

Екологічні задачі

Вивчення екологічного стану урбанізованих та промислових територій України за багатозональними космічними знімками

А. Г. Мичак¹, Л. П. Ліщенко¹, О. М. Теременко¹,
О. І. Кудряшов¹, М. С. Щепець²

¹Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

²Київська міська державна адміністрація, ДКП «Плесо», Київ

Питання вивчення екологічного стану міських агломерацій та промислових територій є надзвичайно актуальним завданням для України. Адже саме в цих природно-техногенних системах (ПТС) найяскравіше проявляються негативні тенденції взаємовідносин людської діяльності і природного розвитку довкілля. Дослідження напрямків їх розвитку має принципове значення для визначення оптимальних схем взаємодії системи «людина—природа» при яких процеси самовідновлення природного середовища повинні мати провідне значення.

Традиційні геоекологічні підходи до вивчення стану та розвитку навколишнього природного середовища урбанізованих та промислових територій сьогодні не охоплюють у повній мірі багатогранність функціонування цих природно-техногенних систем. Науково-технічний прогрес вимагає більш інтенсивно впроваджувати нові методи досліджень процесів самоорганізації, стійкості, розпаду, відродження та прогнозування розвитку різних систем і структур живої і неживої природи. І в цьому напрямку великого значення набуває розробка методів, програм та технологій фізичної інтерпретації матеріалів багатозональних космічних зйомок з метою суттєвого підвищення достовірності та однозначності оцінки параметрів ПТС, прогнозування несприятливих процесів в геосистемах. Сучасні матеріали космічних зйомок у різних діапазонах хвиль при тематичній комп'ютерній обробці з використанням ПС-технологій дозволяють досліджувати природно-техногенні системи на якісно новому рівні. А ретроспективний аналіз перших космічних зйомок з кінця 1970-х років у комплексі з даними сучасних зйомок дозволяють досліджувати екологічний стан міських агломерацій та промислових

територій в моніторинговому режимі.

У ЦАКДЗ виконано екологічне дешифрування значного об'єму матеріалів космічних зйомок, їхня інтерпретація та комп'ютерна обробка на ряд урбанізованих територій. В результаті багатоступеневої обробки та тематичних досліджень сучасних мультиспектральних знімків з КА «Spot» (Франція), «Landsat», (США), «Ресурс» (Росія), IRS (Індія), «Січ», «Океан-О» (Україна) проведено вивчення екосистем Середнього Придніпров'я, Київської, Запорізької, Херсонської та інших міських агломерацій. Дано оцінку ландшафтно-функціональних систем, несприятливих екзогенних геологічних процесів, які потребують інженерного захисту. Виявлені зони екологічного ризику. Представлені дії техногенезу на навколишнє середовище: літосферу, гідросферу та атмосферу. Значна частина таких розробок увійшла до тематичних атласів «Україна з космосу» [1], «Космос—Україні» [2].

Розглянемо особливості використання багатозональної космічної зйомки на прикладі деяких регіонів України. Досліджувались райони з напруженою екологічною ситуацією, що пов'язана з розробкою родовищ корисних копалин та промисловим комплексом. Вони відрізняються географічним положенням, геологічною будовою та видами техногенного впливу, його наслідками. В залежності від ситуації і поставленого завдання методика використання КС зазнавала змін, про що йдеться далі.

СЕРЕДНЄ ПРИДНІПРОВ'Я

Даний регіон у геологічному відношенні приурочений до південно-східної частини Українського кри-

сталічного масиву, а у фізико-географічному — до Північностепових височин, розчленованих яружно-балковою мережею. На космічних знімках середньої роздільної здатності ландшафти передаються мозаїчним малюнком, обумовленим інтенсивним господарчим використанням території. Територія зазнає значних техногенних змін завдяки діяльності аграрного, гірничо-видобувного, промислового, комунікаційного, селітебного комплексів. Спостерігається значна порушеність геологічного середовища і відбуваються незворотні зміни, які потребують постійного нагляду, контролю та передбачення.

При дослідженні цього регіону був використаний значний банк багатозональних космічних зйомок за останні десятиріччя. Зупинимося на матеріалах зйомки високої роздільності МСУ-В (канали 2—8), виконаної вітчизняним КА «Океан-О». Розглянемо стисло характеристику цих каналів.

2-й канал (0.54—0.61 мкм). Знімки у цій зоні спектру дозволяють розрізняти четвертинні відклади різного літологічного складу, виявляти техногенне порушення ґрунтів. На них добре відображено кар'єри (наприклад, марганцеві в районі міст Орджонікідзе, Нікополь, Марганець), в тому числі діючі і рекультивовані, а також піщані масиви і греблі (в районі Запорізької АЕС), намивні піщані будівельні майданчики на півдні Запоріжжя в районі Дніпровських плавнів. Сільгоспугіддя, ерозійна мережа, а також міста та села відображаються з дуже малою контрастністю;

3-й канал (0.63—0.73 мкм) найдоцільніше використовувати при виявленні ділянок техногенного порушення поверхні, особливо кар'єрами, відвалами, відкритими ґрунтами. Дешифрується рослинність, яка може вказувати на більш вологі території, як природні, так і техногенно обумовлені. Цей діапазон дозволяє розпізнати золівідвали Запорізької АЕС, а також відрізнити хмари від димових шлейфів.

