

В.В. Омельчук, к.т.н., доц.
П.М. Піонтківський, к.т.н.
В.І. Снєсар, заст. нач.

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова

ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ З КОСМОСУ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Проведено аналіз можливостей моніторингу екологічної обстановки за інформацією засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу. Визначено роль і місце космічних методів ДЗЗ щодо контролю екологічної обстановки, попередження та прогнозування наслідків екологічних катастроф.

Актуальність проблеми дослідження. Суттєве погіршення екологічної обстановки на Україні та у світі, підвищення ризику екологічних катастроф (ЕК) природного та антропогенного походження потребує розробки й застосування нових методів контролю та прогнозування розвитку екологічного стану й оцінки рівня ризику виникнення кризових екологічних ситуацій.

Причиною виникнення екологічних проблем є як природні (повені, землетруси, урагани, пожежі тощо), так і антропогенні фактори (аварії, катастрофи та навмисне руйнування в бойових діях і терористичних актах екологічно небезпечних підприємств, наприклад, атомних електростанцій, хімічних підприємств, гідроплотин та ін.). Причому джерела екологічних проблем можуть знаходитись як в межах національної території, так і на територіях суміжних держав. На даний час в Україні й сусідніх пострадянських державах гостро стоїть проблема модернізації застарілих технологій та засобів виробництва, що призводить до зростання ймовірності виникнення надзвичайних екологічних ситуацій (НЕС) на потенційно небезпечних об'єктах (ПНО) народногосподарського призначення.

Все це говорить про необхідність постійного контролю за екологічною обстановкою з боку держави, прогнозування наслідків НЕС та ЕК і вибору адекватних заходів щодо їх ліквідації. Досвід Чорнобильської трагедії, періодичні стихійні лиха, наявність великої кількості ПНО доводять, що для нашої держави моніторинг екологічної обстановки є досить актуальним питанням, а отже актуальним є питання вдосконалення методів контролю та аналізу екологічної обстановки в Україні та за її межами. У цьому напрямку перспективним є використання матеріалів космічної зйомки (МКЗ) [4], [10], якість яких останнім часом значно виросла, а такі переваги, як глобальність, екстериторіальність, безперервність, оперативність (на відміну від традиційних методів контролю) дозволяють говорити про їх пріоритетність при вирішенні завдань екологічного моніторингу.

Аналіз останніх досліджень. В останні роки прогрес в області розвитку апаратури дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу [4], [9], способів і засобів передачі космічної інформації користувачам технічного, програмного і методичного забезпечення тематичної інтерпретації МКЗ дозволив значно розширити можливості їх використання, у тому числі й в області екологічного моніторингу [7], [11]. Накопичений досвід використання МКЗ для вирішення різних природоохоронних задач [6] і досвід практичного застосування технологій геоінформаційних систем (ГІС) при створенні тематичних електронних карт для прийняття рішень в умовах кризових і надзвичайних екологічних ситуацій [2], [7] дозволяє сформулювати відносно широкий перелік задач, пов'язаних з екологічним моніторингом, при вирішенні яких доцільним є використання МКЗ. При розв'язанні даних задач МКЗ можуть застосовуватися не тільки з метою моніторингу, але також для прогнозу виникнення ЕК, з метою розробки заходів щодо їх запобігання або ослаблення негативних наслідків від їхнього розвитку, для виявлення причин виникнення й оцінок обумовленого ними збитку.

Актуальною є також задача комплексного застосування ГІС-технологій і космічних знімків [2]. Вона полягає у виявленні і відображенні в картографічній формі змін природних і техногенних факторів навколо ПНО. Довгострокові прогнози спрямовані на вивчення і визначення сейсмічних районів (сейсмічне районування територій проводиться за очікуваною інтенсивністю і повторюваністю землетрусів (раз у рік, 100, 1000 і 10000 років)), територій, на яких можливі селеві потоки або зсуви, границь зон імовірного затоплення при аваріях спеціальних споруд або природних повеней, а також границь осередків ураження при техногенних аваріях.

