

УДК 551.5

Д.П. Пашков

ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ

## ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ КАРТ АНТРОПОГЕННИХ ЗМІН ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ

На основі різницевого виділення особливостей космічних знімків векторного і растрового характеру здійснюється побудова картографічного зображення території спостереження. Це дало можливість виділити певні властивості на зображенні і побудувати карту динаміки антропогенних змін природного середовища. У зв'язку з цим в статті пропонується доповнити існуючу методику складання карт природного середовища для підвищення якості контролю і моніторингу із застосуванням космічних знімків дистанційного зондування Землі.

**Ключові слова:** методика, карта, космічний знімок, динаміка, природне середовище, спектральний канал.

### Вступ

Сучасні дослідження в екології зажадали знання детальних просторових і часових характеристик атмосфери, що призвело до необхідності розробляти і використовувати нові засоби вимірювань, і зокрема застосування космічних систем спостереження, а також методи для оцінки стану природного довкілля [1].

**Аналіз літератури.** Аналітичний огляд літератури [2 ÷ 4] показав, що ефективний і стійкий розвиток території неможливий без своєчасної інформації про поточний його екологічний стан. Проведення моніторингу стану території традиційними, наземними засобами вимагає багато сил і засобів. При цьому, використання методів дистанційного зондування Землі допомагають спростити процедуру моніторингу. Застосування космічних знімків дозволяє отримувати оперативну інформацію про стан території, а громадськості підвищити рівень контролю за діяльністю підприємств і організацій, які можуть завдати шкоди середовищу життєдіяльності на основі створення карт динаміки, на якій контрастно представлені ділянки території та зміни коефіцієнта відбиття, що змінюється за часом.

Це призводить до необхідності практичного вивчення відповідних питань пов'язаних із застосуванням космічних знімків і методів дослідження навколишнього середовища.

**Мета статті.** На основі принципів формування карт місцевості в статті удосконалено методику побудови карт антропогенних змін природного середовища на основі використання космічних знімків.

### Виклад основного матеріалу

Наведемо опис методики створення цифрових карт, основним змістом яких є межі ділянок земної поверхні, які протягом деякого періоду піддавалися впливам природного або антропогенного характеру. Основою карти є так зване «різницеве зображення», яке представляє собою растрове зображення, створене

шляхом спеціальної обробки двох космічних знімків, отриманих через деякий часовий інтервал.

Завдання моніторингу природних територій у своїй основі може бути представлена як «визначення змін компонентів навколишнього середовища, класифікація змін, з'ясування масштабів змін і визначення допустимості змін». Однак існують території, які є з одного боку ресурсоємними, а з іншого боку піддаються комплексному антропогенному впливу, що призводить до проведення постійного моніторингу. Це веде до значного збільшення вартості процесу моніторингу традиційними засобами, але в той же час не забезпечує його ефективності. У зв'язку з цим доцільно використовувати перетворені космічні знімки в картографічні матеріали, де крім ділянок території, які зазнають змін того чи іншого виду, будуть відображені основні об'єкти місцевості і, що найбільш важливо, обмеження господарської діяльності, «накладаються» на певні ділянки території [3].

Для створення карт динаміки природного середовища використовуються два або більше цифрових космічних знімків, отриманих через деякий інтервал часу. За допомогою двох вихідних знімків створюється різницеве зображення, на якому ділянки території, які були піддані змінам і, отже, що змінили свої спектральні відбивні характеристики, мають значний контраст у порівнянні з ділянками, які не піддавалися змінам і, отже, не змінювали свої відбивні характеристики.

**Особливості побудови та використання карт динаміки навколишнього природного середовища.**

Кarti динаміки природного середовища належать до тематичних картографічних матеріалів. Їх основним тематичним навантаженням є межі ділянок території, що піддаються впливу природного або антропогенного характеру, що приводить до довготривалої зміни виду (типу) ландшафту. Додатковим тематичним навантаженням карт динаміки є ділянки території, для яких встановлені обмеження ведення госпо-

дарської діяльності. Карти динаміки створюються на основі багатоспектральних або панхроматичних космічних знімків, представлених у цифровій формі, отриманих з різним часовим інтервалом. Космічний знімок складається з набору окремих зображень, отриманих у вузьких діапазонах довжин хвиль (спектра) (див. табл.1). Кожен спектральний канал характеризується смугою пропускання, що виражається в одиницях довжин хвиль - мікрометрах (мкм) [4].