4-й канал (0.78—0.92 мкм) придатний для вивчення наслідків екзогенних процесів, таких як ерозія, площинний змив, денудація; а також для картографування морфологічних особливостей рельєфу, водосховищ, зокрема відстійників промстоків. В цьому діапазоні також добре відображаються межі сільськогосподарських угідь та вегетаційний стан рослин на момент зйомки (рис. 1, а).

5-й канал (0.92—0.99 мкм) найдоцільніше використовувати для вивчення тектонічних особливостей території (для структурного, структурно-геоморфологічного дешифрування території, виділення розривних порушень і кільцевих об'єктів, які відбивають глибинну тектонічну будову (в даному випадку Дніпровського блоку Українського кристалічного масиву). Наприклад, на вивченому знім-

ку чітко прослідковується Девладовський і Чортотлицький регіональні розломи, а також серії локальних розривних порушень, які обмежують окремі блоки УКМ. По дугоподібних елементах ландшафту (зокрема по ерозійних врізах) дешифруються позитивні тектонічні елементи. Діапазон може використовуватись при лінеаментному аналізі з метою виявлення напрямків міграції забруднюючих речовин, зон екологічного ризику (рис. 1, б).

6-й канал (1.47—1.62 мкм). Після корекції яскравості і контрастності зображення можна застосувати для картування перезвожених ділянок, підтоплених територій. Зокрема, на даному знімку добре відобразились подібні ділянки по долинах рр.Томаківка, Конка, Вільнянка і на о. Хортиця. Рослинність не диференціюється. В цьому каналі Дніпропетровська і Запорізька міські агломерації виділяються по спектральних характеристиках та дрібнозернистій структурі зображення, а по збільшенню щільності залізниць і автошляхів в районі транспортного вузла Синельникове. Тобто діапазон придатний для визначення техногенних порушень природних комплексів, оконтурювання техногенних ландшафтів, хоча роздільна здатність каналу невелика (рис. 1, в).

7-й канал (2.06—2.38 мкм): роздільна здатність незначна, дозволяє працювати у масштабі щонайбільше 1:500 000. Зображення можна застосувати для картографування перезвожених ділянок, підтоплених територій. Міста та сільські поселення відображаються тепловими аномаліями. Теплові аномалії також вказують на промислові зони у великих містах (Запоріжжя, Дніпропетровськ).

8-й канал (10.6—12.0 мкм) дозволяє чітко розмежувати основні компоненти природного середовища, такі як вода, повітря (хмарність), суша, і в їхніх межах виділити ситуаційні теплові аномальні ділянки з метою їхнього обґрунтування та прив'язки. Діапазон дає можливість виділяти перезвожені ділянки (території підтоплення), в межах водосховищ — ділянки «цвітіння води», мінімально, але досить чітко фіксуються різні типи хмарності, і немає тіней від хмар (рис. 1, г).

Отже, структура зображення у окремих каналах сприяє проведенню досліджень екологічного стану і картографуванню території по ландшафтних особливостях і окремих природних та техногенних компонентах. Виділяється гідро- і ерозійна мережа, видно різницю між сухими і вологими днищами балок. При значному збільшенні можна дешифрувати ділянки площинного змиву, підтоплені райони і зрошувані землі. Можна окреслити площі, які займають еродовані землі, сільгоспугіддя, ставки, водосховища, озера, лісові масиви, кар'єри, насипи, греблі і селітебні території. Таким чином, зображення, отримані космічним апаратом «Океан-О»,

