



УДК 504.05:528.7(045)

О. В. Титаренко

Оперативне оцінювання геоecологічного стану м. Кривий Ріг за матеріалами дистанційного зондування Землі

(Представлено академіком НАН України В. І. Ляльком)

Запропоновано підхід до оперативного оцінювання геоecологічного стану м. Кривий Ріг за матеріалами дистанційного зондування Землі. Проведено дослідження зміни рельєфу та рослинного покриву із застосуванням дистанційних методів та геоінформаційних технологій. Проаналізовано незалежні класифікаційні ознаки стану території дослідження за допомогою геопросторового аналізу різночасових багатоспектральних супутникових зображень і радіолокаційних даних.

Господарська діяльність людини, зростання техногенного впливу на природні ландшафти, загострення протиріч між масштабним виробництвом та екологічним благополуччям можуть призвести до катастрофічних наслідків. Нарощування промислово-енергетичного потенціалу, концентрація населення в містах, забруднення природного середовища спричинили екологічні кризи природних і антропогенних систем, різке підвищення частоти та масштабів техногенних катастроф і природних лих. Визначені явища засвідчують підвищення екологічного ризику [1].

Нагальна потреба оперативного складання карт екологічних ризиків підкреслює актуальність розробки методик і технологій оцінювання геоecологічного стану території для прогнозування, запобігання або пом'якшення дії небезпечних явищ техногенної природи.

Вказані проблеми особливо гостро відбуваються в межах територій промислово розвинутих міст України, до числа яких належить м. Кривий Ріг, що знаходиться в зоні дуже високого техногенного навантаження та екологічної небезпеки.

Геоecологічний ризик у межах Кривого Рогу можна класифікувати в залежності від причин, що його породжують. Це зумовлено дією несприятливих геологічних факторів, оскільки територія міста розташована в природних межах Криворізько-Кременчуцької розломної зони Українського щита, нестійкої в геологічному відношенні ділянки, розбита тріщинами і розривними порушеннями на шість окремих блоків кристалічних порід, які у свою чер-