Таблиця 1

Рекомендовані смуги пропускання, назви спектральних каналів і діапазонів довжин хвиль

Канали	Назва діапазону довжин хвиль	Центральна довжина хвилі, мкм	Ширина смуги пропускання, мкм
I	Синій	0.45	0.4–0.5
II	Зелений	0.55	0.5–0.6
III	Червоний	0.65	0.6–0.7
IV	Ближній інфрачервоний	0.85	0.8–0.9

В якості програмно-апаратних засобів і програмних продуктів використовуються «географічні інформаційні системи (далі - ГІС), а також засоби автоматизованої обробки знімків дистанційного зондування Землі. По виду представлення інформації карти динаміки є комбінованими растрово-векторними цифровими картами [4]. Процес створення карт динаміки поділяється на кілька послідовних етапів, протягом яких формуються її основні частини [4–6].

**1 етап.** Підготовчий - формуються вимоги до створеної карти, збір і обробка вихідної інформації.

**2 етап.** Формування растрової карти динаміки - здійснюється за допомогою засобів автоматизованої обробки знімків, на основі вихідних знімків, формується спеціальне зображення, яке відображає ймовірність того, що та або інша ділянка території піддавалася змінам.

**3 етап.** Формування векторних елементів змісту - розробка легенди і компонування; перенос елементів місцевості з карти-основи; оцифровка картографічних матеріалів які містять регламенти або розрахунків обмежень або розрахунків обмежень пов'язаних з об'єктами; розробка друкованого варіанту карти.

**4 етап.** Складання пояснювальної записки. У пояснювальній записці відображаються вихідні матеріали, відомості про регламенти та їх джерела, коротко описується технологія і детально розглядаються конкретні завдання і прийоми їх вирішення з використанням створеної карти динаміки.

Розглянемо більш детально етапи формування карт динаміки. Насамперед, космічні знімки повинні задовольняти встановленим вимогам, а також повинні бути представлені в цифровому вигляді. При виборі спектральних каналів необхідно враховувати відомості про діяльність, що ведеться на території, і відомості про природні процеси, що призводять до зміни території, так як різні об'єкти мають різні спектральні характеристики [4]. Для вибору спектральних каналів, які найбільше підходять для візуального дешифрування основних об'єктів навколишнього середовища, можна керуватися відомостями табл. 2 [4, 5].

Таблиця 2

Спектральні канали для візуального дешифрування основних об'єктів навколишнього середовища

Об'єкт	Спектральний канал	Примітка
Невеликі річки	II, III, IV	Дешифруються по непрямим ознаках – зміні характеру рослинності
Річки (озера) з видимою водною поверхнею	II, IV	Дешифруються за прямою дешифровочною ознакою – темним тоном
Лісові території	I, II, III	Дешифруються за прямою дешифровочною ознакою – темним тоном
Породи дерев, луки, вирубки, що відновлюються	II, III, IV	Дешифруються за прямими дешифровочними ознаками на кольоросинтезованих зображеннях – за кольором
Берегові мілини піщані коси	II, III	Дешифруються за прямою дешифровочною ознакою – світлим тоном
Ділянки земель з штучним покриттям (асфальт, бетон)	II, III, IV	Дешифруються за прямими дешифровочними ознаками на кольоросинтезованих зображеннях – за кольором
Ділянки відкритого ґрунту, скелі	II, III	Дешифруються за прямою дешифровочною ознакою – світлим тоном
Підтоплення	II, III, IV	Дешифруються за непрямою ознакою – зміні характеру рослинності і прямому – темному тону

Якщо територія є маловивченою або потрібно скласти карту динаміки, на якій не передбачається виділяти види змін, як вихідних зображень можна використовувати панхроматичні знімки, отримані в діапазоні спектра 0.5÷0.9 мкм. Якщо панхроматичні знімки відсутні, то їх можна синтезувати шляхом підсумовування значень відповідних пікселів декількох спектральних каналів (II-IV канали).

