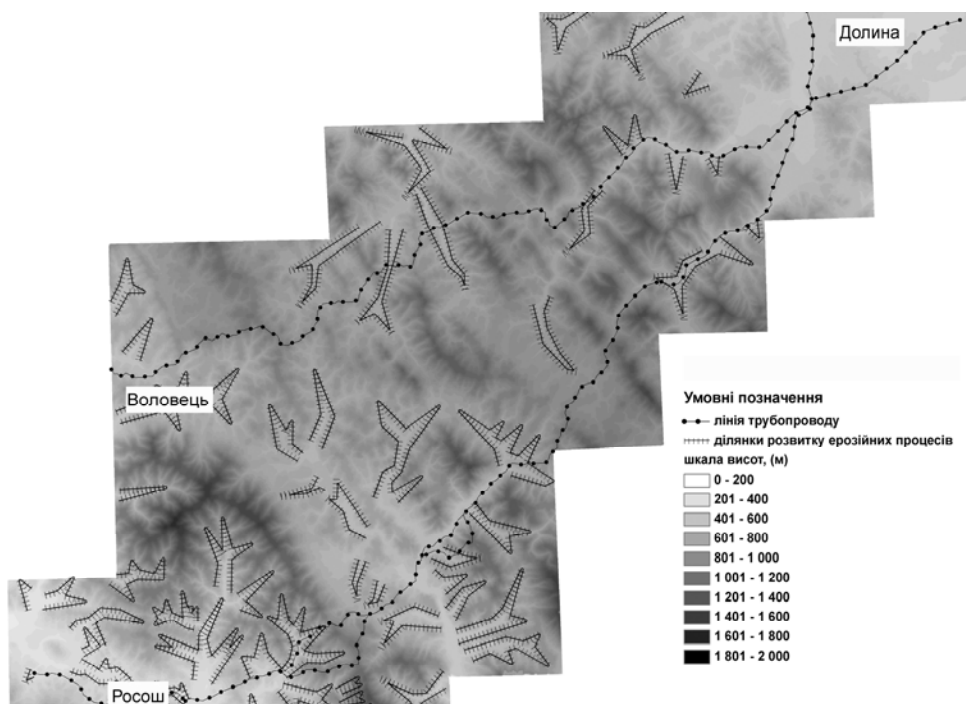


Рис.3. Розвиток ерозійних процесів на досліджуваній території.

Значні ухили місцевостей сприяють широкому розвитку ярів, особливо на делювіальних суглинках, що легко розмиваються. Польовими спостереженнями встановлено, що найбільший розвиток мають яри різних форм: донні, берегові й схилі, а також пришляхові яри та вимоїни. Найбільш небезпечним місцем для трубопроводу, де активно розвиваються вимоїни з переходом у яри, є ділянка на околиці села Корецьки, що і відображено на рис. 4.

Площинний змив розвивається на відносно вирівняних привершинних схилах, яким властиві незначні кути нахилу (до 10°), опукла форма й порівняно висока потужність товщі покривних відкладів з перевагою суглинного матеріалу.

У процесі аналізу морфологічних характеристик конусів виносу тимчасових та невеликих постійних водотоків, які перетинають газопроводи на території гірської частини Карпат, виявлено таке. Конуси виносу струмків і малих водотоків, що виникають у молодих долинах і ярах з інтенсивною донною ерозією та активним розвитком гравітаційних

селевих вогнищ виносять переважно дрібноуламковий матеріал. Вони мають досить великі розміри, значну потужність і характерну віялоподібну форму в плані. Конуси виносу відкладів гірських рік представлені річковим алювієм із включенням брил. Для газопроводів при катастрофічних повенях це може мати негативний наслідок у вигляді механічного впливу в місцях їх переходів, підмиву опор.

Уздовж трас газопроводів у Карпатах за характером деформацій і зсувних порід виділяється кілька генетичних типів. Найбільш небезпечними є блокові зсуви та зсувипотоки, останні розвиваються на відносно пологих схилах і характерні для закарпатської частини. Вони властиві другій стадії формування схилів і виникають на раніше зміщених породах або в сильнозвітрених дочетвертинних відкладах, тобто у зонах розущільнення гірських порід, які дешифруються на матеріалах дистанційних зйомок.

Зсувний схил уздовж траси газопроводу "Долина-Воловець" фіксується у фронтальній частині Орівської

скиби Скибового покриву Карпат за 2–3 км на схід від с. Старий Мізунь. Його складають інтенсивно тріщинуваті й вивітрені флішові породи верхньої крейди та палеогену. Підніжжя схилу має зсувну терасу висотою 30–40 м, що утворився в голоценовий час і підмивається річкою Мізунка. Верхня частина зсуву залісна, розчленована зі сходу та заходу ярами. Довжина зсуву по схилу 0,8–1 км, площа – 0,35 км².