© О. В. Титаренко, 2014

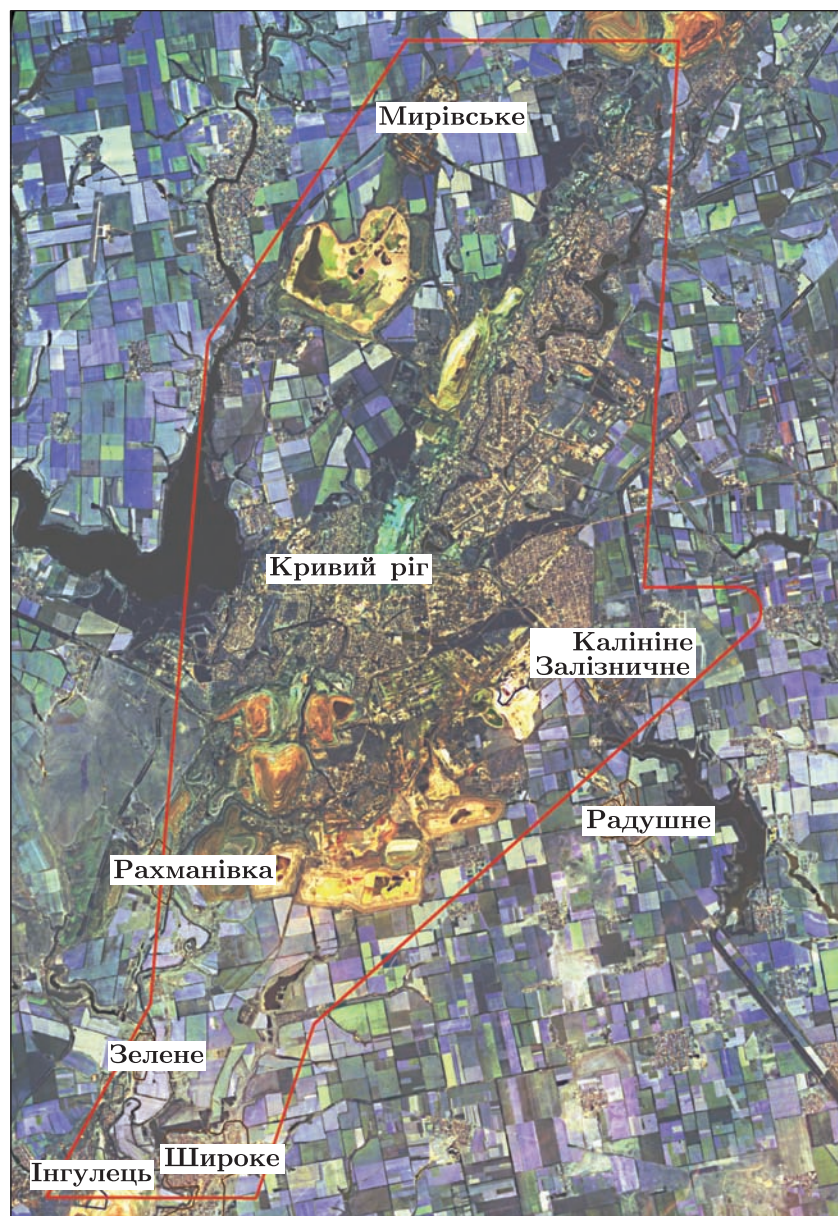


Рис. 1. Територія дослідження

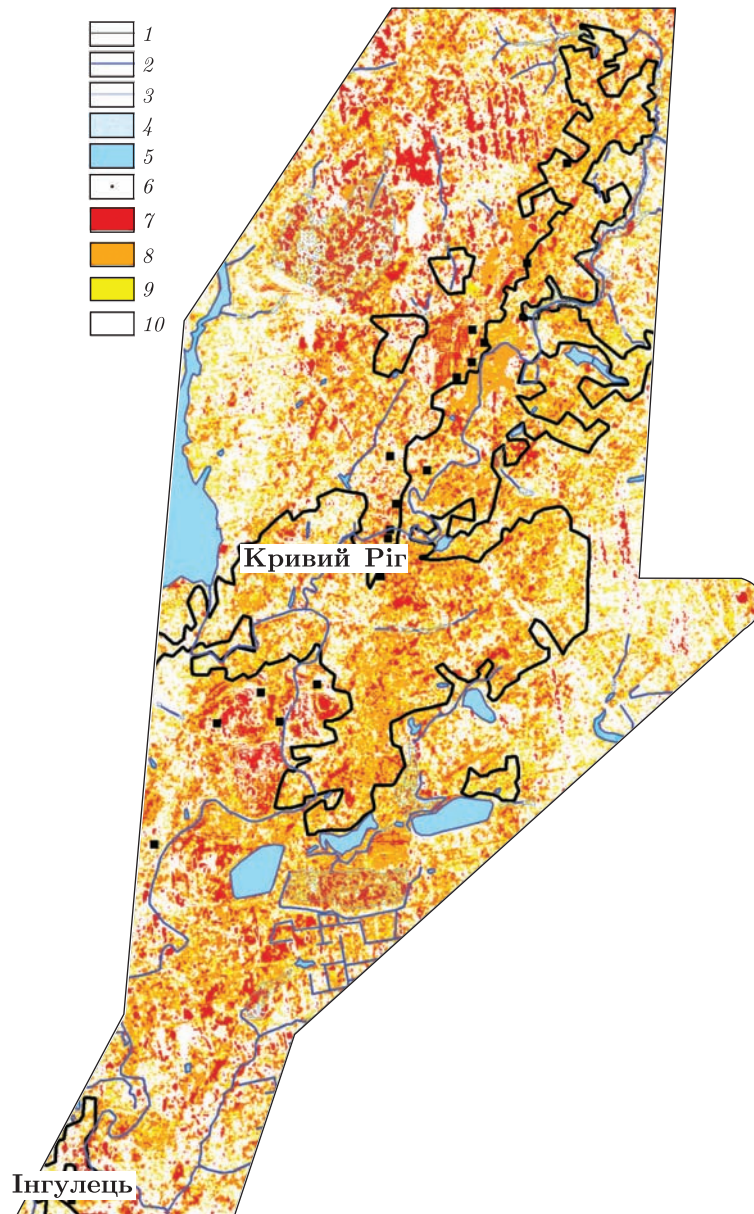


Рис. 2. Зміни рельєфу м. Кривий Ріг у 1999–2011 рр.