Метою статті є розробка методики використання МКЗ для спостереження, аналізу і прогнозування змін екологічної обстановки та оцінка можливостей застосування систем ДЗЗ із космосу в інформаційному забезпеченні екологічного моніторингу.

Об'єкти та методика досліджень. Об'єктом дослідження даної роботи є процес моніторингу екологічної обстановки за МКЗ Землі. Дослідження здійснювались на основі застосування методів системного аналізу та методу орієнтованого виявлення й оцінки екологічної обстановки. В роботі

виділені основні задачі екологічного моніторингу, що можуть бути вирішені з використанням МКЗ, та характеристики систем ДЗЗ, що дозволяють їх вирішувати.

Результати досліджень. Стихійні лиха не дотримуються державних кордонів і нерідко поширюються на декілька країн. Для аналізу таких масштабних явищ необхідні системи, що дозволяють представити чітку картину того, що відбувається, з тим, щоб запобігти, якщо це можливо, або найбільш ефективно пом'якшити наслідки лих і катастроф для екології та населення.

Концепція аналізу і керування ризиками передбачає одержання та обробку великої кількості просторової інформації й відображення на картах територій зон різного (у першу чергу, підвищеного) ризику. При цьому важливо виявити комплекс найбільш суттєвих задач, вирішення яких дозволить практично підійти до оцінки ризиків та їх планомірного зниження.

Перелік задач, що розв'язуються за допомогою МКЗ, може виглядати так [6]:

- визначення місця розташування і характеристик потенційних небезпек;
- оперативний пошук і видача докладної інформації про ПНО;
- оцінка можливих сценаріїв розвитку НЕС чи ЕК за кожним ПНО;
- відстеження динаміки розвитку НЕС та ЕК і прогнозування подальшого розвитку подій (розливу хімічних речовин, вибухів, пожеж, повеней та паводків, розливів нафти і нафтопродуктів);
- оперативний пошук і видача інформації про об'єкти народногосподарського значення, що потрапляють в небезпечні зони;
- оперативний пошук і видача докладної різноаспектної інформації про захисні спорудження;
- космічний моніторинг стану екологічної обстановки;
- оцінка можливих наслідків при будівництві великих гідротехнічних споруджень;
- створення і використання територіального фонду документації;
- формування і видання доповідей про захист населення та території від НЕС та ЕК природного і техногенного характерів;
- розробка типових робочих карт обстановки.

Одним із засобів одержання оперативної інформації про території можна вважати знімки з космосу, отримані з космічних апаратів (КА) "Ресурс", "NOAA", "EOS", "SPOT", "LANDSAT" та ін. Інформація різного просторового розрізнення і спектральних діапазонів може використовуватися як для уточнення місця розташування природних і техногенних об'єктів, фіксації фактів виникнення НЕС та ЕК, так і для відстеження природних процесів. Досить високу ефективність дало використання космічних знімків для контролю і прогнозування затоплюваності територій в процесі паводків (як правило, весняних).

На сучасному етапі вирішення проблеми запобігання ЕК вченими України розроблена методологія й технологія побудови систем швидкого (упереджувального) прогнозування динаміки розповсюдження наслідків великих аварій на підприємствах України, що призводять до екологічних катастроф. Характерною особливістю запропонованих систем є необхідність використання наземних стаціонарних датчиків (твердотільних сенсорних пристроїв), обладнаних кабельною мережею.

Отримання інформації про виникнення початкової небажаної ситуації на ПНО наземними засобами можливе, але має певні обмеження:

- контур підсистем-датчиків може бути зруйнований в разі виникнення великої аварії, що не дозволить проводити поточну оцінку розвитку динаміки подій;
- не на всіх типах ПНО може бути організований контроль із застосуванням таких датчиків: залізничні вузли, порти, великі авіабази;
- підсистема сенсорних датчиків може бути виведена з ладу, що не дозволить своєчасно включити в дію систему в цілому;
- відсутність можливості контролю закордонних об'єктів й територій, на яких можуть бути джерела екологічних небезпек для України.

Це говорить про актуальність використання засобів спостереження на базі КА ДЗЗ при вирішенні задач контролю НЕС, охорони природи, оцінці екологічної обстановки, глобальних змін та еволюції клімату.

