

УДК 528.9:553.495

ДУДАР Т.В.¹, СТАНКЕВИЧ С.А.², ТИМОШЕНКО Я.О.¹, БУГЕРА М.А.³

¹Національний авіаційний університет, м Київ

²Державна установа «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України», м Київ

³Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», м Київ

ДИСТАНЦІЙНЕ КАРТУВАННЯ ЗМІН ЛАНДШАФТІВ ПІД ВПЛИВОМ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ В РАЙОНІ ВИДОБУВАННЯ УРАНУ

Розглянуто динаміку змінення ландшафтів в районі видобування урану підземним способом за період 1992-2010 роки. Побудовано карту деградації земель досліджуваної території Кіровоградського уранового району Кіровоградської області із використанням багатоспектральних супутникових знімків, а також цифрового рельєфу місцевості, характеристик ґрунтів та кліматичних параметрів.

Актуальність дослідження

Динаміка змінення ландшафтних комплексів внаслідок інтенсивної антропогенної діяльності є питанням складним, актуальним та потребує спеціального вивчення. За допомогою даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) можна дослідити динаміку змін, що відбулися з різними типами ландшафтів протягом тривалого часу. За останні роки інтерес до цієї проблеми виріс через інтенсивний розвиток нових технологій обробки геопросторової інформації. Ці технології допомагають вирішити низку практичних питань, що до цього часу було неможливо через високу собівартість, довготривалість збирання даних, великий обсяг інформації та недостатній рівень розвитку засобів її обробки. У 1972 році за американською програмою *Landsat* було запущено перший супутник ДЗЗ середньої просторової розрізненості. Ця подія мала революційний позитивний вплив на розвиток дистанційних досліджень, оскільки багатоспектральні зображення, що надають супутники системи *Landsat*, дуже інформативні. Зараз архівні дані *Landsat* до того ж безкоштовними. Останнє значно полегшує отримання необхідної інформації, адже більшість існуючих супутникових продуктів середньої та високої розрізненості комерційні. Сучасні супутникові знімки, як правило, отримуються в декількох різних спектральних діапазонах, що дає можливість виявляти характерні особливості земної поверхні. Ці знімки широко використовуються в дослідженні динаміки змінення ландшафтів, вивченні їхньої структури та фізико-географічному районуванні [1]

Сучасні геоінформаційні технології дозволяють ефективно вилучати, агрегувати, обробляти, візуалізувати та розповсюджувати геопросторову інформацію, моделювати і картувати складні геодинамічні явища [2]. Одним з основних джерел даних при цьому виступають засоби ДЗЗ, в тому числі багатоспектральні супутникові знімальні системи. Також обов'язково залучаються інші види інформації – наземна завіркова, картографічна, кліматична тощо. Поєднання шарів різноманітних геоданих спроможне надавати принципово нові знання про рослинний і ґрунтовий покрив досліджуваної території, її екологічний стан та багато інших [3]. Обробка часових серій геоінформаційних продуктів дозволяє об'єктивно та достовірно виявляти, аналізувати і картувати динаміку змін ландшафтів в локальному, регіональному та навіть глобальному масштабах. Великою перевагою геоінформаційних технологій, що базуються на даних ДЗЗ, є отримання інформації без втручання в об'єкт дослідження.

Геоінформаційні технології використовуються для вирішення великої кількості екологічних проблем, зокрема, дослідження забруднення компонентів ландшафтів, що просторово і якісно формують земну поверхню, та динаміки їхнього змінення в районах інтенсивного антропогенного навантаження. Ці технології призначені для збору, зберігання, перетворення і подання інформації про стан та динаміку компонентів навколишнього середовища [4]. Дистанційні методи дослідження, включаючи ті, що використані в даній роботі, дозволяють виявляти та картувати зміни навколишнього природного середовища під впливом антропогенної діяльності.

Огляд проблеми, аналіз попередніх публікацій та досліджень

Видобуток корисних копалин є одним із видів антропогенної діяльності, в районах розвитку якої ландшафти зазнають значних впливів, а іноді – докорінних змін. Уранові родовища в Україні традиційно розробляються підземним способом у значних обсягах і тому справедливо вважаються об'єктами екологічної та радіаційної небезпеки для довкілля та здоров'я населення. Подальший розвиток уранового виробництва в нашій країні відбуватиметься шляхом продовження експлуатації діючих і освоєння нових уранових родовищ, застосування кучного та блокового вилюговування для переробки бідних і забалансових руд, підземного вилюговування для освоєння пісковикових родовищ тощо [5].