Рис.4. Оголення трубопроводу в межах дороги (околиця с. Корецьке)

Загалом варто відзначити, що найінтенсивніше зсуви утворюються в межах розвитку кросненської серії і мєнілітової світи олігоцену, у розрізі яких домінують аргіліти та алевроліти, що мають низьку протиденудаційну стійкість. Формування обвалів у флішових породах інших

геологічних верств відбувається більш повільно і їх розвиток може бути тільки на дуже суттєвих обривах, де схил набуває обвального-осипного характеру.

В результаті проведених досліджень а також аналізу аеро-космічних та картографічних матеріалів вздовж лінії трубопроводів "Долина – Воловець" та "Долина – Росош" було виділено ділянки найбільших концентрацій тектонічних напруг (мал. 5). Загалом біля 50 км газопроводу за ступенем ризику можна віднести до максимального, 17 км – до значного ризику та 18 км – до помірного.

Саме в межах цих ділянок спостерігається активізація ерозійних процесів, підвищений ризик зсувних явищ, тут не виключена і механічна деформація трубопроводів у результаті діє сучасних вертикальних рухів земної кори.

Висновки

Проведені дослідження показали, що багатоспектральні дані космічних зйомок є важливим джерелом інформації для вивчення геодинаміки та моніторингу сучасних екзогенних процесів на ділянках, через які проходять трубопроводи. Найкращі результати дає дешифрування аеро- та космічних знімків, отриманих у різний час, що дозволяє досліджувати процеси в динаміці. Перевагами дистанційних методів можна вважати оперативність; незалежність від погодних умов, добового чи сезонного періоду; можливість дослідження великих територій, включаючи важкодоступні місця; можливість проведення комплексного моніторингу, що охоплює різні характеристики досліджуваних об'єктів; відображення динаміки протікання процесів; картографування потенційно небезпечних ділянок. Крім того, комплексне використання традиційних методів моніторингу навколишнього середовища та методів ДЗЗ дають змогу оптимізувати мережу спостереження та екстраполювати дані наземних досліджень.

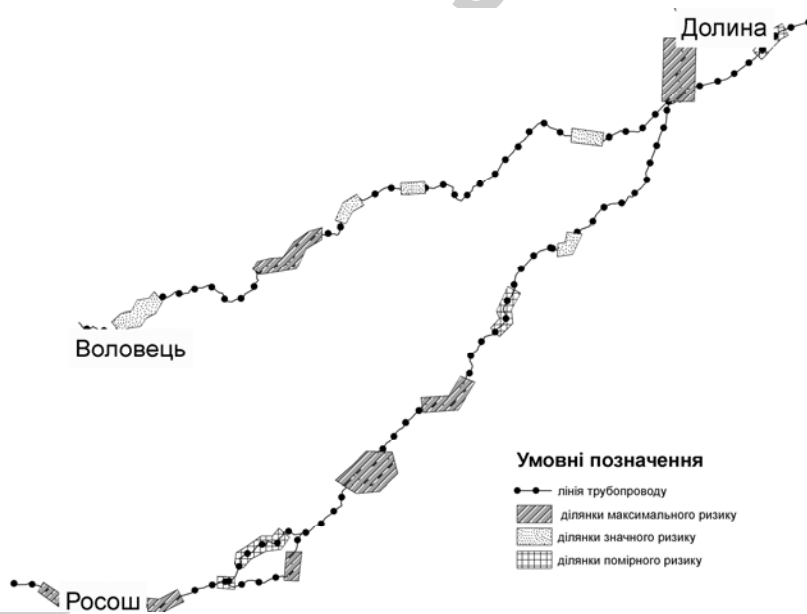


Рис.5. Ділянки підвищеного ризику трубопроводу "Долина – Воловець" і "Долина – Росош"

Геоінформаційні системи дозволяють поєднати дані дешифрування знімків з іншою інформацією, що застосовується при геодинамічному моніторингу трас трубопроводів. Такою інформацією є дані стаціонарних спостережень, інформація про склад відкладів верхньої частини розрізу, фізико-механічні властивості ґрунтів, рельєф, режим підземних вод, геологічна та геоморфологічна будова досліджуваної території тощо.

1. Готинян В.С., Мазницький А.С., Сакун М.Ю. Вплив розривних порушень земної кори на корозійність магістрального газопроводу: 36. доп. Х ювіл. міжн. конф. "Ресурсоенергозбереження у ринкових відносинах". – К.: НВЦ "Нафтохім", 2003. – С. 39-40. 2. Скублова Н.В., Тарасенкова Л.В. Использование преобразованных на ЭВМ аэро- и космических снимков при локальном прогнозировании эндогенного оруденения // Методы обработки аэро- и космической информации при геологических и поисковых работах. – Л.: ВСЕГЕИ, 1987. – С. 12 – 28.