Розвиток космічної техніки та інформаційних технологій створюють науково-технічну можливість видового космічного зондування Землі з високою просторовою, радіометричною та спектральною роздільною здатністю [6]. Сучасні технології досягли досить високих можливостей, наприклад, пакет з обробки знімків ДЗЗ ENVI компанії RSİ вже використовується для визначення матеріалу підстильної поверхні у межах одного пікселя спектрального знімка, використовуючи декілька характеристичних кривих поглинання (Spectral Feature Fitting) [12].

На основі існуючого досвіду застосування систем ДЗЗ та ведення екологічного моніторингу розроблена методика використання МКЗ для спостереження, аналізу і прогнозування змін екологічної обстановки. Вона передбачає:

- моніторинг з комплексним використанням даних космічних засобів та даних наземних засобів;
- наявність та постійне оновлення і поповнення бази даних, яка включала б інформацію про ПНО,

особливості клімату регіону, допустимі концентрації забруднюючих речовин тощо;

– проведення упереджувального прогнозування розвитку екологічної обстановки за результатами моніторингу;

– аналіз можливих загроз та прийняття рішення про способи та засоби реагування на ситуацію, що склалася чи можлива у перспективі;

– продовження або уточнення моніторингу з використанням даних космічних чи наземних засобів, або застосування впливу і початок нового циклу моніторингу екологічної обстановки.

Інформаційний взаємозв'язок елементів запропонованої методики використання МКЗ для спостереження, аналізу і прогнозування змін екологічної обстановки представлений на рис. 1.

За допомогою даних КА ДЗЗ проводиться збір, аналіз інформації про ПНО (райони), створюються бази даних. При зміні стану ПНО, його стан порівнюється з базою даних і при необхідності проводиться упереджувальне прогнозування і відповідно вплив (реакція) на стан екологічної обстановки [5].

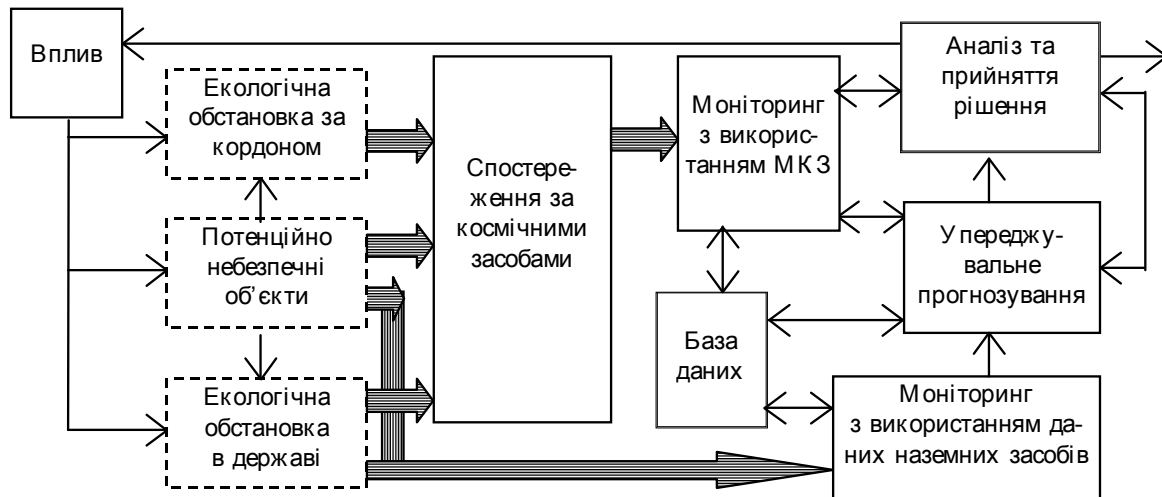


Рис. 1. Взаємозв'язок елементів методики використання МКЗ для спостереження, аналізу і прогнозування змін екологічної обстановки

Основні напрями використання МКЗ для вирішення задач екологічного моніторингу та характеристики апаратури КА ДЗЗ, необхідної для вирішення даних завдань, наведені в табл. 1 [1], [3], [8].

