

УДК 53.082+006.91

М. О. Попов, Т. В. Цимбал

Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України, Київ

**Правила та процедура сертифікації методик
використання даних дистанційного зондування
Землі при вирішенні тематичних задач**

Надійшла до редакції 21.05.04

Обґрунтовуються умови об'єктивного порівняння різних методик використання даних дистанційного зондування Землі для вирішення природоохоронних та природоресурсних задач. Запропоновано правила та процедуру сертифікації методики класифікування об'єктів дистанційного зондування з використанням аерокосмічних зображень. Розглянуто особливості сертифікації методик прогнозування стану природних ресурсів та навколишнього середовища з використанням аерокосмічних зображень.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дистанційні (неконтактні) методи вивчення поверхні Землі, гідросфери, літосфери та атмосфери реалізуються за допомогою систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), під якими розуміють сукупність космічних і наземних технічних та інформаційних засобів, що функціонально та організаційно пов'язані між собою [17]. Будь-яка процедура ДЗЗ здійснюється не тільки у просторі, але й у часі, тобто вона може розглядатися як певний фізичний або технологічний процес. З іншої точки зору, результати дистанційних досліджень фізичного, геологічного, біологічного або іншого стану Землі та розташованих на ній об'єктів мають практичну спрямованість і є деякою науковою або науково-технічною продукцією, надання якої споживачеві може розглядатися як послуга.

Процеси, продукція та послуги повинні відповідати деяким вимогам або умовам. Зрозуміло, якщо послуга замовляється, то вимоги формулює замовлююча сторона (споживач), а справа сторони, яка надає цю послугу (виробника, постачальника), — забезпечити виконання встановлених вимог. Процедура, за допомогою якої третя сторона дає письмову гарантію, що продукція, процес чи послуга відповідають заданим вимогам, має назву «сертифікація» [5]. Сертифікацію проводять з метою одержання об'єктивної оцінки науково-технічного рівня продукції, встановлення відповідності вимо-

гам чинних законодавчих актів України та обов'язковим вимогам нормативних документів, національних та міжнародних стандартів. В Україні порядок проведення сертифікації продукції визначається державним стандартом ДСТУ 3413-96 [6]. Цей стандарт встановлює загальні вимоги щодо порядку проведення сертифікації продукції та послуг в системі сертифікації УкрСЕПРО. В роботі [7] наведено перелік груп об'єктів реєстрації в системі УкрСЕПРО; до цього переліку відносяться, зокрема, процеси та послуги. Складено і затверджено перелік продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні, причому цей перелік час від часу поповнюється та перезатверджується. Крім того, існує поняття «добровільної сертифікації», яка визначається як сертифікація на відповідність вимогам, не віднесеним нормативними документами до обов'язкових, яка проводиться на добровільних засадах за ініціативою виробника, постачальника чи споживача продукції [5].

Згідно з [6] сертифікацію продукції в системі УкрСЕПРО проводять виключно органи із сертифікації, а в разі їхньої відсутності — організації, що виконують функції органів з сертифікації продукції за дорученням Держспоживстандарту України. Науково-методичним та інформаційним центром в системі УкрСЕПРО є Український науково-дослідний інститут стандартизації, сертифікації та інформатики Держстандарту України. Орган, що проводить сертифікацію, — Управління сертифі-

кації Держстандарту України. Сертифікація продукції може здійснюватися науковою установою, організацією, підприємством із залученням провідних науково-дослідних інститутів, Технічних комітетів тощо.

Порядок проведення сертифікації продукції містить:

- подання та розгляд заявки на сертифікацію продукції;
- аналіз наданої документації;
- прийняття рішення за заявкою із зазначенням схеми (моделі) сертифікації;
- ідентифікацію зразків продукції та їхнє випробування;
- аналіз одержаних результатів та прийняття рішення про можливість видачі сертифіката відповідності та надання ліцензії;
- видачу сертифікату відповідності та надання ліцензії.