Умовні позначення. Топооснова: 1 — міста; 2 — водотоки основні; 3 — річки; 4 — водосховища; 5 — озера; 6 — шахти. Зміни рельєфу: 7 — значні; 8 — середні; 9 — незначні; 10 — без змін

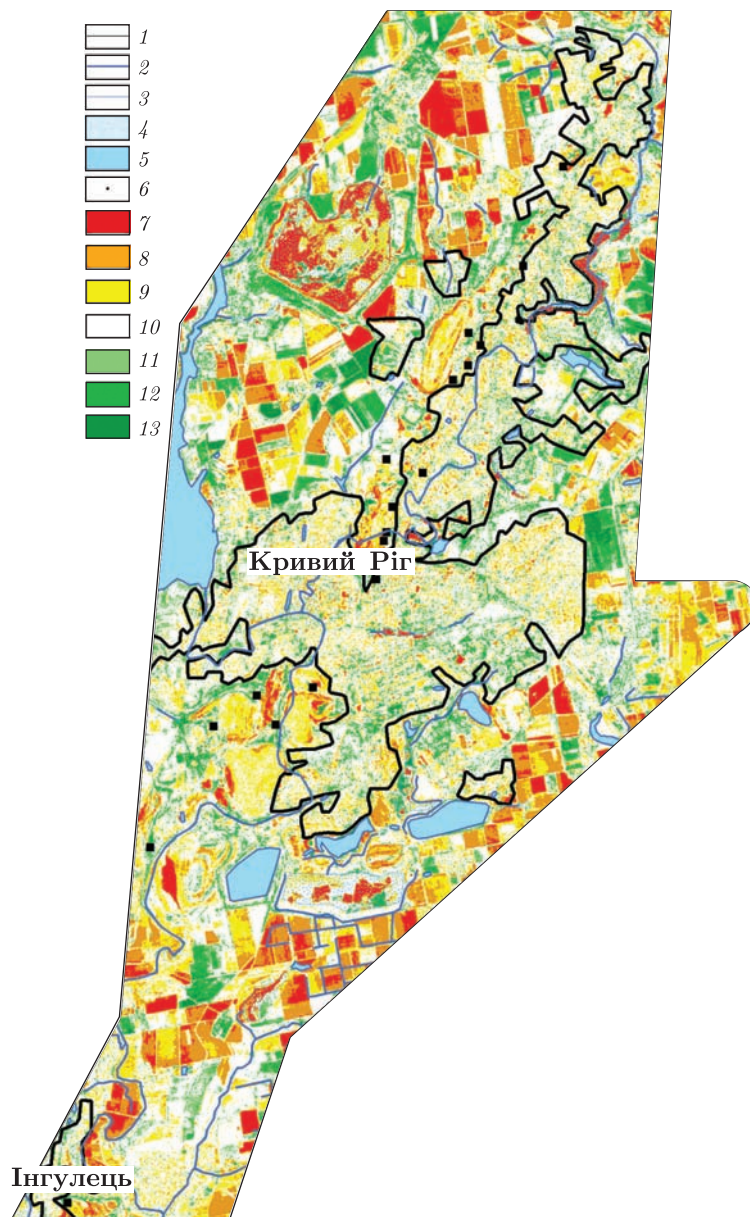


Рис. 3. Зміни рослинного покриття м. Кривий Ріг у 1995–2013 рр.