Просторова здатність знімків вибирається на основі відомостей про характерні розміри ділянок

території, об'єктів які знаходяться на ній і відомостей про масштаби природних процесів.

Дешифрування здійснюється шляхом візуального порівняння космічних знімків з цифровою картою-оснотою за допомогою засобів ГІС. Етапи дешифрування включають у себе:

1. Еталонні зображення для об'єктів, що відображаються на карті-основі і для ділянок території, істотно перетворених в результаті діяльності або природних процесів.

2. Короткий словесний опис дешифровочних ознак об'єктів, що включає: форму зображення об'єкта і характер кордонів; колір або тон зображення об'єкта; текстуру об'єкта (особливості чергування відтінків); сусідство з іншими об'єктами (закономірність просторового розташування).

Кожне зображення супроводжується коментарем, в який включається опис типу об'єкта або виду діяльності, показаної на еталонному зображенні. Якщо дешифрування виконувалося за непрямыми дешифровочними ознаками, необхідно коротко описати міркування, пов'язані з аналізом непрямих ознак.

#### Формування растрової карти динаміки.

Мета формування растрової карти динаміки це створення різницевого зображення. Знімки повинні бути, як можна більш точно просторово прив'язані і поєднані один з одним. Для контролю якості суміщення необхідно, за допомогою програмних засобів обробки зображень, замінити який-небудь з спектральних каналів одного знімка на однойменний спектральний канал іншого знімка. Найкраще для цього підходять II-й або III-й канали. Якщо знімки суміщені недостатньо добре, то при візуальному перегляді тонкі протяжні об'єкти, такі як дороги і річки, будуть двоїтися. При цьому кожен із двійників об'єкта буде забарвлений в свій колір.

Знімки повинні бути представлені в системі координат, в якій проводиться складання карти динаміки. Якщо система координат знімків відмінна від проекції карти динаміки, потрібно провести перетворення проекції знімків і при необхідності, після контролю суміщення, їх взаємну прив'язку. Коли автоматизоване перетворення проекції здійснити не вдається (наприклад, проекція вихідних знімків невідома), то необхідно провести прив'язку знімків до топографічної карти-основи відповідного масштабу по контрольних точках, а потім взаємну прив'язку знімків.

Для контролю якості прив'язки необхідно за допомогою програмних засобів ГІС поєднати їх з цифровою картою-основою. Якщо видимі середні зміщення більш графічної точності карти, необхідно здійснити додаткову прив'язку знімків до карти-основи. У цьому випадку спочатку необхідно здійснити взаємну прив'язку знімків по контрольних точках, а потім кожного зі знімків до карти. Основою карти динаміки служить різницеве зображення [6, 8].

Процес створення різницевого зображення складається з декількох послідовно виконуваних етапів: формування зони перекриття між двома знінками; власне формування різницевого зображення; візуалізація різницевого зображення і візуальна оцінка якості; усунення помилок різницевого зображення. Формування зони перекриття між двома знінками полягає в тому, що з кожного знімка виділяється підмножина пікселів, яке задовольняє умовам: ділянка території, зіставлений пікселю, відображається і на іншому знімку; пікселі на обох знімках знаходяться в межах робочої області відповідних знімків, а не на полях, що залишилися після просторової прив'язки.

Для кожного з відповідних спектральних каналів вихідних знімків створюється своє різницеве зображення (рис. 1) [6, 7].

Різницеве зображення буде обчислюватися не лише по спектральних складових, а також і по інтенсивності ( $I$ ) спектрального випромінювання прийнятого сигналу ( $I_{обі2} - I_{обі1}$ ). Крім того можливо використати методи спектральної фільтрації для визначення існуючого процесу або об'єкту за яким проводиться спостереження [7]. На основі отриманого результату проводиться порівняння зі еталонними значеннями спектральних характеристик випромінювання за допомогою сигнатур існуючої бази даних.