Сучасний рівень розвитку гірничодобувних технологій дозволяє рентабельний та обґрунтований з точки зору екологічної безпеки видобуток уранових руд на трьох шахтах, розташованих у Кіровоградській області – Інгульській, Смолінській та Новокостянтинівській. Всі вказані шахти ведуть та найближчим часом будуть вести видобуток урану підземним способом у масивах кристалічних порід Інгульського мегаблоку Українського щита. Прогнозні ресурси Кіровоградського уранового району оцінюються біля 200 тис. т урану [6,7]. Діяльність шахт прямо і опосередковано чинитиме вплив на місцеві ландшафти. В табл. 1 представлено сфери можливого впливу при розробці родовищ підземним способом [8].

Зміна *інженерно-геологічних* умов територій, що входять у зону техногенного впливу гірничих виробок, пов'язана з порушенням земної поверхні як основи для інженерних споруд і комунікацій внаслідок деформацій на ділянках інтенсивного просідання земної поверхні, втрати сільськогосподарських площ завдяки вийманню гірської маси з шахт та переміщення її на нові місця.

Водопритоки сприяють розвитку й активізації процесів *просідання земної поверхні*, нехарактерних для природно-історичних умов уранових покладів, затопленню шахт, утворенню понижень і провалів, викликають *процеси підтоплення і затоплення* [9].

Такий вид антропогенного навантаження на навколишнє середовище вимагає постійного моніторингу та отримання оперативної інформації про територію, де розміщений гірничо-видобувний комплекс. На сучасному етапі розвитку технологій таку інформацію можуть надавати геоінформаційні технології з використання даних ДЗЗ.

Аналіз впливу на навколишнє середовище територій, де проходить розробка уранових родовищ за допомогою геопросторового моделювання і оцінювання, є відносно новим та актуальним напрямком дослідження, оскільки це дозволяє отримувати інформацію без необхідності широкомасштабних спостережень *insitu*.

Методи дослідження

В основу вивчення змінення ландшафтів досліджуваного району покладено дворівневу модель обробки багатоспектральних супутникових знімків [10]. Для визначення зміни рослинного покриву та динаміки ґрунтово-ерозійних процесів як двох основних індикаторів, що характеризують чинники деградації земель, було використано багатоспектральні зображення супутника Landsat-5/TM (<http://landsatlook.usgs.gov/>) за період з 1992 по 2010

роки. Як допоміжні, також залучалися такі геопросторові дані: цифровий рельєф місцевості SRTM (<http://srtm.csi.cgiar.org/>) 1991 року та ASTER GDEM (<http://gdem.ersdac.ispacesystems.or.jp/>) 2010 року, карта ґрунтів та усереднені кліматичні характеристики досліджуваної території (<http://www.climate-charts.com/Countries/Ukraine.html>).

Таблиця 1. Сфери можливого впливу при розробці родовищ підземним способом

Вид впливу на геологічне середовище	Результати впливу				
	Інженерно-геологічні	Гідрогеоло-гічні	Динамічні та геоморфологічні	Геохімічні	Геофізичні
Ущільнення або розущільнення порід	Зміна стійкості і проникності ґрунтів, активності інженерно-геологічних процесів	Зміна динаміки ґрунтових вод і умов живлення	Зміна активності процесів рельєфоутворення, формування антропогенного рельєфу	Зміна умов міграції елементів в літосфері	Зміна фізичних полів і швидкості пружних коливань
Переміщення порід	Утворення штучного рельєфу	Зміна умов фільтрації, заболочування і підтоплення	Формування антропогенного рельєфу	Зміна умов міграції елементів	Зміна фізичних полів і швидкості пружних коливань
Закачування або відкачування води	Зміна фізико-механічних властивостей порід	Порушення гідрологічного режиму	Зміна активності процесів рельєфоутворення	Зміна хімічного складу порід і підземних вод	Зміна фізичних полів і швидкості пружних коливань
Механічне, хімічне та радіоактивне забруднення	Зміна корозійних властивостей ґрунтів	Зміна хімічного складу підземних вод	—	Зміна фізичних полів і швидкості пружних коливань	—

Безпосередньо за багатоспектральними супутниковими знімками Landsat-5/TM розраховувалися необхідні тематичні карти території дослідження – нормалізований різницевий вегетаційний індекс $NDVI$, модифікований ґрунто-скорегований вегетаційний індекс $MSAVI$, відсоток покриття території рослинністю VC [11]. Цифровий рельєф території перераховувався на просторовий розподіл нахилу місцевості $\tan \alpha$, який є важливим чинником ґрунтової ерозії. З врахуванням довідкових даних про гранулометричний склад d_s та гідрологічні показники C_s і R_s ґрунтів чорноземів, що переважають у районі, та кліматичних параметрів – середньомісячної інтенсивності опадів P та середньої швидкості вітрів w – одержано часові ряди тематичних карт водної, вітрової та сумарної ерозії території дослідження [12].

