

УДК 504.064.37:528.8

В. И. Волошин¹, А. Г. Шапарь², Н. Н. Переметчик³

¹Державне підприємство «Дніпрокосмос», Дніпропетровськ

²Інститут проблем природокористування та екології Національної академії наук України, Дніпропетровськ

³Управління з екології Дніпропетровської міської ради, Дніпропетровськ

**Исследование опасных экзогенных процессов
на территории города Днепропетровска
с использованием спутниковых снимков**

Надійшла до редакції 10.03.05

Проведено лінеаментний аналіз геологічних структур зсувонебезпечних районів міста Дніпропетровська по космічних знімках. Для завірки результатів аналізу геофізичними методами на основі спостереження природного імпульсного електромагнітного поля Землі виділено зони тектонічних порушень на тестовій ділянці. Показано, що лінеаменти, виділені в результаті дешифрування космічних знімків, знайшли відображення в виділених тектонічних зонах за результатами спостереження природного імпульсного електромагнітного поля Землі. Встановлено, що найактивніші екзогенні та деформаційні процеси спостерігаються у вузлах перетину тектонічних розломів (лінеаментів). Створення космосхеми таких зон за результатами дистанційного зондування Землі дозволяє здійснювати моніторинг небезпечних екзогенних процесів, що мають природно-техногенне походження.

В последнее время во многих городах Украины отмечается увеличение активности опасных экзогенных процессов. Их оперативный контроль и прогноз проявлений с использованием эффективных экономических методов является актуальной задачей настоящего времени.

Особенности геологического строения грунтов, на которых построены крупные города Украины, нельзя не учитывать при анализе возникновения опасных экзогенных процессов, обусловленных природно-техногенным воздействием. В том числе — состояние земной коры: тектонические подвижки плит земной коры постоянны, и их последствия проявляются на локальном уровне [8, 9].

Синергетический эффект проведения исследовательских опасных геологических процессов достигается комплексированием результатов интерпретации космических снимков и данных наблюдения природного импульсного электромагнитного поля Земли (ПИЭПЗ). Подобные исследования проводились в Украине [11, 13, 15]. Эффективность комплексного исследования рассматривается на примере города Днепропетровска.

Начиная с 1983 г. ведется наблюдение за тектонической активностью территории города Днепропетровска, проявляющейся в зонах неотектонических нарушений, количество которых в Днепропетровске достигает 77 [1]. Активные зоны неотектонических разломов являются дополнительным фактором, провоцирующим возникновение оползней, деформации и разрушений зданий в условиях природно-техногенной нагрузки на окружающую природную среду.

Обследована в качестве тестового объекта Рыбальская балка общей площадью 45.5 га, расположенная в центре правобережной части города. Склоны балки застроены жилыми и административными зданиями, находящимися частично в аварийном состоянии, здесь расположен стадион «Метеор», по дну балки проложен коллектор промышленных сточных вод ГП «ПО ЮМЗ им. А. М. Макарова» диаметром 1200 мм.

Глубина расчлененности рельефа в балке составляет 60 м (от 168 м по расположенной выше улице до 105 м по тальвегу, система высот Балтийская). В верхней части геологического разреза залегают



Рис. 1. Территория города Днепропетровска с нанесенными на правобережье зонами неотектонических разломов

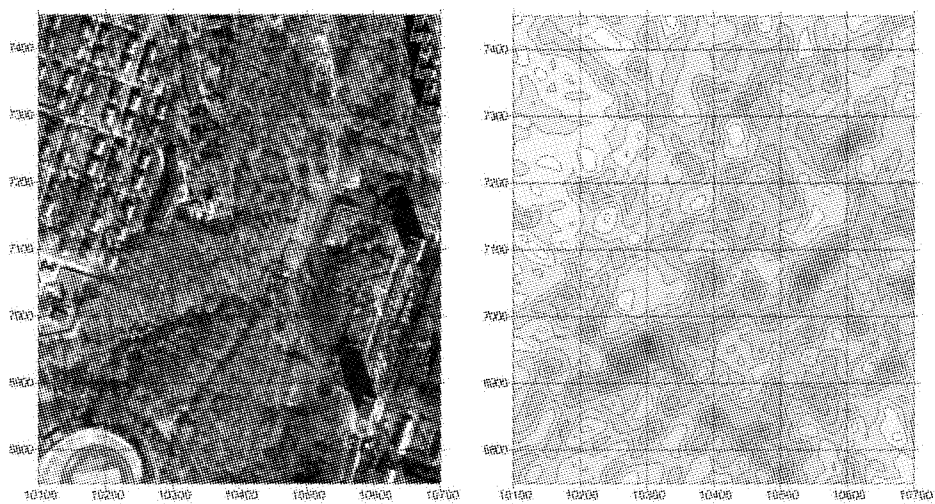


Рис. 2. Линейментный анализ балки Рыбальская. На космическом снимке (слева) в нижнем левом углу — фрагмент стадиона «Метеор».