Крім того можливо загальну кількість різницевих зображень дорівнюватиме кількості відповідних спектральних каналів. Формування різницевого зображення проводиться шляхом застосування формули (1) послідовно до всіх відповідних пікселів в попарно кожному із спектральних каналів 2 вихідних зображень [6]

$$d' = S_1 DN_2 - S_2 DN_1, \quad (1)$$

де  $DN_1$  і  $DN_2$  – значення пікселів у відповідних спектральних каналах знімків 1 і 2;  $S_1$  і  $S_2$  – середні арифметичні величин  $DN$  в кожному із спектральних каналів знімків 1 і 2.

Величина  $d'$  може набувати значень як більше, так і менше нуля. Якщо вважати, що знімок 1 отриманий раніше знімка 2, то  $d' < 0$  означатиме, що коефіцієнт спектрального відбиття ділянки території з часом зменшився (тобто ділянка потемніла), а  $d' > 0$  показує, що коефіцієнт відбиття збільшився, тобто ділянка території стала світлішою. Чим більше величина  $d'$  по абсолютному значенню, тим більше вірогідність того, що на ділянці території, яка відображує даний піксель, сталися які-небудь зміни, і коефіцієнт відбиття ділянки збільшився або зменшився з плином часу.

Чим ближче  $d'$  до нуля, тим більша вірогідність того, що жодних змін на ділянці території який відображує даний піксель, не відбувалося, а коефіцієнт відбиття трохи змінився через різні умови зйомки, при яких отримані вихідні знімки.

З метою контролю якості отримане різницеве зображення візуалізується за допомогою засобів обробки зображень у вигляді RGB растрового зображення таким чином (за умови, що знімок 1 отриманий раніше знімка 2):

- у канал R завантажується отримане різницеве зображення;
- у канали G, B завантажується відповідний спектральний канал вихідного зображення знімка 2;

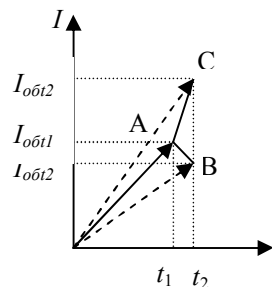


Рис. 1. Різниця інтенсивностей по спектральним значенням

– гістограми в кожному з каналів вирівнюються по рівню 2%.

Якщо знімок 1 отриманий пізніше за знімок 2, необхідно в канал R завантажити відповідний спектральний канал знімка 1, а в канали G, B – різницеве зображення.

Отримане зображення може бути легко візуально інтерпретовано: на такому зображенні ділянки території залежно від напрямку зміни коефіцієнта відбиття будуть підсвічені або червоним, або синім кольором. Якщо зміни коефіцієнта відбиття, а отже, і самої ділянки території незначні, то колір ділянки буде близький до сірого.

Контроль якості різницевого зображення здійснюється як візуально, так і за допомогою обчислення коефіцієнта різниці. Основні помилки різницевого зображень можуть виникати через різні причини. Помилки, пов'язані з неточністю поєднання знімків необхідно усунути шляхом повторного поєднання знімків. Якщо помилки, пов'язані з відмінностями в умовах зйомки, істотні і ускладнюють візуальну інтерпретацію зображення, то, можливо, необхідно використовувати в якості вихідних інші знімки.

Застосування порогового фільтру. До вихідного (чорно-білому) різницевого зображення застосовується пороговий фільтр наступного вигляду

$$|d'| > K, \quad (2)$$

де  $K$  – число, що підбирається експериментально.

В результаті з різницевого зображення будуть виключені пікселі зі значеннями  $\pm DN$ , близькими до нуля. Застосовувати фільтр необхідно з обережністю, так як в результаті його роботи з різницевого зображення можуть бути виключені ділянки території з відбивними характеристиками, що значно змінилися, але максимальні розміри, яких близькі до просторового дозволу знімка.

Отримане зображення може бути легко візуально інтерпретовано: на такому зображенні ділянки території в залежності від напрямку зміни коефіцієнта відбиття

Чим ближче значення пікселя до нуля (фактично  $d' \rightarrow 0$ ), тим менша ймовірність того, що у території яку він відображає відбулися зміни коефіцієнта відбиття в силу природних або антропогенних причин.