Таблиця 1

Можливості ведення екологічного моніторингу космічними засобами ДЗЗ

№ з/п	Завдання екологічного моніторингу	Необхідні умови ведення спостереження та характеристики апаратури для вирішення завдання		
		Особливості, спектральний діапазон	Необхідне просторове розрізнення, м	Періодичність оновлення даних, діб
1	2	3	4	5
1	Контроль змін рівня водоймищ і площі акваторій			
	В цілому	Ближній ІЧ, видимий в спектральній області 600...700 нм	40–250	1–4
	Ідентифікація відкритої поверхні водойм	Використання структурних ознак		
2	Ідентифікація дифузійних джерел забруднення водних об'єктів			
	Картографування просторового розподілу за акваторією зважених і забруднюючих речовин	Ефективне використання сканера МСУ-СК та МСУ-ЭУ (режим похилого візування передбачений на сканері високого розрізнення)	40–250	1–4
	Відокремлення поверхні акваторії від суші	Знімки в ближньому ІЧ-діапазоні		30
	Виявлення зважених речовин	Червона область видимого діапазону 600...700 нм		1–4
	Виявлення зважених речовин низьких концентрацій	Зелена область видимого діапазону 500...600 нм		1–4
	Картографування точкових джерел забруднення	Матеріали картографічних зйомок або сканерні зображення, отримані при панхроматичній зйомці	2–25	1
	Виявлення стічних або річкових вод з високими концентраціями зважених речовин	Видимий і ближній ІЧ-діапазони	10–50	1
	Моніторинг викидів промислових стічних вод з високим ступенем мінералізації	Матеріали радіолокаційних космічних зйомок	2–25	1
3	Еколого-санітарна класифікація водойм і ділянок акваторій			
	В цілому	Спільне використання знімків у різних каналах видимого й ближнього ІЧ-діапазонів	40–250	10–30
	Виявлення ділянок "цвітіння" вод	Червона область спектра видимого діапазону 600...700 нм	40–250	сезонно, 1–4
	Виявлення ділянок інтенсивного "цвітіння"	Ближній ІЧ-діапазон, характерним для "цвітіння" є специфічна нитковидна текстура зображення	40–250	сезонно, 1–4
4	Контроль за динамікою мінералізації морських і озерних вод			
	В цілому	Можливий тільки на основі непрямих дешифрувальних ознак	10–50	30
	Картографування мінералізації вод	Використання МКЗ надвисоко-частотного (НВЧ) діапазону	40–250	30
5	Виявлення й картографування зон термального забруднення водойм			
	В цілому	Видимий, ІЧ і НВЧ-діапазони	40–250	10–30
	Великі джерела термального забруднення вод (такі, як АЕС)	ІЧ-діапазон	250–1000	10–30