лессовые супески и суглинки, которые характеризуются подъемом уровня грунтовых вод из-за утечек в водонесущих коммуникациях.

В качестве исходных материалов использовались предварительно обработанные космические снимки с разрешением 1 м (КА Ikonos, США) и 5 м (КА IRS, Индия). Применено программное обеспечение обработки и преобразования (ПИ «Радуга»), разработанное ГП «Днепрокосмос». Программное обеспечение представляет собой полнофункциональную версию программного продукта ENVI (Environment for Visualizing Images) — лицензионной программной среды визуализации изображений. Программный продукт настроен на пользовательский русифицированный интерфейс команд верхнего уровня и расширен программными модулями, разработанными на языке программирования IDL, которые интегрированы в интерфейсную среду ENVI.

На основе анализа снимка с разрешением 5 м выполнен линеаментный анализ правобережной части города Днепропетровска (рис. 1). Снимок с разрешением 1 м использовался для линеаментного анализа района балки Рыбальская (рис. 2).

Построение схемы осевых линий вероятных тектонических нарушений правобережной части города Днепропетровска осуществлено с использованием линеаментного анализа. Основным прием — логическая интерпретация, которая базируется на анализе соотношений разнообразных свойств объектов, которые отображаются в их изображении на космических снимках [14]. На первом этапе применялась визуальная дешифровка с последующим применением специальной математической обработки.

При дешифровке использовались главным образом не прямые, а косвенные признаки, которые передают геологические свойства объекта через проявление других явлений [7]. Такой подход обусловлен главным образом тем, что территория исследований находится в границах города с интенсивно развитыми коммуникациями, зданиями и т. п. Кроме этого, поверхность перекрыта осадочным чехлом.

Рельеф, который хорошо фиксируется на снимках, выполненных в летний период, обусловлен структурными свойствами, литологическим составом, физическими свойствами или генетическими условиями формирования разных горных пород. Все эти факторы в связи с разным проявлением выветривания и денудации, определенной выборочной эрозии и аккумуляции рыхлого материала отражаются на поверхности в виде характерных форм мезо- и микрорельефа, в развитии гидрографической сети.

При изучении формы и размеров элементов рельефа главным образом обращалось внимание на направление и длину осей овражно-балочной и гидрографической сетей, отражающих свойства горных пород и условий их залегания.

Тщательное изучение рельефа и особенностей геоморфологического строения по результатам интерпретации космических снимков позволило прогнозировать наличие тектонических нарушений. Прогноз базируется на том, что в формировании макро- и микроформ рельефа большое значение имеет нарушенность пород трещинами и разрывами со смещением, их прочность и стойкость к процессам выветривания, которое определяет рисунок и ориентацию речных и овражных долин. Общим дешифровочным признаком таких смещений является подчеркнутая линейность, выраженная разнообразными элементами рельефа. Причиной появления отрицательных форм рельефа в местах выхода смещенных разрывов на поверхность также могут быть контакты пород с разными физическими свойствами. Последние предопределяют образование путей стока и подпирания поверхностных вод.

Линейные формы рельефа являются косвенными признаками тектонических нарушений [10, 14]. С целью восстановления вероятной сетки разрывных нарушений, которое определило формирования современных форм рельефа, по линеаментам рассчитана функция линейности.

Эта трансформанта впервые предложена на кафедре геофизических методов Национального горного университета [12] с целью выделения признаков разломов фундамента, перекрытого мощным осадочным чехлом. Процесс выделения разломов по исходным индикаторам очень субъективный. Функция линейности разрешает более однозначно выделять осевые линии зон разломов.

Функция линейности имеет геолого-математический смысл. При расчете используются модельные представления о том, что зоны разломов — это прямолинейные, линейно-извлеченные элементы фундамента. Зоны разломов выделялись как максимумы функции линейности. На рис. 1 приведена схема осевых линий вероятных тектонических нарушений правобережной части Днепропетровска.

Азимутальный анализ линейных элементов позволяет сделать вывод: на территории правобережной части города Днепропетровска преобладают линеаменты направлений, которые совпадают с системами разломов Украинского кристаллического щита [16], согласно которым преобладают шесть систем взаимно ортогональных разломов 0—270°, 17—287°, 35—305°, 45—315°, 62—332°, 77—347°.