Умовні позначення. Топооснова: 1 – міста; 2 – водотоки основні; 3 – річки; 4 – водосховища; 5 – озера; 6 – шахти. Зміни рослинного покриття: 7 – сильне зменшення; 8 – середнє зменшення; 9 – слабке зменшення; 10 – без змін; 11 – слабке збільшення; 12 – середнє збільшення; 13 – значне збільшення

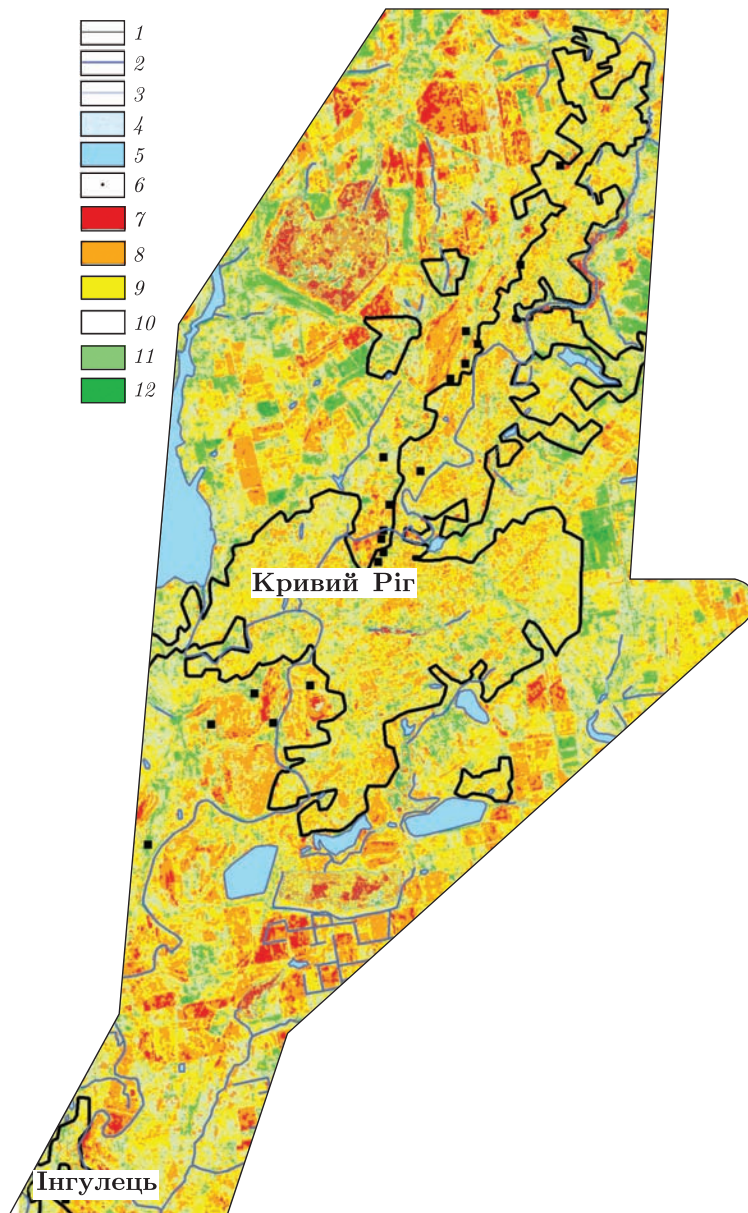


Рис. 4. Зміни геоєкологічного стану м. Кривий Ріг.

Умовні позначення. Топооснова: 1 — міста; 2 — водотоки основні; 3 — річки; 4 — водосховища; 5 — озера; 6 — шахти. Зміни геоєкологічного стану: 7 — сильна деградація; 8 — середня деградація; 9 — слабка деградація; 10 — слабке покращення; 11 — середнє покращення; 12 — значне покращення

гу “розколоті” на блоки менших розмірів від кількох кілометрів до десятків метрів. Саме на такому нестійкому та порушеному субстраті розміщені м. Кривий Ріг, місто-супутник Інгuleць тощо [2].

Крім того, на території Кривого Рогу ведеться видобуток залізної руди відкритим і шахтним способом (рис. 1, див. вклейку). Тут упродовж понад двох століть з надр було “вийнято” близько 3 млрд т багатой залізної руди та в десятки разів більше руди з невеликим вмістом заліза. Тільки за останні десятиліття підприємствами міста перероблено понад 480 млн т залізної руди. У місті налічується п’ять гірничо-збагачувальних комбінатів: Північний, Центральний, Південний, Новокриворізький, Інгuleцький та кілька потужних шахт, у тому числі такі, як “Тігант-Глибока”, ім. В.І. Леніна, “Твардійська” та ін., один з найбільших у Європі металургійний комбінат “Криворіжсталь”, цементно-гірничий комбінат, коксохімічний завод, потужні теплові електростанції, підприємства, що обслуговують гірничодобувну і металургійну галузі [3].