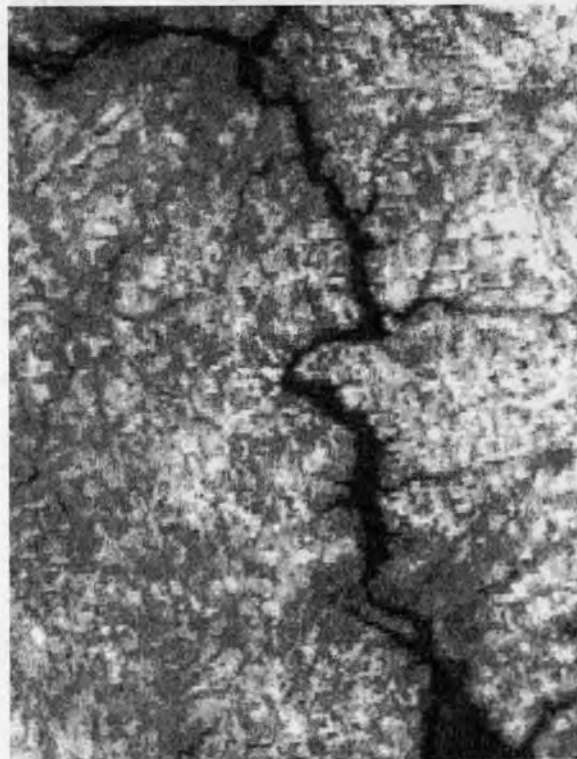
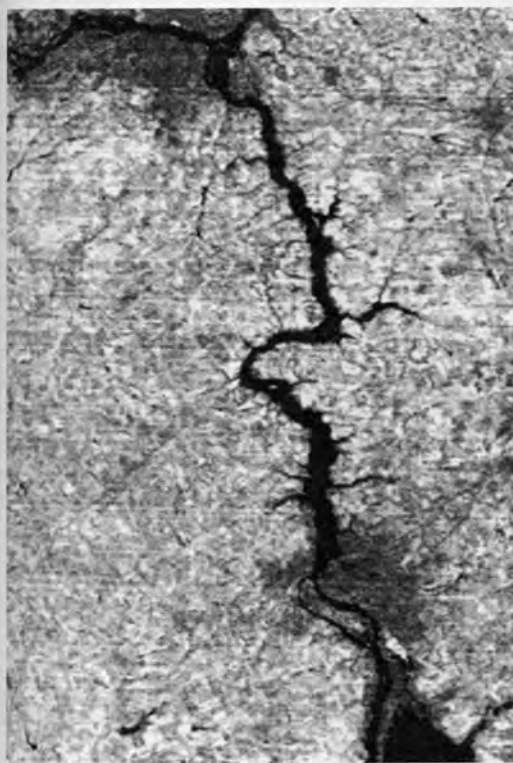
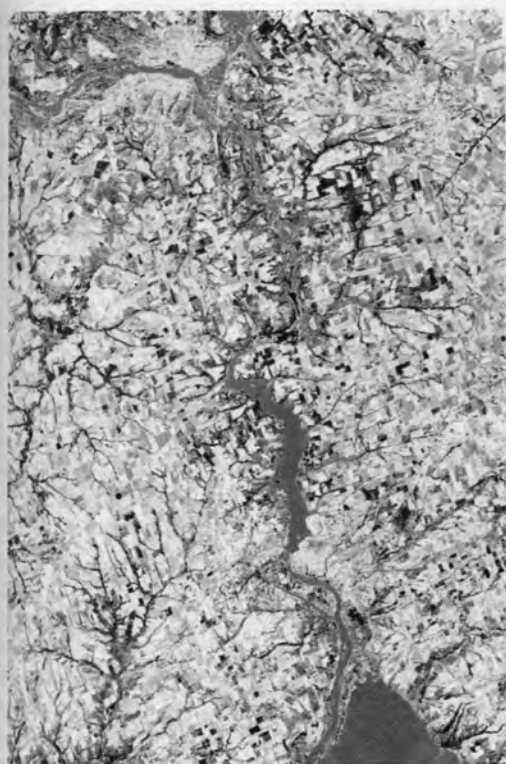


Рис. 1. Знімки Середнього Придніпров'я: а—г — канали 4, 5, 6, 7



А



Б



В

дозволяють виконати оцінку природних ресурсів, скласти карту природокористування, а зіставлення знімків, зроблених у різні роки, дає можливість проводити геоекологічний моніторинг [3].

Високі темпи перетворення геологічного середовища притаманні територіям з інтенсивним відкритим добутом сировини, наприклад Криворізькому залізорудному басейну та марганцеворудним площам на Нікопольщині. Ці регіони вимагають систематичних спостережень за екологічним станом природного середовища. На основі зображень, отриманих космічними апаратами «Landsat-TM», «Океан-О» МСК-В, а також АФЗ, була складена карта техногенних утворень на ділянці Марганцевсько-Нікопольського гірничовидобувного промислового вузла. Завдяки різним корекціям і класифікаціям в автоматичному режимі дешифрувалися як зональні, так і синтезовані зображення. Підбиралися такі варіанти обробки зображення, на яких відображаються різні техногенні об'єкти і ландшафтно-техногенні комплекси: гірничовидобувний, гідрологічний, селітебний, промисловий, сільськогосподарський. Із застосуванням старих топографічних матеріалів на правобережжі Каховського водосховища в межиріччі Базавлука і Томаківки проаналізовані зміни в ландшафтно-функціональній структурі району (отримано якісні і кількісні характеристики змін конфігурації населених пунктів та річкової мережі з 1928 року по теперішній час). Було встановлено, зокрема, що площа шламо-накопичувачів, відстійників виросла починаючи з 1958 року більш ніж в 7 разів, малюнок ерозійно-річкової мережі 1928 року корінним чином відрізняється від сучасного: Дніпро та його правобережні притоки — р. Томаківка, Базавлук, з притоками Кам'янка і Солена до підтоплення Каховським водосховищем протікали у природних руслах, які меандрували, та мали ділянки низької та високої заплави і надзаплавну терасу. Істотно змінився гідрогеологічний режим території, весь водний стік практично зарегульований. По правобережжю водосховища розвивається і активізується абразія, ерозія та обвали берегів, а в балках нижче греблі ставків та на схилах кар'єрів — бокова та глибинна ерозія. На плоских поверхнях лесових терас спостерігаються процеси суфозії і підтоплення.