Тут під схемою (моделлю) сертифікації мають на увазі склад і послідовність дій під час проведення сертифікації відповідності. Схеми (моделі), що використовуються під час обов'язкової сертифікації продукції, визначає орган із сертифікації. Обов'язкова сертифікація продукції проводиться на відповідність до обов'язкових вимог нормативних документів, аналогічних вимог міжнародних та національних стандартів інших держав, що введені в дію в Україні. Схему добровільної сертифікації визначає заявник за погодженням з органом із сертифікації.

Під час ідентифікації вимірюються або спостерігаються характеристики (показники) продукції, приналежність до класифікаційної групи, відповідність технічної документації та ін. Якщо сертифікується процес, то перевірки (контролю) підлягають вхідні та вихідні параметри та характеристики цього процесу.

Як правило, дані вимірювань, спостереження, контролю, що одержуються під час ідентифікації, потребують певного оброблення. Метою такого оброблення може бути підвищення точності вимірів, фільтрація завад та виявлення корисного сигналу, порівняння із заданими нормативними величинами, обчислення відстаней або площ тощо. В залежності від мети процедури та прийнятої моделі об'єкта, що вимірюється (спостерігається, контролюється), у процесі оброблення можуть використовуватися розрахунково-статистичні, експертні або інші відомі методи.

Розрахунково-статистичні методи застосовують при наявності великої кількості вимірювань, які одержуються при випробуваннях.

Експертні методи переважно застосовуються, ко-

ли неможливо отримувати кількісні дані про об'єкт або процес, що підлягають сертифікації. Подібні об'єкти відносять до класу складних систем.

Сертифікат відповідності — це документ, який вказує, що забезпечується необхідна впевненість у тому, що потрібним чином ідентифікована продукція, процес чи послуга відповідають конкретному стандарту чи іншому нормативному документу. Сертифікат відповідності видається виключно органом з сертифікації продукції.

За стандартом ДСТУ-3498 є кілька форм сертифікатів відповідності: форма 1 видається, якщо підтверджена відповідність продукції усім обов'язковим вимогам; форма 2 — якщо підтверджена відповідність продукції усім вимогам; форма 3 — якщо підтверджена відповідність продукції окремим вимогам.

Ліцензія — це документ, за допомогою якого орган з сертифікації надає право застосовувати сертифікати відповідності для своєї продукції, процесів чи послуг згідно з правилами відповідної системи сертифікації. Ліцензія надається органом з сертифікації на підставі позитивних результатів сертифікаційних випробувань продукції.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Як відмічалось вище, основною метою використання засобів ДЗЗ є поглиблення наших знань про навколишнє середовище, до якого належать Земля з її флорою та фауною, гідросфера і атмосфера. Досягнення цієї мети за допомогою ДЗЗ здійснюється шляхом отримання даних та їхнє інтерпретування.

Отримання даних необхідної якості залишається складною технічною проблемою, але наявність високоякісних сенсорів, які забезпечують одержання панхроматичних та багатоспектральних аерокосмічних зображень високої просторової розрізненості [9], дає підстави вважати, що цю проблему можна бути успішно вирішити. Тому далі ми вважатимемо, що дані потрібної якості є у розпорядженні дослідника.

Процедура інтерпретування містить сукупність прийомів чи операцій пізнання середовища. Інтерпретування включає аналіз і узагальнення кількісних та якісних характеристик об'єктів зондування з метою встановлення їхнього стану, значущості та можливостей в конкретній обстановці [17]. Кількісні та якісні характеристики об'єктів зондування отримують вимірюванням параметрів аерокосмічних зображень: геометричних розмірів, оптичних щільностей, напівтонів, паралаксів та ін. В

результаті з'ясовуються стан рослинності, склад порід лісу, стан морської поверхні, вологість ґрунту або вирішуються інші тематичні задачі у межах вище означеної мети ДЗЗ.