Таким чином, територія м. Кривий Ріг є потенційною зоною виникнення природних і техногенних надзвичайних ситуацій. В зв’язку з цим прийняття заходів, спрямованих на їх уникнення, повинно бути однією з першочергових завдань відповідних служб регіону. Першим кроком на шляху запобігання виникнення надзвичайних ситуацій є створення регіональної системи комплексного геоecологічного моніторингу, яка б включала геологічні, гідрогeологічні, макшейдерсько-геодезичні вимірювання і спостереження за динамікою природних, природно-техногенних, техногенних геоecологічних процесів та змінами в геологічному середовищі.

Створення системи комплексного моніторингу геоecологічного стану середовища потребує великих затрат коштів та часу. Досить ефективним методом оперативного оцінювання геоecологічного стану є дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). Сучасний рівень розвитку засобів аерокосмічного знімання дозволяє отримати дані про параметри земної поверхні з необхідною просторовою розрізненістю і періодичністю поновлення інформації. Використання аеро- й космічних знімків та сучасних геоінформаційних технологій дають змогу підвищити оперативність і знизити вартість оцінювання геоecологічного стану навколишнього середовища [4].

Геоecологічна інтерпретація матеріалів дистанційних зйомок дозволяє оцінювати стан і прогнозувати розвиток небезпечних геологічних процесів. Велике значення в геоecологічних дослідженнях належить виявленню геодинамічних зон, які ототожнюються з розривними формами прояву сучасного тектогенезу в осадовому чохлі. Крім того, дистанційні методи зондування земної поверхні дають змогу одночасно охоплювати великі за площею території, забезпечити оперативність і визначення великої кількості параметрів земної поверхні й рослинності, здійснювати моніторинг, значно зменшуючи при цьому кількість складних і трудомістких геохімічних аналізів, що істотно спрощує і знижує собівартість досліджень [5].

Сучасні оптичні та радіолокаційні системи ДЗЗ застосовують для визначення типів ґрунтів, аналізу стану рослинних покривів, ерозійних процесів, викиду забруднень. Широкого застосування набула техніка дистанційного зондування в тепловому інфрачервоному діапазоні для аналізу ландшафтних екологічних процесів — вимірювання теплового балансу теплових потоків та оцінки теплообміну. Радіолокаційна зйомка дає можливість отримати важливу додаткову інформацію щодо моніторингу довкілля, а саме, дані про рельєф місцевості, зволоженість ґрунтів, глибинні залягання ґрунтових вод, зони підтоплення, заболочування тощо.

У даному повідомленні пропонується підхід до оперативного оцінювання техногенного навантаження на ландшафти території м. Кривий Ріг за матеріалами ДЗЗ. Основними дистанційними індикаторами техногенного навантаження визначено рельєф місцевості та рослинний покрив. Для вивчення вертикальних і горизонтальних змін рельєфу використовувались радіолокаційні дані висот рельєфу SRTM та оптичні ASTER GDEM, які отримані відповідно в 1999 і 2011 р.

SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) — радарна топографічна зйомка, що проводилась за допомогою радіолокаційної апаратури SIR-C з борту космічного корабля багаторазового використання Space Shuttle. Дані було отримано організацією CGIAR-CSI з оригінальних висотних даних USGS/NASA шляхом обробки, яка забезпечила отримання виправлених топографічних поверхонь. Загальнодоступними є дані SRTM горизонтальної розрізненості 3×3 кут. с. (<http://dds.cr.usgs.gov/srtm/>).

ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model) — глобальна цифрова модель рельєфу, яку розроблено на основі супутникового стереоскопічного знімання оптикоелектронною апаратурою ASTER [6]. ASTER GDEM є безкоштовно доступною з web-сервера японського центру ERSDAC (<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>) та поширюється у форматі GeoTIFF з просторовою розрізненістю 1×1 кут. с.