Рис. 2. Техногенні зміни в межах Орджонікідзенських кар'єрів Нікопольського промислового вузла: А — космічний знімок КА «Океан-О», МСУ-В, діапазон 0.63—0.73 мкм, від 21.08.2000; Б — космічний знімок КА «Landsat-TM», діапазон 0.63—0.69 мкм, від 10.06.96; В — фрагмент карти техногенних змін марганцеводобувної ділянки

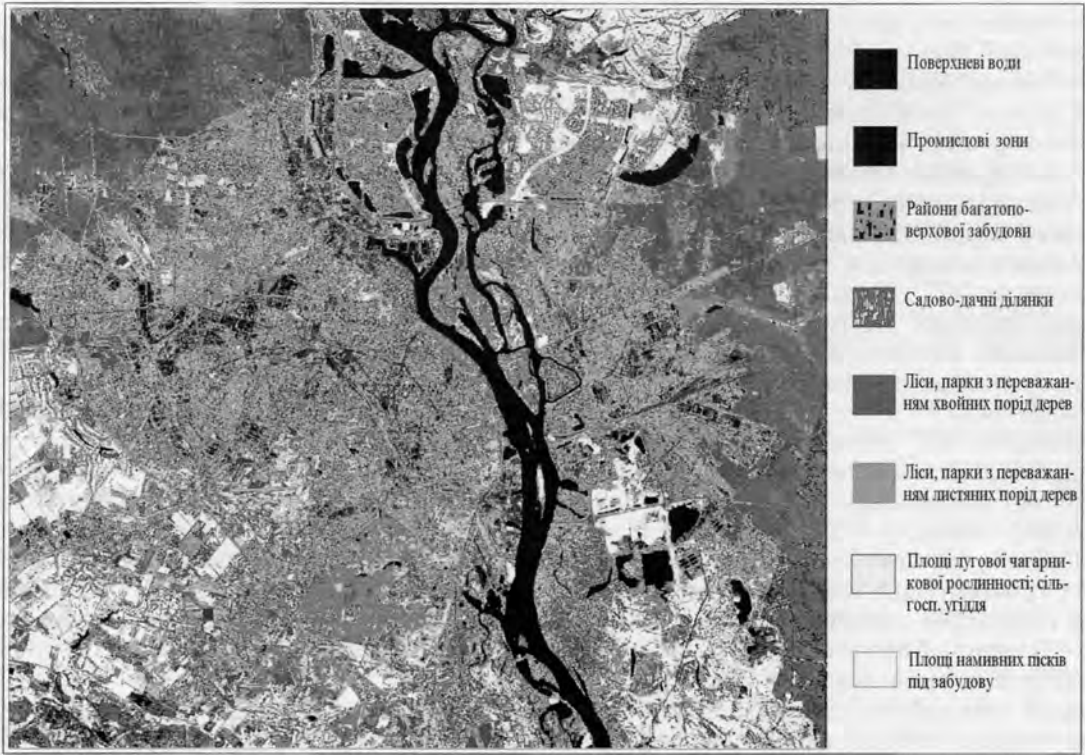
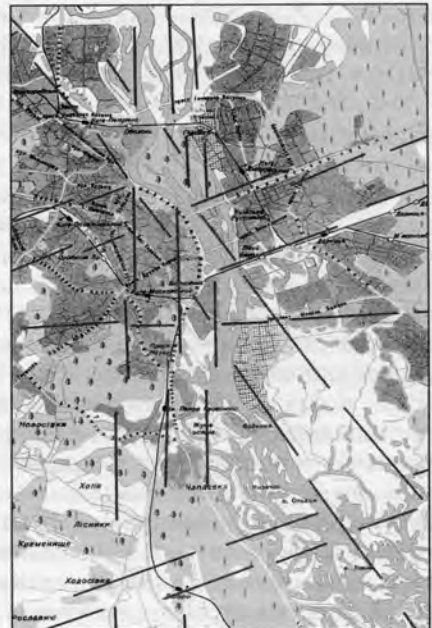


Рис. 3. Київ. Ландшафтно-функціональні зони



1 2

Рис. 4. Ділянки з потенційно небезпечними геологічними процесами в межах Києва (знімок з КА «Океан-О», МСУ-В, 0.78—0.92 мкм): 1 — зсуви; 2 — границі підтоплення ґрунтів



1

Рис. 5. Геодинамічні зони в межах Києва: 1 — зони геодинамічних напруг (екологічного ризику)

Для вивчення змін природно-техногенного комплексу, що відбулись за 70 років, складена карта динаміки техногенних об'єктів (техногенезу). В знакової системі представлені такі природні комплекси: орографічний, водний, рослинний; техногенний — промисловий, сільськогосподарський, селітебний, гідротехнічний, агротехнічний.

Кількісний аналіз проводився по основних типах користування кожного з ландшафтно-функціональних комплексів ПТС. У таблиці представлено числові характеристики динаміки змін ландшафтно-функціональних комплексів Орджонікідзенської ділянки Нікопольської природно-техногенної системи (площа в га) [4].