Закартовані за значеннями $MSAVI$ зміни рослинного покриву аналізувалися окремо для кожної шахти.

Згідно обраної моделі, обробка приведених до єдиного масштабу, трансформованих і накладених багатоспектральних супутникових зображень та допоміжних геопросторових даних здійснюється в два етапи. На першому етапі обробки будуються серії тематичних просторових класифікацій принципово різних індикаторів зміни ландшафтів – змін рослинного покриву і змін ерозії ґрунтів. На другому етапі часткові класифікації першого рівня інтегруються до результуючої тематичної карти одним з методів злиття даних. У цьому дослідженні для злиття було застосовано байесовський статистичний висновок [13]. Вхідні супутникові зображення, що застосовувалися для подальшої обробки показані на рис.1.

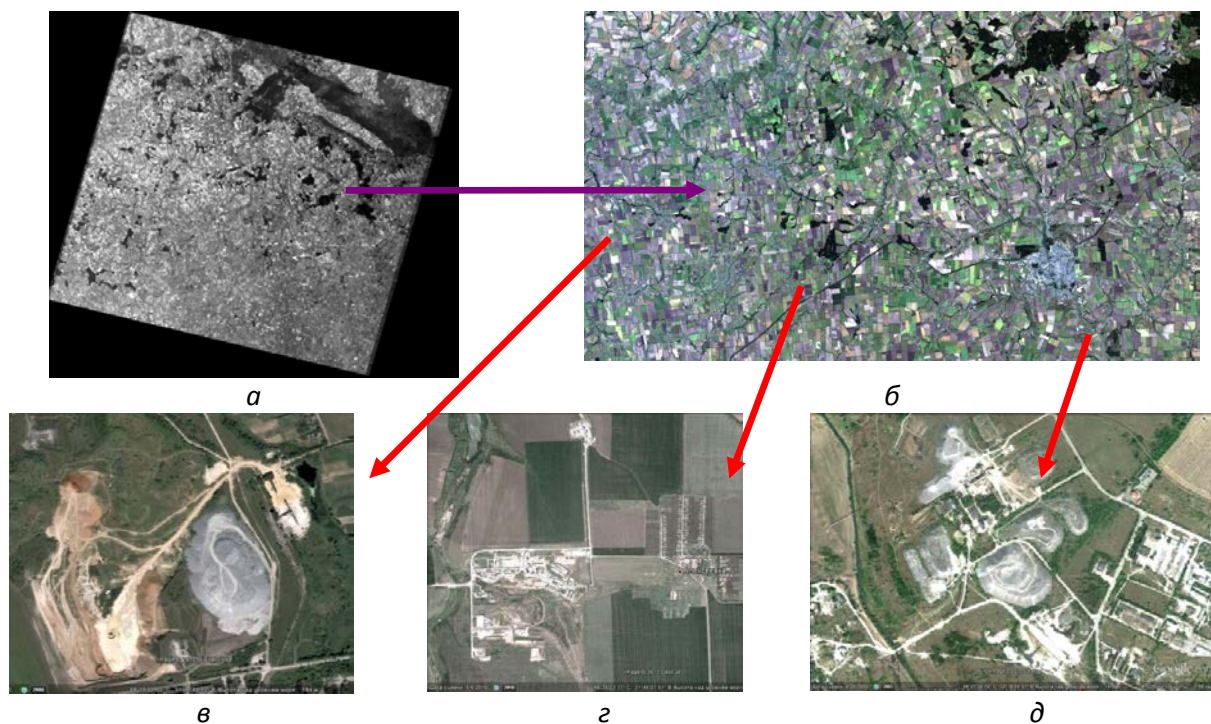


Рис.1. Супутникові зображення підготовчого етапу роботи: *а* – вхідний багатоспектральний знімок Landsat-5/TM від 23.08.2010; *б* – кольоровосинтезоване зображення *а* території дослідження (Кіровоградська область); Супутникові зображення високої розрізненості уранодобувних шахт території дослідження: *в* – Смолінська шахта; *г* – Новокосянтинівська шахта; *д* – Інгільська шахта

Станом на 2011 рік обсяг накопичених твердих відходів гірського виробництва Смолінської шахти становив 1,4 млн тонн, а Інгільської – 7,6 млн тонн. Графіки динаміки змін площі відвалів цих двох діючих уранових шахт, розраховані за космічними знімками різних років, показані на рис.2, демонструють збільшення площі відвалів з кожним роком.