На цей час в Росії розроблено класифікатор тематичних задач оцінювання природних ресурсів та навколишнього середовища, що вирішуються з використанням матеріалів ДЗЗ [10]. У класифікаторі систематизовано понад 50 різних тематичних задач з геології, гідрології, лісових ресурсів і рослинного покриву, ландшафтів тощо. Кожна з цих тематичних задач має свої особливості, які повинні бути враховані при розробці відповідної методики її вирішення.

Але разом з тим з точки зору функціонального призначення всі методики використання даних ДЗЗ для вирішення тематичних задач можна поділити на два класи:

- 1) методики оцінювання поточного стану природних ресурсів та навколишнього середовища;
- 2) методики прогнозування стану природних ресурсів та навколишнього середовища.

Стан природних ресурсів та інших об'єктів навколишнього середовища описується деякою множиною ознак (параметрів, характеристик); кожна ознака, в залежності від її природи, вимірюється у відповідній шкалі — кількісній, порядковій або номінальній [1]. Кількісна шкала передбачає наявність одиниці виміру і дозволяє встановлювати кількісні відношення між об'єктами. Кількісні виміри проводяться за допомогою різноманітних технічних приладів та пристроїв. Кількісно в задачах ДЗЗ можуть вимірюватися просторові величини та величини, що характеризують фізичні поля електромагнітного походження. За результатами просторових лінійних та кутових вимірювань можуть обчислюватися площі, об'єми, величини перевищень, кути нахилу тощо. За результатами фізичних вимірювань можуть розраховуватися різноманітні індекси (вегетаційний, каламутності води, мінералів тощо), вологість ґрунту і т. ін. Порядкова шкала дозволяє встановити порядкові відношення між об'єктами, показати, що один об'єкт за певною ознакою кращий від іншого об'єкта чи рівноцінний йому. Встановлення таких відношень може провадитися як за допомогою технічних пристроїв, так і шляхом експертного оцінювання переваг. У номінальній шкалі кожному об'єкту надається певний ярлик (або назва), який свідчить про віднесення даного об'єкта до деякого класу. Подібні операції надання відносяться до інтелектуальних і виконуються або людиною, або машинними класифікаторами.

Методики використання даних ДЗЗ для вирі-

шення різноманітних тематичних задач сьогодні пропонуються різними дослідниками, установами та організаціями [12, 13, 15]; вони базуються на неоднакових моделях вихідних даних, використовують різні алгоритми прийняття рішень, мають різний ступень автоматизації, їхня вартість на ринку може суттєво відрізнятися, і тому однією з важливих проблем є вибір найбільш доцільної методики.

Одним із шляхів вирішення проблеми раціонального вибору методики є формалізація їхньої структури. Типова структура методики використання даних ДЗЗ для вирішення тематичних природоресурсних задач містить такі елементи:

1. Галузь використання; загальна проблема, для вирішення якої можуть бути корисними результати, що отримуються за допомогою даної методики; перелік можливих споживачів, зв'язок даної методики з іншими подібними методиками та її особливості.

2. Конкретна мета (цільове призначення).

3. Критерії досягнення мети (вимоги до інформації, що отримується шляхом використання методики, а саме: до її вірогідності, повноти, точності, оперативності, форми подання тощо).

4. Вимоги до вхідних іконічних даних ДЗЗ (графічні формати зображень, спектральний діапазон, просторова та спектральна розрізненість, масштаб, динамічний діапазон яскравості, рівень інформаційного оброблення зображень, дозволений рівень викривлень зображень (пошкоджень, обумовлених неякісним прийманням сигналу; завад, обумовлених атмосферними ефектами, та ін.), площа сцени, кількість зображень, час їхнього отримання, періодичність знімання тощо).

5. Вимоги до необхідної картографічної інформації (масштаб, проекція, номенклатура карти тощо) та інших допоміжних даних.

6. Вимоги до завіркової інформації (кількість та назви класів об'єктів, детальність опису прямих дешифрувальних ознак, точність просторової прив'язки об'єктів тощо).

7. Обмеження, що враховуються при створенні та використанні методики.

8. Теоретичні посилання, моделі, розрахункові формули та їхнє обґрунтування.