Багатозональні КС дозволили зробити класифікацію марганцевих кар'єрів за станом використання на ті, що знаходяться в експлуатації (свіжі), відпрацьовані (виведені з експлуатації), і рекультивовані (землі, які нині використовують під дачну забудову, сільгоспудія або лісопосадки). Виконано також порівняння площ кар'єрів по різночасових знімках. За допомогою останніх була встановлена їхня просторово-часова динаміка (рис. 2).

Проведені дослідження дають можливість одночасно на великих площах вивчати вплив гірничо-видобувного комплексу на ландшафт. Зіставлення різночасових зображень допомагає прослідкувати зміни, що відбувалися в природному середовищі в просторі і в часі, тобто провести аерокосмічний моніторинг та прогнозувати напрямки подальшого розвитку геоекологічної структури території.

МІСЬКІ АГЛОМЕРАЦІЇ

Проблема вивчення впливу сучасних антропогенних процесів на формування території міських агломерацій у даний час надзвичайно актуальна. Переважна більшість дослідників, які займаються цією проблемою, вважають, що:

1 — міський ландшафт являє собою сполучення природної і техногенної складових;

2 — існує відносно небагато типів (видів) елементарних ландшафтів міських геосистеми, найбільш характерні з них є група природно-техногенних систем прямого впливу техногенних факторів (селітебні, промислові, гірничо-видобувні, дорожнотранспортні) і група систем, які зазнають непрямого впливу техногенних факторів (активізації несприятливих екзогенних та гідрологічних процесів, забруднення водних акваторій, ґрунтового і рослинного покриву);

3 — міські ландшафти формуються, як правило, в межах однієї або декількох суміжних природних геосистем, для яких характерною ознакою є подібність сучасних антропогенних впливів по всьому

ареалу, а також належність до функціональної зони міста.

В 2000 р. розроблено проект створення в Києві геодинамічного полігону. Основна мета полігонних досліджень — моніторинг сейсмічних, геологічних, геоморфологічних, неотектонічних, гідрологічних передумов виникнення небезпечних процесів. Результати досліджень, що плануються на геодинамічному полігоні спільно з даними дистанційних зйомок, слід розглядати як надійну основу для прогнозування, попередження і запобігання катастрофічних ситуацій (при зсувах, підтопленнях, деформаційних процесах на інженерних спорудах та ін.), а також для створення багатоцільової геоінформаційної системи, необхідної для перспективного планування і перспективного розвитку міста [5].

Для вивчення впливу сучасних геологічних процесів на розвиток формування територій міських агломерацій нами досліджувались матеріали дистанційних зйомок у вузьких діапазонах електромагнітного спектру. Зокрема, вивчались матеріали в таких діапазонах: 0.5—0.6, 0.6—0.7, 0.8—0.9 мкм (сканер МСУ-Є), 0.59—0.60, 0.61—0.68, 0.79—0.89 мкм («Spot»), 0.46—0.51, 0.62—0.67, 0.64—0.69, 0.81—0.86 мкм («Ресурс Ф2», МК-4, СА-М).

В результаті багатоступеневої обробки трьох каналів космічного знімка «Spot» за допомогою програмного продукту «ERDAS Imagine» отримано зображення ландшафтно-функціональних зон Київського регіону, з об'єктивною інформацією про розміщення та взаємозв'язок основних функціональних структур міста та околиць (рис. 3).

На екосистему міста впливають особливості природного середовища Києва. Столиця оточена майже суцільним кільцем лісів. В поліській лісовій зоні переважають хвойні породи, а в лісостеповій — листяні. У межах міста значні площі займають природні та штучні лісопарки та парки, зокрема Пуца-Водиця, Голосіївський, Святошинський. Площа зеленої зони понад 43 тис. га, і її значення в екосистемі міста важко переоцінити. Вона являється джерелом чистого повітря для потужного промислового центру, захищає круті схили Дніпра та інші складні в геологічному відношенні території від небезпечних екзогенних процесів, є місцем відпочинку мешканців трьохмільйонного міста.

В цілому промислова та житлова забудови Києва розвивались з урахуванням природних особливостей місцевості. Зручні для значного будівництва площі практично освоєні. Тому в останні десятиріччя ведеться інтенсивне будівництво в заплаві Дніпра. Тут зведено великі житлові масиви: Оболонь, Троещина, Харківський, Осокорки. Ці масиви побудовано на намивних пісках, що змінило природний ландшафт заплави. На зображеннях чітко виділяються площі намивних пісків під забудовою

ву. Слід відзначити, що комплексний індекс забруднення атмосфери Лівобережжя вищий за Правобережжя. Це бажано враховувати при житловому будівництві в майбутньому.

Заслуговує на уважне вивчення розміщення промислових зон міста, які несуть значне техногенне навантаження. Так, Дарницько-Ватутінський та Подільсько-Куренівський промислові вузли з їхніми значними викидами шкідливих речовин, оточені житловими масивами з високим ступенем урбанізації. Автотранспорт є основним забруднювачем повітря. Однак транспортна мережа міста не відповідає вимогам зниження забруднення. Для цього необхідно продовжувати будівництво кільцевої автомагістралі, що дозволить розвантажити великий транспортний вузол від транзитного автотранспорту.