При построении схемы плотности линеаментов по балке Рыбальская выполнена предшествующая обработка поля яркости, которая состояла в усреднении по методу сменного окна. Эта процедура разрешила в значительной мере исключить те особенности снимка, которые имеют случайный характер, и в то же время подчеркнуть повторяющиеся особенности.

Локальные поля в границах анализируемого изображения характеризуются специфическими свойствами, отражающими особенности геосистем разных масштабов или их подсистем. Эти особенности могут проявляться в вариантах тона и структуры изображения. Для выделения линеаментов по снимку балки Рыбальская применены процедуры дифференцирования: во-первых, они проще и оперативнее; во-вторых, для использования структурных характеристик размер поля (в пикселах) недостаточен большой.

Снимок содержит большое количество линейных элементов искусственного происхождения — дороги, улицы, тропы, линии электропередач, здания и сооружения, и т. п. Такие линеаменты были отфильтрованы.

Довольно часто для удобства интерпретации и возможности сравнения с аналогичными схемами по другим районам вместо схем плотности линеаментов используют схемы густоты линеаментов [13].

В ходе выполнения работ составлена схема густоты линеаментов по балке Рыбальская. Для этого использованы результаты наблюдений с помощью дистанционного электромагнитного определителя напряжений. Контрольные замеры в 53 точках сети наблюдений проведены радиоволновым индикатором упруго-деформационного состояния Днепропетровским отделением Украинского геологоразведочного института [2—6].

Метод основан на изучении естественных электромагнитных полей, создаваемых природными электропроводящими структурами с различными электропроводимостями вследствие диффузионных, сорбционных и других происходящих в земле процессов. Последние в значительной мере зависят от изменений напряженности в горных породах. По результатам совместного анализа наблюдений и материалов обследования были получены данные:

- выделено 16 зон тектонических нарушений, которые в пространственной ориентации могут быть объединены в четыре группы: 5—7°, 320—330°, 70—80°, 285—300°;
- зоны тектонических нарушений совпадают с данными по деформации строений в этих зонах;

- имеющиеся фотодокументы аварийных зданий в этих зонах подтверждают полученные результаты.

Наиболее активные деформационные процессы наблюдаются в узлах пересечений неотектонических разломов. Здесь могут формироваться тела оползней, оползневые ступени и поверхностные смещения, что подтверждается аварийным состоянием расположенных в этих зонах зданий.

В результате анализа составлена схема осевых линий вероятных тектонических нарушений правобережной части города Днепропетровска (рис. 3) и схема густоты слабоконтрастных линеаментов района балки Рыбальская.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Линеаменты, выделенные по космическим снимкам, имеют преимущественные направления, которые совпадают с азимутами основных систем разломов Украинского щита (рис. 4).

2. Зоны определенных тектонических нарушений, в особенности в узлах их пересечения, явля-

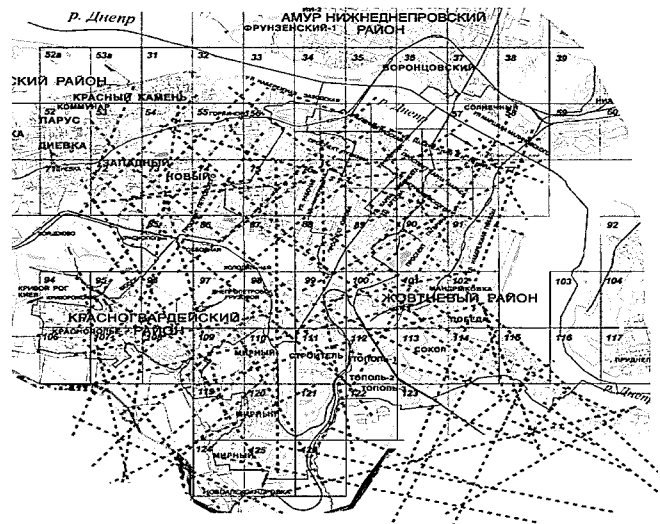


Рис. 3. Схема осевых линий предполагаемых тектонических нарушений правобережной части города Днепропетровска по результатам интерпретации космических снимков

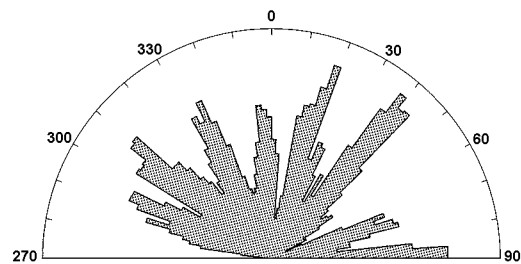


Рис. 4. Диаграмма распределения линеаментов по азимутам

ются потенциально опасными с точки зрения проявления экзогенных процессов.