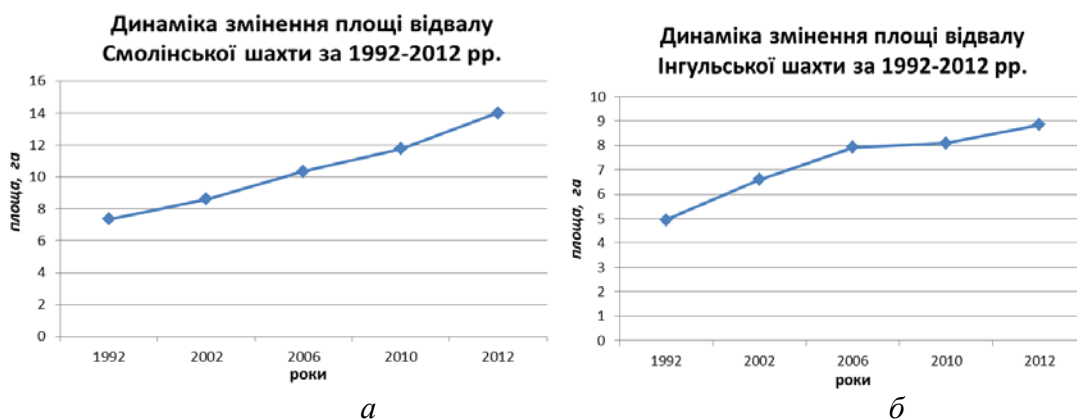


Рис.2. Динаміка змін площі відвалів уранових шахт території дослідження: *а* – Смолінської, *б* – Інгільської

Результати досліджень

За результатами обробки багатоспектральних космічних зображень одержано тематичну карту зміни ризику деградації земель досліджуваних територій, яка представлена на рис.3а. Ця тематична карта була отримана шляхом злиття даних проміжних часткових карт змін інтенсивності розвитку ґрунтової ерозії та змін рослинного покриву. Кількісні значення часткових показників деградації були поділені на сім класів змін та позначені умовними кольорами, як показано в легенді рис.3.

Виконано порівняльний аналіз різночасових багатоспектральних супутникових знімків з інтервалом у 18 років та зафіксовано ландшафтні зміни, що відбулися. На результуючій карті чітко фіксуються перетворені ділянки. Карта відображає техногенно порушені ландшафтні комплекси, тобто ті ландшафти, які зазнали значних змін від антропогенного впливу. В ході проведення дослідження основна увага приділялася території уранових шахт. Шахти розробляються підземним способом, тому до змін ландшафту призводять наземні роботи, включаючи вплив транспортних засобів, що забезпечують транспортування порід, розміщення відвалів, побудова промислового майданчика шахти. На результуючій карті можна бачити також райони сільськогосподарських ландшафтів, які утворилися як результат нераціонального використання родючих чорноземів Кіровоградської області. Площі, які на карті позначені світло жовтим, помаранчевим та червоним кольорами, зайняті територіями, де в результаті антропогенного навантаження утворилися промисловий, лінійно-дорожній та сільськогосподарський типи антропогенного ландшафту.

Одержана карта є результатом комплексного врахування основних просторово розподілених чинників деградації земель за допомогою сучасних геоінформаційних технологій і, на наш погляд, коректно узгоджується із загальним екологічним уявленням про динаміку змінення ландшафтів досліджуваного району.

Висновки

Розробка уранових родовищ створює велике антропогенне навантаження і докорінно змінює ландшафти. Загальна площа, зайнята розробками та відвалами у місцях видобування урану в Україні, в 1992-2010 роках майже не змінилась, але просторове розташування териконів та стан ландшафтів зазнали суттєвих змін.

За результатами геоінформаційного аналізу багатоспектральних супутникових зображень та допоміжних геоданих одержано тематичну карту деградації земель в межах урановидобувної площі в Кіровоградській області. Аналіз цієї карти показує, що ризик деградації земель у зонах розробки уранових родовищ існує, також очевидний ризик деградації сільськогосподарських угідь.

Дослідження підтвердили той факт, що ландшафт піддається істотним змінам внаслідок видобування корисної копалини підземним способом та сільськогосподарської діяльності. Територія піддається процесам ерозії, зменшується рослинний покрив, ґрунти втрачають свою родючість. Дистанційне виявлення зазначених процесів на ранньому етапі дасть змогу говорити про часткове або навіть повне покращення ситуації, але тільки за умови вдосконалення в екологічному плані технологій видобутку урану, інших корисних копалин та екологічно спрямованої організації промисловості, сільського господарства та землекористування в цілому.