Для більшості урбанізованих територій в останній період характерний розвиток таких небезпечних геологічних процесів, як підйом рівнів ґрунтових вод та зсувів. Екологічне дешифрування матеріалів сучасних багатозональних космічних зйомок та їхня інтерпретація з геолого-картографічними даними дозволяють оцінювати і прогнозувати розвиток цих процесів [6].

На геозображенні (знімок в ближньому ІЧ-діапазоні, 4 канал МСУ-В, «Океан-О») подані результати дешифрування сучасних геологічних процесів: зсувів та підтоплення територій Києва (рис. 4).

Зсувні порушення дніпровських схилів завжди були серйозною проблемою для Києва.

Зсувні форми рельєфу набули значного поширення вздовж правого берега Дніпра в зоні шириною 10 км. В ній виділяється п'ять головних зсувних ділянок — Подільська, Центральна, Києво-Печерської лаври, Залавська та Видубецька. На схилах балок і ярів в межах міста зафіксовано цілий ряд зсувів, які знаходяться на різних стадіях розвитку.

Розвиток зсувів обумовлено багатьма факторами, серед яких головними є вплив гідрометеорологічних процесів в умовах техногенного порушення рослинного покриву, поверхневого і підземного стоків. Максимум зсувної активності припадає на періоди інтенсивного прояву ерозійних процесів, особливо весною при таненні і влітку, під час злив. Основними морфологічними формами є зсуви циркоподібні, зсуви-потоки, а також осипи пісків. На даний період нараховується близько сотні зсувів, більшість з яких стабілізовано повністю або частково. Є ряд потенційно небезпечних ділянок з частково діючими зсувами або такими, що можуть активізуватися при обводненні верхніх горизонтів, вони становлять загрозу для будівель та інженерних комунікацій і потребують постійного контролю.

Картування глибин рівнів ґрунтових вод (H) та визначення зон підтоплення по матеріалах космічних зйомок здійснюється за ландшафтно-інди-

каційною методикою, що базується на встановленні зв'язку між видимими на багатозональних знімках компонентами ландшафту (рельєф, ґрунти, поверхневі води, рослинність). Крім того, у межах території з проективним покриттям (C_v) 30—35 % величина H визначалась з використанням щільності фототону знімка ближнього ІЧ-діапазону (P) згідно з отриманою емпіричною залежністю

$$\ln H = A + B \ln P,$$

де A і B — коефіцієнти, що залежать від типу ґрунту та C_v , визначаються на тест-ділянках за даними наземних визначень H .

Головними чинниками підйому рівнів ґрунтових вод в межах Києва є підпор ґрунтових вод Канівським та Київським водосховищами, створення водозаборів підземних вод, ліквідація природних дренажів, підземні інженерні споруди (тунелі метрополітену, підпірні стінки, бетонні «сорочки» русел річок, заглиблені фундаменти будівель), витік води із водонесучих комунікацій, поховання прошарку ґрунту під намівними пісками та насипними ґрунтами. Підтоплення житлових і промислових споруд, транспортної мережі становить значну небезпеку для ряду ділянок міста. У деяких районах, особливо на лівобережжі, підтоплення набуло загрозливого характеру.

На тестових ділянках виконувались дистанційні заміри рівнів ґрунтових вод за допомогою НВЧ-вологорівнеміра. В результаті виконаних дистанційних досліджень з відбірковими інструментально-завірочними спостереженнями відзначається підтоплення територій на яких раніше цього не спостерігалось. В останні роки збільшилась амплітуда коливань рівнів ґрунтових вод протягом року [7].

В цілому результати дистанційних спостережень глибин залягання ґрунтових вод в межах міської території відзначаються оперативністю, достатньою точністю і дозволяють організувати постійно діючий моніторинг на значних ділянках міських агломерацій з виданням рекомендацій із стабілізації та усунення підйому рівнів ґрунтових вод на урбанізованих територіях.

Територія Києва та його околиць перетинається значною кількістю неотектонічних розломів субмеридіонального, субширотного і північно-західного напрямків. В ряді розломів спостерігаються прояви активності на сучасному етапі. При геоекологічних дослідженнях за мультиспектральними матеріалами космічних зйомок виконувалось дешифрування зон геодинамічної напруги, які ототожнюються з розривними формами прояву сучасного тектогенезу в осадовому чохлах. Вони дешифруються за космічними знімками у вигляді лінійно організованих елементів ландшафтів, виражених на поверхні Землі, — зон лінеаментів (рис. 5).

Слід відзначити, що частина зон збігається з розломами, виявленими геолого-гефізичними методами. Найбільш потужним з них є Київський розлом субмеридіонального напрямку. В сучасному рельєфі ця геодинамічна зона формує диференційований рельєф крутого правого схилу долини Дніпра висотою 60—70 м. Тут спостерігається активізація гравітаційних екзогенних процесів (зсуви, ерозія). Зона зіставлення з Придніпровським розломом дешифрується в заплаві Дніпра і має північно-західне простягання.