По результатам исследований с целью повышения устойчивости склона тестового участка Рыбальской балки в г. Днепропетровске рекомендован комплекс мероприятий.

Для дальнейшего уточнения и подтверждения результатов интерпретации космической информации есть необходимость продолжения детальных наземных геолого-геофизических исследований потенциально опасных зон на территории города, что станет основой внедрения экологического мониторинга экзогенных процессов природно-техногенного происхождения по данным дистанционного зондирования Земли. Это позволит заверить данные снимков в инфракрасном диапазоне спектра, совмещенных с космокартой местности.

1. Антонов Ю. Р., Левенко А. С. Опасные геологические процессы в Днепропетровске // Экополис.—2003.— № 1(11)—1(12).—С. 33—37.
2. А. с. 1382221 СССР. МКИ Способ прогноза тектонической нарушенности / А. Б. Посудиевский, В. Н. Саломатин, А. К. Михалев, Г. М. Стывас. — Заявл. 17.03.87; Опубл. 00.00.88, Бюл. № 10.
3. А. с. 1766182 СССР. МКМ Способ прогноза геодинамических зон в массиве горных пород / А. Б. Посудиевский, И. С. Белый, Г. М. Стывас. — Заявл. 20.04.90; Опубл. 00.00.91, Бюл. № 22.
4. Деклараци́нный патент на винахід № 64221 А, Україна. Спосіб виділення на площі ділянок неоднорідної будови ґрунтового масиву / І. С. Білий, М. М. Довбні, Г. П. Кузіна, Г. М. Стывас. — 2004.
5. Деклараци́нный патент на винахід № 64222 А, Україна. Спосіб виявлення ділянок замочування покрівлі підземної споруди / І. С. Білий, М. М. Довбні, Г. П. Кузіна, Г. М. Стывас. — 2004.
6. Держпатент України № 8085. Способ выявления геодинамических зон в массиве горных пород / И. С. Белый, В. Я. Кириченко, Г. М. Стывас, А. В. Шмиголь. — Заявл. 20.11.95.
7. Довбнич М. М., Солдатенко В. П. Технология геологического картирования на основе системно-блоковой модели земной коры // Геофизика и математика: Матер. II Всерос. конф. — Пермь, 2001.—С. 350—355.
8. Космическая информация в геологии. — М.: Наука,

1983.—536 с.

9. Кравцова В. И. Космические методы картографирования. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995.—240 с.
10. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Пер. с нем. — М.: Мир, 1988.—343 с.
11. Мичак А. Г., Ліщенко Л. П., Терещенко О. М. и др. Вивчення екологічного стану урбанізованих та промислових територій України за багатозональними космічними знімками // Космічна наука і технологія.—2002.—8, № 2/3.—С. 129—132.
12. Михайлов А. Е., Корчуганова Н. И., Баранов Ю. Б. Дистанционные методы в геологии. — М.: Недра, 1993.—224 с.
13. Николаєнко Б. О., Янцевич О. О. Лінеаментний аналіз на основі дешифрування МАКС для вирішення задач екологічного картування і прогнозування // Нові методи в аерокосмічному землезнавстві: Метод. посібник з тематичної інтерпретації матер. аерокосмічних зйомок. — Київ: ЦАКДЗ ІГН НАНУ, 1999.—С. 129—132.
14. Рябухин А. Г., Макарова Н. В., Макаров В. И. Космические методы в геологии. — М.: Изд-во МГУ, 1988.—146 с.
15. Терещенко О. М., Лялько В. І., Федоровський О. Д., Рябоконе́нко О. Д. Екологічна інтерпретація космічних зйомок міських агломерацій // Космічна наука і технологія.—2002.—8, № 2/3.—С. 156—162.
16. Тяпкин К. Ф., Гонтаренко В. Н. Системы разломов Украинского щита. — Киев: Наук. думка, 1996.—184 с.

STUDY OF DANGEROUS EXOGENOUS PROCESSES LOCATED ON DNEPROPETROVSK CITY TERRITORY USING SATELLITE IMAGES

V. I. Voloshin, A. G. Shapar, N. N. Peremetchik

A lineament analysis of Dnepropetrovsk city landslip-prone areas geological structures is carried out using space images. Tectonic breakings zones are marked on the test area with the purpose of analysis results certification through geophysical methods on basis of natural pulsed Earth electromagnetic field (NPEEMF) observation. The results of NPEEMF observation show that lineaments marked as a result of space images decoding correspond to marked tectonic zones. It is determined that the most active exogenous and deformation processes are observed in nodes of tectonic breaks crossing (lineaments). Creation of space scheme for such zones using results of remote sensing of the Earth allows one to realize monitoring of dangerous exogenous processes that have natural and man-caused origin.