Для усунення незначних шумових флуктуацій яскравості при одночасному збереженні на зображенні дрібних деталей, таких як протяжні і тонкі лінії застосовуються адаптивні фільтри (такі як фільтр Фроста). Рекомендується використовувати адаптивний фільтр Фроста з вікном розміром  $5 \times 5$  пікселів і чинником збільшення, рівним 0,5.

Різницеве зображення, представлене в сірій палітрі, для поліпшення читаності може бути розділено на два зображення: для  $d' < 0$  і для  $d' > 0$ . У цьому випадку на першому зображенні будуть показані лише ті ділянки території, де коефіцієнт спектрального відбиття ділянки території з плином часу зменшився, а на другому зображенні, навпаки, де кое-

фіцієнт спектрального відбиття ділянки території з плином часу збільшився.

Для отримання зображення для  $d' < 0$  необхідно застосувати фільтр  $0 < d'$ , а для  $d' > 0$  фільтр  $0 > d'$ . В результаті отримаємо два зображення, кожне з яких буде містити позитивні значення пікселів.

#### **Формування векторного зображення.**

На даному етапі робіт проводиться формування векторних елементів змісту, що включають географічні об'єкти і зони регламентів, здійснюється розробка легенди для векторних об'єктів і різницевого зображення і компоновка готової карти для виведення на друк і використання її в електронному вигляді засобами ГІС.

Основними етапами формування векторних елементів є [3, 6, 8]

**1 етап.** Формування векторного навантаження карти, яке полягає у формуванні у векторній формі географічних об'єктів і меж ділянок території, щодо яких встановлено регламенти. Це дає можливість створити набір шарів цифрової карти, що містять географічні об'єкти і межі ділянок території, щодо яких встановлено регламенти. Картографічні матеріали, використовувані для формування меж ділянок території, щодо яких встановлено регламенти, повинні бути узгоджені з картою-основою по положенню контурів географічних об'єктів. Для коректування положення контурів використовуються можливості програмних засобів ГІС.

**2 етап.** Формування легенди для векторних шарів і реєстрового різницевого зображення, що дає можливість здійснити легенди для векторних шарів і реєстрового різницевого зображення. Легенда карти динаміки формується як для векторних шарів, так і для растрового різницевого зображення. Умовні знаки об'єктів карти-основи відповідають умовним знакам топографічної карти відповідного масштабу. Ділянки території, щодо яких встановлено регламенти, являють собою майданні об'єкти і виділяються тільки кордонами. Заливка прозора. Товщина і тип ліній кордонів повинні бути такими, щоб об'єкти добре виділялися на тлі реєстрового різницевого зображення. Колір кордонів встановлюється таким чином, щоб зони різних регламентів добре візуально відрізнялися одна від іншої.

Різницеве зображення може бути представлене у сірій або кольоровій палітрі.

**3 етап.** Формування карти з елементами зовнішнього оформлення результатом, якого є оформлення сформованих в цифровому вигляді різних елементів карти. Якщо до складу карти динаміки входять кілька різницевого зображень, необхідно використовувати для всіх однаковий тип палітри.

**4 етап.** Компонування для друку твердої копії карти динаміки на основі використання ГІС засобів. Елементи зовнішнього оформлення служать для зручності роботи з друкованою копією карти динаміки і включають в себе: пояснювальні підписи, координатну сітку, легенду.

Пояснювальні підписи містять: заголовок (назва) карти, що включає слова «Карта динаміки стану

території», назва території і часовий період, для якого складена карта; дані про космічні знімки: дати зйомок, назва сенсора, номера або назви використовуваних спектральних каналів; дані карти-основи: назва і рік стану місцевості; відомості про організацію - укладача та організацію - замовника карти; відомості про систему координат; масштаб; дату створення карти. Координатна сітка, якщо немає спеціальних вимог замовника, створюється в градусних одиницях. Крок сітки вибирається виходячи з призначення карти: якщо передбачається, що карта буде використана для пошуку об'єктів з використанням GPS приймачів, то сітка повинна бути досить детальна.