На схемі представлені зони, що на даному етапі виділяються лише при дешифруванні матеріалів дистанційних зйомок. Вони мають субширотний та північно-східний напрямки. В ландшафті вони тягнуться до долин малих річок (Дарничанка, Либідь та ін.), зон розвитку екзогенних процесів, підтоплення ґрунтів. Інтенсивний розвиток сучасних екзогенних процесів в зонах геодинамічної напруги простежується при зіставленні рис. 4 та 5.

З точки зору сучасної геодинамічної нестабільності особливої уваги вимагають вузли геодинамічних зон. Їх характеризує високий рівень тектонічної роздрібненості, що простежується у верхній частині осадового чохла і активізація сучасних екзогенних процесів.

Розглянемо особливості Запорізької екосистеми, де головним чинником її формування є металургійний і машинобудівний комплекс. В геоструктурному відношенні місто розташоване на південному схилі Українського щита, у межах Придніпровської височини. Особливості геологічної будови території обумовлені розломно-блоковою тектонікою; формуванням блокової структури, зв'язаної з розломами глибинного закладення. Найбільш поширені плейстоценові еолово-делювіальні лесові відклади, фізичні властивості яких разом із іншими ендегенними та екзогенними факторами обумовлюють характер та напрямок геодинамічних процесів. Широко представлено форми рельєфу, що обумовлені діяльністю підземних вод — зсуви та просадки. Серед сучасних геодинамічних процесів найсуттєвішими є: розмив та акумуляція постійними водотоками, площинний змив та лінійний розмив, зсувоутворення, утворення просядок у лесоподібних суглинках, розмив та акумуляція берегів водосховищ. Найбільшої уваги з негативних геологічних процесів заслуговує підтоплення.

Для вивчення екологічного стану міста було використано космічні знімки «Spot», «Ресурс-Ф1», «Ресурс-Ф2», а також аерофотознімки, отримані у видимих (0.4—0.7 мкм) та інфрачервоних (0.8—0.9 мкм) променях. На матеріалах космічної зйомки за особливостями фототону та структурного малюнка фотозображення окреслено міську агломерацію, території орного землеробства, ліси, водну

поверхню, заплаву, залізниці та шосе. Простежено територію металургійного комбінату «Запоріжсталь» та працюючих з ним у комплексі підприємств чорної металургії. Особливо виразно цей промисловий район відображається у ІЧ-діапазоні (0.8—0.9 мкм) та на синтезованих зображеннях, створених з участю ІЧ-каналу. У цьому каналі також добре відобразились водна поверхня, берегова лінія Дніпра з його водосховищами, ставки, зволожені та заболочені площі, межі сільськогосподарських угідь.

«Голубі» канали КС (0.4—0.5 мкм) дали змогу зафіксувати димовий шлейф від металургійних комбінатів, розташованих у північній частині міста. Смуга диму у кілька кілометрів завширшки розповсюджується на відстань понад 50 км. Аерокосмічні знімки у жовтій і оранжевій смугах (0.6—0.75 мкм) дали змогу простежити забруднення водного середовища промисловими стоками.

По космічних знімках в межах Запоріжжя та його околиць виявлено мережу розривних порушень. Багато з них не картографовані традиційними геолого-геофізичними методами. Являючи собою зони підвищеної тріщинуватості, проникності, подібні приховані зони розривних порушень відіграють неабияку роль у процесах міграції флюїдів, у формуванні ландшафтів, включаючи рельєф і рослинність. У зонах розривних порушень розвиваються лінійна ерозія, зсувоутворення, просяди.

По аерофотознімках простежено сучасні геодинамічні процеси, визначено межі міської агломерації, промислові зони, зафіксовано звалища промислових та побутових відходів, проведено районування селітебних територій, на райони з багатопверховою та одноповерховою забудовою. Картографуючи звалища відходів та оцінюючи їхнє положення на місцевості, можна передбачити напрямок та масштаби забруднення ґрунтів, підземних водонесних горизонтів, водного середовища, атмосфери.

Міська агломерація займає площу приблизно 120 км². Промислові зони складають більш як 40 % її площі. Місто являє собою складний комплекс взаємозв'язаних систем, що включають селітебні та промислові зони, зелені насадження, транспорт та інженерні споруди.