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В.І. Лялько та М.О. Попова. – К.: Наук. думка, 2006. – 360 с.
2. Popov M.A., Stankevich S.A., Kozlova A.A., Luk'yanchuk I., Mezzane D., ElBah M.O. Satellitemonitoringfordesertificationforecastingandprevention // StimulusforHumanandSocietalDynamicsinthePreventionofCatastrophes / Ed. by A. Avagyan, D.L.
3. Barry, W.G. Coldewey, D.W.G. Reimer. – Amsterdam: IOS Press, 2011. – P.219-223.
4. Попов М.А., Станкевич С.А., Марков С.Ю., Зайцев А.В., Топольницький М.В., Титаренко О.В. Принципы геоинформационного обеспечения задач дистанционного поиска полезных ископаемых // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, 2012. – Т.25(64). – № 1. – С.177–190.



а



б



в



г

Рис.3. Деградація земель досліджуваних територій за період 1992 – 2010 рр:

а – загальна тематична карта території дослідження, б – карта деградації земель біля Смолинської шахти з топоосновою, в – карта деградації земель біля Інгільської шахти з топоосновою, г – карта деградації земель біля Новокосянтинівської шахти з топоосновою. Позначення класів динаміки деградаційних процесів ландшафту:

Колір	Клас змін
	Значне покращення
	Середнє покращення
	Слабке покращення
	Без змін
	Низька деградація
	Середня деградація
	Сильна деградація

5. Щукін Г.Г., Некос В.Ю. Дистанційні методи дослідження в екології: Навчальний посібник. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2007. – 372 с.
6. Шевченко Я.О., Білявський С.Г. Біологія та екологія. Сучасний стан і перспективи використання ГІС-технологій в агросфері // Наук. записки НаУКМА, 2001.– Т.19.– С.93–97.
7. Дудар Т.В., Тимошенко Я.О., Савицька М.А. Аналіз розвитку уранодобувної галузі та пов'язаних з нею проблем екологічної безпеки // Мат. 2-го Міжнародного конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування». Львів, 19-22 вересня, 2012. – С.25.
8. Уранові руди України. Геологія, використання, поводження з відходами виробництва / Г. В. Лисиченко [та ін.] ; за ред. чл.-кор. НАН України Г. В. Лисиченка ; НАН України, Ін-т геохімії навколиш. середовища. – К. : Наук. думка, 2010. – 221 с.
9. Дудар Т.В., Маслова Ю.В., Савицька М.А., Бугера С.П. Аналіз розвитку уранодобувної галузі та пов'язаних з нею проблем екологічної безпеки // Наукоємні технології. – К.: НАУ, 2011. –С. 87–92.
10. Stankevich S.A., Vasko A.V., Gubkina V.V. Two-level model for land degradation mapping on multispectral satellite imagery // Proceeding of the Eighth International Conference on Digital Technologies (DT'2011). – Žilina: University of Žilina, 2011. – P.289–293.
11. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
12. Попов М.А., Станкевич С.А., Козлова А.А. Дистанционная оценка риска деградации земель с использованием космических снимков и геопространственного моделирования // Доповіді НАН України, 2012.– № 6.–С.100–104.
13. Stankevich S.A., Kozlova A.K., Vasko A.V., Gerda M.I. Hybrid model for data fusion in remote sensing research of the Earth // Abstracts of 11th Ukrainian Conference on Space Research. – Yevpatoria: Space Research Institute, 2011. – P.74.
14. Изменения земных систем в Восточной Европе / Отв. ред. В. И. Лялько. – К.: Наук. думка, 2010. – 582 с.

Дудар Т.В., Станкевич С.А., Тимошенко Я.О., Бугера М.А.

ДИСТАНЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЛАНДШАФТОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ В РАЙОНЕ ДОБЫЧИ УРАНА

Рассмотрена динамика изменения ландшафтов в районе добычи урана подземным способом за период 1992-2010 гг. Построена карта деградации земель исследуемой территории Кировоградского уранового района Кировоградской области с использованием многоспектральных спутниковых снимков, а также цифрового рельефа местности, характеристик почв и климатических параметров.

Dudar T.V., Stankevych S.A., Tymoshenko Ya.O., Buhera M.A.

REMOTE MAPPING OF LANDSCAPE CHANGES UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT IN THE URANIUM MINING REGION

The dynamics of landscape changes in the uranium mining region for the period from 1992 to 2010 is considered. Land degradation map of investigated area of Kirovograd uranium region in Kirovograd oblast has been built using multispectral satellite images, digital terrain relief, soil characteristics and climatic parameters.