Площа покриття досліджуваного району на територію, прилеглу до Кривого Рога, за даними SRTM і ASTER GDEM становить $744,15 \text{ км}^2$. Для порівняння різночасові дані рельєфу зведені до єдиного масштабу з піксельною точністю. Виявлені відмінності, що відбувалися в рельєфі з 1999 по 2011 рр., демонструє на рис. 1.

Карта рис. 2 (див. вклейку) відображає техногенно порушені ландшафти. До порушених (значно, середньо та незначно) відносяться $85,27\%$ території дослідження, з них на максимально порушені ділянки рельєфу Кривого Рога припадає $26,49\%$.

Дослідження змін рослинного покриву здійснювалися на підставі вивчення змін рослинного покриву за багатоспектральними супутниковими знімками Landsat-5/TM за 23.08.1995 р. та Landsat-8/OLI за 17.08.2013 р., отриманими з архіву геологічної служби США USGS Landsat Global Archive (<http://landsat.usgs.gov/>). Оцінку змін рослинності проведено за допомогою зіставлення проєктивного покриття, що оцінювалось через нормалізовані вегетаційні індекси (NDVI) відібраних знімків [7].

Дати космічних зйомок обиралися як оптимальні між осінньою надмірною хмарністю та незначним покриттям сільськогосподарськими культурами в серпні. Разом з тим у цей період ще зберігається листяний покрив дерев. Результати змін рослинного покриву за період 1995–2013 рр. ілюструє рис. 3 (див. вклейку).

Відзначимо, що на досліджуваній території було визначено таке: значне зменшення рослинного покриву на $5,57\%$, середнє — на $19,37\%$, а збільшення (середнє і значне разом) — лише на $10,35\%$.

Подальші дослідження були спрямовані на злиття наведених вище принципово різних індикаторів змін — рельєфу та рослинності — на території дослідження для покращення об'єктивності картування. Злиття окремих індикаторів до результуючої тематичної карти виконувалося на підставі байєсівського висновку [8]. Отримані результати (рис. 4, див. вклейку) умовно поділено на шість класів. Перші три класи (висока, середня та низька деградації) вказують на негативні тенденції зміни показників, що можна розглядати як погіршення стану земель з точки зору техногенного впливу на навколишнє середовище та підвищений ризик деградації земель. Останні три (слабке, середнє та значне покращення) представляють території, де спостерігаються позитивні зміни індикаторів на терито-

Таблиця 1. Площі класів геоecологічних змін території дослідження

Клас змін	Площа, км ²	Площа, %
Висока деградація	29,07	3,91
Середня деградація	155,26	20,86
Низька деградація	336,92	45,68
Слабке покращення	141,59	19,03
Середнє покращення	74,56	10,02
Значне покращення	3,75	0,50

рії дослідження. У табл. 1 наведено кількісні оцінки площ геоecологічних змін Кривого Рогу.

З таблиці видно, що негативним геоecологічним змінам піддано понад 70% території дослідження. Основні геоecологічні проблеми на території Кривого Рогу спостерігаються в північно-західній частині міста, де виявлені провали ґрунту до 80 м (шахта Дніпропетровсько-Комсомольська № 1 ім. Рози Люксембург та шахта ім. Орджонікідзе). Крім того, значне погіршення відзначається на території селищ Мар'янівна, Авангард, Горького, Веселий кут, Глеюватівка, що може бути пов'язано з близькістю до шламосховищ. Південніше Кривого Рогу треба звернути особливу увагу на територію селищ Новоселівка, Новолатівка, Красна балка та Миролубівка.

Причинами цього можуть бути порушення режиму підземних вод, підняття рівня води в річках Інгулець, Саксагань внаслідок створення низки водосховищ місцевого значення, спорудження хвостосховищ і ставків-накопичувачів шахтних і кар'єрних вод, порушення режиму розвантаження підземних вод через ліквідацію природних стоків, засипання ярів і балок, підняття рівня підземних вод у зв'язку із закриттям шахт на так звану мокру консервацію, неякісне функціонування водогонів і каналізаційних стоків тощо [9].