Легенда карти містить умовні позначення для об'єктів карти-основи і меж ділянок території, щодо яких встановлено регламенти, із зазначенням виду регламентів. Легенда (палітра) різницевого зображення міститься в пояснювальному підписі, в якій вказується тип легенди і наводяться кольори, відповідні ділянкам території, які зазнали найбільших і найменших змін. Якщо була обрана палітра, яка відображає напрямок зміни коефіцієнта відбиття (наприклад, градієнтом кольору), тоді в легенді вказують кольори, що показують як найбільш позитивні, так і найбільш негативні зміни коефіцієнта відбиття. Компонування призначене для безпосереднього виведення копії цифрової карти на друкарський пристрій. Для кожного різницевого зображення, що входить до складу карти динаміки, створюється своя компоновка.

## Висновки

В ході проведення наукових досліджень були отримані наступні результати:

1. На сьогоднішній день необхідно розробляти і інтенсивно впроваджувати нові методи і методики пов'язані з використанням космічних систем дистанційного зондування Землі.

2. При проведенні екологічного моніторингу з використанням космічних систем дистанційного зондування Землі необхідно використовувати не

тільки растровий але і векторні зображення. При цьому, ускладнюється методи (методики) обробки знімків, що призводить до підвищення ймовірності виявлення і розпізнавання об'єктів.

3. Одним з перспективних підходів для пошуку змін при виявленні є використання різницевих спектральних і допоміжних характеристик на космічних зображеннях, що дозволяє побудувати динамічну карту антропогенних змін природного середовища поверхні.

## Список літератури

1. Закон України від 5 вересня 2013 р. № 439-VII «Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України на 2013–2017 роки».
2. Волошин В.И. Экология и космос / В.И. Волошин, В.И. Драновский, Е.И. Бушуев // Космична наука і технологія. – 2002. – Т. 8, № 2/3. – С. 52–56.
3. Космические методы экологического мониторинга / Толмачева Н.И., Шкляева Л.С. // Перм. ун-т. – Пермь, 2006. – 296 с.
4. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт – М.: Техносфера. 2010. – 560 с.
5. Пашиков Д.П. Аналіз можливостей застосування космічних систем дистанційного зондування Землі для вирішення екологічних завдань / Д.П. Пашиков // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2014. – № 2 (15). – С.184–188.
6. Экологический мониторинг нефтегазовой отрасли. Физико-химические и биологические методы / Саксонов М.Н., Абалаков А.Д., Данько Л.В. [и др.] // – Иркутск: Иркут. ун-т, 2005. – 114 с.
7. Купченко Л.Ф. Метод спектральной фильтрации изображения объекта при наличии сигнала атмосферной помехи / Л.Ф. Купченко, А.С. Рыбьяк, Д.П. Пашиков // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 3 (15). – С. 40–45.
8. Чандра А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А.М. Чандра, С.К. Гош. – М.: Техносфера. 2008. – 312 с.

Надійшла до редколегії 7.03.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Д.П. Пашиков

На основе разностного выделения особенностей космических снимков векторного и растрового характера осуществляется построение картографического изображения территории наблюдения. Это дало возможность выделить определенные свойства на изображении и построить карту динамики антропогенных изменений природной среды. В связи с этим в статье предлагается дополнить существующую методику составления карт природной среды для повышения качества контроля и мониторинга с применением космических снимков дистанционного зондирования Земли.

**Ключевые слова:** методика, карта, космический снимок, динамика, природная среда, спектральный канал.

## PERFECTION OF CONSTRUCTION METHOD OF NATURAL ENVIRONMENT OF ANTHROPOGENIC CHANGES MAPS ON BASIS OF SPACE PICTURES USE

D.P. Pashkov

On the basis of differential selection of features of space pictures of vectorial and raster character the construction of cartographic image of territory of supervision is carried out. It enabled to select certain properties dark-and-light and build the map of dynamics of anthropogenic changes of natural environment. In this connection in the article it is suggested to complement the existent method of drafting of maps of natural environment for upgrading control and monitoring with the use of space pictures of the remote sensing of Earth.

**Keywords:** method, map, space picture, dynamics, natural environment, spectral channel.