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
6	Виявлення ділянок забруднених продуктами хімічної та нафтогазової промисловості чи руйнування об'єктів для зберігання і транспортування таких речовин			
	В цілому для аналізу структурних змін	НВЧ-діапазон з високим просто-ровим розрізненням, багато- і гіперспектральна зйомка	2–250	0,5–1
	Виявлення об'єктів і ділянок комунікацій, де відбуваються витoki (нафта, газ, аміак, хлор)	ГЧ-діапазон з високим просторовим розрізненням, багатоспектральні і гіперспектральні зображення, середній ГЧ-діапазон (апаратура LISS-III, MCSU-B, HRVIR і SWIR)	2–10	0,5–1
7	Моніторинг процесів на сільгоспугіддях, у лісових і болотних масивах і на околицях урбанізованих територій виявлення лісових і болотних пожеж			
	В цілому	За структурними дешифру-вальними ознаками на зображеннях високого просторового розрізнення (як правило, чорно-білих)	10–50	1–4
8	Моніторинг забруднення приземного шару атмосфери			
	В цілому	Видимий, ближній, середній і далекий ГЧ-діапазони	250–1000	1–3
9	Оцінка термального забруднення атмосфери			
	В цілому	Тематичний аналіз знімків ГЧ-діапазону, МКЗ у далекому ГЧ-діапазоні (система LISS-III (4-й канал)), середній ГЧ-діапазон (MCSU-B, HRVIR і SWIR)	250–1000	4–10
10	Забруднення приземного шару техногенним, вулканічним пилом та пилом пустель			
	В цілому	- індикація забруднення атмосфери можлива шляхом ідентифікації димових шлейфів різних джерел; - непряма індикація забруднення шляхом ідентифікації на космічних знімках зон забруднення підстиль-ної поверхні техногенним пилом, що осідає з атмосферних викидів	10–50 50–250	1–4 4–10
	Моніторинг газових викидів	Теплові ГЧ-зображення, найбільш яскраво димові шлейфи виглядають на знімках у короткохвильовій частині видимого діапазону, а найбільш контрастно – у червоній спектральній області	50–250	1–4
11	Виявлення й картографування зон інтенсивного сніготанення, виявлення зон підтоплення			
	В цілому	НВЧ зондування і тепла зйомка в ГЧ-діапазон	100–500	Сезонно, 1–4
	Виявлення й картографування зон інтенсивного сніготанення	Використання залежності ефективної площі розсіювання при НВЧ-зондуванні від висоти сніжного покриву у випадку сухого снігу	50–250	Сезонно, 0,5–1
	Картографування зон затоплення при розливах річок	Ближній ГЧ-діапазон	10–50	Сезонно, 0,5–1
12	Виявлення зон засоленості ґрунтів			
	В цілому	НВЧ-зондування, ГЧ-діапазон	50–250	30
13	Контроль забруднень навколишніх територій доріг, трубопроводів			
	В цілому	Видимий, гіперспектральна зйомка	2–50	30
14	Контроль стану лісів як екологічного джерела відновлення вуглецевого балансу			
	В цілому	Видимий, багатоспектральна зйомка	10–250	4–10

Розглядаючи цю проблему, необхідно відмітити, що на державному рівні розроблена низка нормативно-правових актів, які наголошують на необхідності та першочерговості запобігання НЕС як природного, так і техногенного характерів, які можуть бути викликані як результатами невмілих дій людини, так і проведенням цілеспрямованих терористичних дій, оперативного реагування на них [5]. Аналіз цих документів дозволяє стверджувати, що проблема запобігання ЕК стає одним з пріоритетних

напрямків діяльності органів державної влади. Для досягнення раціональної організації обробки і використання інформації, перш за все, необхідно забезпечити оперативність її отримання. Оперативність, що дозволить запобігати зазначеним проблемам моніторингу навколишнього середовища, можна досягти лише за умов використання космічних засобів та новітніх технологій [9].

Сьогодні на навколосезонних орбітах знаходяться декілька десятків КА ДЗЗ з різними характеристиками бортової апаратури (роздільна здатність на місцевості до 0,2 м). До космічних апаратів, що також можуть використовуватися для вирішення завдань ДЗЗ, можна віднести метеорологічні КА. Найкраща роздільна здатність на місцевості цих КА близько кілометра. Така розбіжність дає можливість здійснювати глобальний моніторинг. У цьому випадку інформація за визначеними об'єктами (територіями) є одночасно загальною та детальною, що дозволяє здійснювати комплексну оцінку ситуації навколо визначеного об'єкта (території).

Процес розвитку НЕС та ЕК поділяють на три стадії: зародження, кульмінація та згасання. Кульмінаційна стадія починається з викиду речовин або енергії в навколишнє середовище (виникнення пожежі, вибуху, викид в атмосферу отруйних речовин, руйнування греблі) і закінчується перекриттям (обмеженням) джерела небезпеки. Стадія згасання катастрофи хронологічно охоплює період від перекриття (обмеження) джерела небезпеки – локалізації НЕС чи ЕК до повної ліквідації їх прямих і непрямих наслідків.

Використання МКЗ на кожному з етапів дозволить якщо не запобігти аварії, то у будь-якому випадку мінімізувати час реагування і втрати. При цьому необхідно розуміти, що екологічна безпека в цілому може бути реалізована як система заходів, що представляють сукупність соціальних, законодавчих, технічних, технологічних, медичних, біологічних і інших, спрямованих на підтримку балансу між біосферою й антропогенними, а також природними зовнішніми навантаженнями.