Одержана карта змін геоecологічного стану території Кривого Рогу (див. рис. 4) наглядно демонструє розвиток несприятливих процесів на досліджуваній території. Більшість площі території зазнає негативних змін (червоний, коричневий та жовтий кольори), що становить 70,45% загальної території. Ці дані наглядно показують вплив довготривалих змін рослинного покриву та кореляцію інтенсивного розвитку гірничо-видобувної промисловості з деградацією земель на території району досліджень. Покращення стану навколишнього середовища на території м. Кривий Ріг та прилеглих територіях становить лише 29,55%.

Подальші дослідження спрямовані на проведення цілої низки наземної завірки результатів картування. Отримані дані доцільно включити до єдиної інформаційної системи оперативного геоecологічного моніторингу території м. Кривий Ріг у рамках Концепції Державної програми дослідження стану Криворізького залізрудного басейну для запобігання виникненню на його території катастрофи техногенного та природного характеру на 2013–2016 рр., що затверджена распоряженням Кабінету Міністрів України від 06.03.2013 № 178-р.

1. Манаєнкова И. А. Типизация экологических рисков территории Криворожского природно-хозяйственного района // Географічні дослідження Кривбасу. Фізична географія, економічна і соціальна географія, геоecологія, історична географія, викладання географії: Матеріали кафедр. наук.-дослід. тем. – Вип. 2. – Кривий Ріг: Видав. дім, 2007. – С. 36–41.
2. Паранько І. С., Смирнова Г. Я., Іванова О. В. Кривий Ріг – потенційна зона виникнення техногенно-природних і техногенних надзвичайних ситуацій // Геол.-мінерал. вісн. – 2005. – № 1. – С. 5–11.
3. Інформація про підприємства, які є найбільшими забруднювачами у місті // Червон. гірник. – 2008. – № 106/107. – С. 4.

4. *Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування* / За ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. – Київ: Наук. думка, 2006. – 360 с.
5. *Пазинич Н. В.* Анализ рельефа как компонента природно-техногенной системы города (на примере г. Киев) // Проблемы та досвід інженерного захисту урбанізованих територій і збереження спадщини в умовах геоecологічного ризику / За ред. В. М. Шестопадова, М. Г. Демчишина, В. О. Кендзери, Ю. О. Маслова. – Київ: Фенікс, 2013. – С. 176–182.
6. *Tachikawa T., Hato M., Kaku M., Iwasaki A.* Characteristics of ASTER GDEM version 2 // Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2011). – Vancouver: IEEE International, 2011. – P. 3657–3660.
7. *Wittich K. P., Hansing O.* Area-averaged vegetative cover fraction estimated from satellite data // Int. J. Biometeorology. – 1995. – **38**, No 4. – P. 209–215.
8. *Станкевич С. А., Васько А. В.* Комплексна обробка багатоспектральних аерокосмічних зображень для виявлення сільськогосподарських угідь // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Вип. 2(22). – Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2011. – С. 171–175.
9. *Малахов І. М.* Техногенез у геологічному середовищі. – Кривий Ріг: Б. в., 2003. – С. 71–76.

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України”, Київ

Надійшло до редакції 12.03.2014

О. В. Титаренко

Оперативное оценивание геоэкологического состояния г. Кривой Рог по материалам дистанционного зондирования Земли

Предложен подход к оперативному оцениванию геоэкологического состояния г. Кривой Рог по материалам дистанционного зондирования Земли. Проведены исследования изменения рельефа и растительного покрова с применением дистанционных методов и геоинформационных технологий. Проанализированы независимые классификационные признаки состояния территории исследования с помощью геопространственного анализа разновременных многоспектральных спутниковых изображений и радиолокационных данных.

O. V. Titarenko

Operational assessment of the geoecological state of the Krivoy Rog area using remote sensing data

An approach to the operational assessment of the geoecological state of Krivoy Rog based on the remote sensing data is offered. Changes of terrain elevations and the vegetation cover using remote sensing methods and geoinformation technologies are studied. The independent classification features of the studied area using the geospatial analysis of time-different multispectral satellite imagery and radar data are analyzed.