Головними факторами, що забруднюють навколишнє середовище, є комбінат «Запоріжсталь», алюмінієвий, титаномагнієвий, коксохімічний та інші заводи металургійного комплексу. Аерозолі від них простежуються на відстані понад 50 км. Майже на таку ж відстань розповсюджуються вздовж течії Дніпра і рідкі відходи цих підприємств. Звалища твердих відходів заповнюють гирла Кичкаської та Середньої балок. Ними виведено із землекористування біля 7 км² землі, підтоплено та забруднено ґрунти навколо звалищ. Найбільшого техногенного

Динаміка ландшафтно-функціональних комплексів Нікопольського промислового вузла

Ландшафтно-функціональні комплекси	Тип природокористування	1928 р.	1958 р.	1972 р.	1986 р.	1999 р.
Селітебні	Міського типу	870	1605	2815	3470	3551
	Сільського типу	3300	2900	2918	2753	2700
Промислові	Промислові зони	300	550	1015	1224	1230
	ГЗК	0	50	200	280	474
Гірничо-видобувні	Кар'єри	0	700	2900	3760	3615
	Рекультивовані землі	0	0	1220	3055	3900
	Терикони, відвали порід	40	100	260	300	320
Гідротехнічні	Відстійники		330	420	766	770
	Водосховища ставки	600	1300	1800	2017	2300
Сільськогосподарські	Дачні ділянки	0	0	160	390	494
	Сади та виноградники	1880	2500	1800	1363	1250
	Теплиці	0	10	25	41	46
	Тваринницькі комплекси	120	250	380	420	420
Лісотехнічні	Ліси та парки	600	860	1100	1100	1105

навантаження зазнає північна частина міста, адже тут зосереджені майже всі підприємства чорної металургії, ГЕС, шосе республіканського значення. Треба зазначити, що по матеріалах дистанційних зйомок в районі ГЕС простежено потужну зону розривних порушень субширотного орієнтування.

Значного техногенного навантаження зазнали плавні, тобто незначна частина заплави Дніпра на півдні міста, яка не була затоплена водами Каховського водосховища. Тут у 80—90-х роках було розпочато будівництво нового житлового району, площа якого на 1991 рік складала вже 6 км². Численні протоки заплави отруєні стічними водами: вище за течією відбувається скид у Дніпро промислових («червона вода»), а також побутових (міський каналізаційний колектор) стоків.

Водне середовище у межах міста та його околицях зазнало величезних перетворень. Практично не залишилось жодної річки, яка б зберегла первісний природний вигляд та якість води. Всі притоки Дніпра підпружено водосховищами. Внаслідок цього підтоплені заплави річок Конка, Кагарлик, Гадюча та ін. У заплавах утворились болота. Застійний режим та промислові відходи різко погіршили якість води. На берегах водосховищ ідуть процеси абразії та акумуляції. Долина Мокрої Московки спотворена кар'єрами.

За межами міста дистанційні матеріали дозволили зафіксувати деякі сучасні геологічні процеси, що є наслідком техногенної діяльності. Наприклад, іригація на вододілі Конки та Мокрої Московки призвели до масового утворення просадок у лісоподібних суглинках, інтенсивна оранка є причиною площинної та лінійної ерозії на схилах багатьох балок як на правому, так і на лівому берегах Дніпра. Площинна ерозія уразила більше 3 % орних земель.

В цілому головною метою комплексного аналізу стану урбанізованих та промислових територій України є оцінка геоecологічного ризику, його вплив на життєдіяльність населення, обґрунтування принципової схеми експертних оцінок стану геосистем, створення прогнозних моделей їхніх змін при різних варіантах взаємодії природної і техногенної підсистем, оцінка вірогідності проявів несприятливих процесів та їх наслідків.

1. Лялько В. І., Федоровський О. Д. та ін. Україна з Космосу (Атлас дешифрування знімків території України з космічних апаратів) // Космічна наука і технологія. Додаток.—1997.—№ 3/4.—36 с.
2. Лялько В. І., Федоровський О. Д. та ін. Космос—Україні (Атлас тематичного дешифрування знімків території України з українсько-російського космічного апарата «Океан-О» та інших космічних апаратів). — Київ: НКАУ—НАНУ, 2001.—106 с.
3. Ліщенко Л. П. Використання даних дистанційного зондування землі для вивчення геоecологічної ситуації на території Нікопольського промислового вузла // Докл. III Міжнарод. научно-практичної конф. «Проблеми геоінформатики при комплексному освоєнні недр». — Днепропетровск, 2001.—С. 65—72.
4. Мичак А. Г., Ліщенко Л. П., Кудряшов О. І. Дистанційна індикація основних видів техногенного впливу на природні комплекси на прикладі Нікопольського гірничо-промислового району // «ГІС—Форум-2000». — Київ, 2000.—С. 91—96.
5. Старостенко В. І., Баран П. І., Баршевський Н. Е. и др. Київ: геологія і геофізика оточуючої середовища і фактори, небагатоприятно на неї впливаючі // Геофіз. журн.—2001.—23, № 4.—С. 3—38.
6. Теременко О. М., Лялько В. І., Федоровський О. Д., Рябоконтенко О. Д. Екологічна інтерпретація космічних зйомок міських агломерацій // «Нові методи в аерокосмічному землезнавстві». — Київ: ЦАКДЗ ПН НАН України, 1999.—С. 156—162.
7. Лялько В. І., Вульфсон Л. Д., Котляр А. Л., Теременко А. Н. Контроль областей підтоплення в межах г. Києва з допомогою активного зондування в СВЧ-діапазонах // Геофіз. журн.—2001.—23, № 4.—С. 39—45.