Висновки:

1. Загроза катастрофи людства від погіршення екології вимагає постійного моніторингу екологічної обстановки із застосуванням сучасних технологій. Перспективним у даному напрямку є використання можливостей космічних систем ДЗЗ, які забезпечують можливість генералізації екологічної інформації та оцінку екологічного стану власних територій й територій суміжних держав без порушень норм міжнародного права.

2. Космічні системи ДЗЗ є гарним інструментом виявлення екологічних катастроф антропогенного й природного походження у глобальному, національному й регіональному масштабах, оцінки рівня й речовини забруднення, прогнозу наслідків екологічних загроз і у певній мірі дозволяють вирішувати широкий перелік задач екологічного моніторингу.

3. Розроблена методика використання МКЗ для спостереження, аналізу і прогнозування змін екологічної обстановки дозволяє інтегрувати можливості наземних та космічних систем та вийти на якісно новий рівень здійснення екологічного моніторингу.

Перспективи подальших досліджень. В даній статті кожна із задач екологічного моніторингу розглянута досить широко. У подальшому доцільно детально розглянути особливості використання спектральних каналів засобів космічної зйомки для виявлення окремих забруднюючих речовин, методи дешифрування матеріалів космічної зйомки та оцінки рівня забруднення, а також критерії прийняття рішень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Астапенко В.Н., Бушуев Е.И., Зубко В.П., Хорольский П.П. Оценка объема спроса национального рынка на информацию дистанционного зондирования Земли // Космична наука і технологія. – 1999. – Т. 5. – № 4. – С. 31–40.
2. Баранюк Н.Д., Гайдук О.В. и др. Опыт разработки картографического обеспечения планирования действий в чрезвычайных ситуациях средствами геоинформационных систем. Материалы международной конференции под эгидой организации Черноморского экономического сотрудничества и в кооперации с МЦЧИ, 23–25 мая 2000 г. – Харьков, 2000. – С. 301–304.
3. Волошин В.И., Драновский В.И., Бушуев Е.И. Стан, перспективи та проблеми ринку послуг дистанційного зондування Землі з космосу // Космична наука і технологія. – 2002. – № 2/3. – С. 41–51.
4. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство А и Б, 1997. – 296 с.
5. Концепція (основи державної політики) Національної безпеки України схвалена Постановою ВР України від 16. 01 1997 р. № 3/97–ВР.
6. Красовский Г.Я., Петросов В.А. Введение в методы космического мониторинга окружающей среды. – Харьков: Государственный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 1999. – 205 с.

7. Красовский Г.Я., Брук В.В. Опыт практического применения тематической обработки материалов космических съемок для решения задач охраны вод // Проблемы охраны навколишнього природного середовища та техногенної безпеки. – УкрНДІЕП, 2000. – С. 141–154.
8. Лялько В.І. Стан і перспективи розвитку аерокосмічних досліджень Землі в Україні // Космічна наука і технологія. – 2002. – № 2/3. – С. 29–35.
9. Экология и безопасность жизнедеятельности / Д.А. Кривошеин, Л.А. Муравей, Н.Н. Роева и др.; Под ред. Л.А. Муравья. – М.: Юнити-Дана, 2000. – 447 с.
10. Fiorenza N. Eyes and Ears In Space: Armed Forces Journal International. – 2002, July.
11. Kramer H.J. Observation of the Earth and Its Environment. Survey of Missions and Sensors, 4 th Enlarged Edition: Berlin: Springer-Verlag, 2001.
12. <http://esti-map.ru>

ОМЕЛЬЧУК Валентин Васильович – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник наукового центру Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- алгоритми функціонування складних інформаційних систем;
- методи та пристрої радіотехнічних вимірювань;
- дослідження космічних систем спостереження Землі.

ПОНТКІВСЬКИЙ Петро Миколайович – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник наукового центру Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- обробка матеріалів дистанційного моніторингу.

ШЕЦАР Віталій Іванович – заступник начальника наукового центру Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- дослідження космічних систем спостереження Землі;
- дешифрування матеріалів космічної зйомки.

Подано 31.03.2006