9. Сутність методики (як послідовність операцій перетворення іконічних даних та інформації), алгоритми прийняття рішень.

10. Процедура оцінювання методики та інформації, що за нею отримується, ступеня задоволення обраних критеріїв та заданих умов.

11. Вимоги до програмного та апаратного забезпечення методики.

12. Вимоги до кваліфікації інтерпретатора (користувача).

13. Рекомендації щодо впровадження результатів, отриманих за методикою, у процедурі вирішення загальної проблеми.

Таку структуру мають методики обох класів з числа вищезазначених.

Вибір методики, адекватної поставленій задачі, значно б спростився, якби методики вирішення тематичних задач були стандартизовані, тобто кожна методика була оформлена у вигляді нормативного документа, затвердженого визнаним органом, в якому були встановлені загальні принципи її побудови, характеристики, правила використання, вимоги до даних тощо. Державна система стандартизації України передбачає можливість стандартизації інформаційних технологій [4], але при цьому в основному йдеться про стандартизацію програмних та технічних засобів. Між тим у будь-якій методиці вирішення тематичних задач з використанням даних ДЗЗ програмні та технічні засоби грають допоміжну роль, а головними етапами є операції порівняльного аналізу, прийняття інформаційних рішень, розпізнавання та деякі інші творчі (інтелектуальні) операції. Відомо, що інтелектуальні операції погано піддаються формалізації, при їхньому здійсненні буває важко уникнути суб'єктивізму. Тому, на наш погляд, ставити питання про стандартизацію методик вирішення тематичних задач з використанням даних ДЗЗ передчасно. Але цілком коректно казати про сертифікацію методик, тобто щоб кожна з них мала документальне підтвердження її відповідності певним вимогам або технічним умовам [6].

Таким чином, постає задача розробити та описати правила сертифікації методик використання даних ДЗЗ для вирішення тематичних задач, а також намітити процедуру сертифікації на прикладах деяких методик вирішення задач природокористування.

ВИМОГИ ЩОДО СЕРТИФІКАЦІЇ МЕТОДИК ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДЗЗ ПРИ ВИРІШЕННІ ТЕМАТИЧНИХ ЗАДАЧ

Як було вказано вище, сертифікація — це процедура, за допомогою якої надається гарантія, що продукція, процес чи послуга відповідають заданим вимогам. Такі вимоги можуть бути задані деякими показниками з нормативних документів чи просто сформульовані замовником сертифікації та погоджені з органом сертифікації. Оскільки жоден факт стандартизації якої-небудь методики вирішення тематичних задач з використанням матеріалів ДЗЗ нам невідомий, а нормативних документів з відповідними показниками немає, то розглянемо, яки-

ми можуть бути вимоги з боку замовника сертифікації.

Взагалі кажучи, вимоги можуть бути технічними, економічними або техніко-економічними [18]. Технічні вимоги визначають науково-технічний рівень методики, зокрема складність фізичних та інформаційних процесів, якими вона реалізується, рівень її апаратного та програмного забезпечення, вірогідність та точність наданої інформації. Слід пам'ятати, що необхідність створення методики визначається на основі економічних, господарських та соціальних факторів. Економічні вимоги встановлюють максимально допустимий рівень витрат фінансових, матеріально-технічних, людських та інших ресурсів і базуються на використанні вартісних показників. Реалізація встановлених економічних вимог дозволяє розраховувати економію витрат, яка досягається в результаті застосування методики при вирішенні конкретної народногосподарської задачі, у тому числі природоресурсної. Така економія може бути інтегральним критерієм ефективності методики.

Але технічні та економічні вимоги взаємозв'язані, а саме: підвищення технічних вимог звичайно потребує зростання витрат і навпаки, зниження обсягу дозволеного фінансування часто (хоч і не завжди) приводить до погіршення технічних характеристик та якості результатів. Вимоги та критерії, які враховують одночасно технічні можливості методики та потрібні витрати, відносять до техніко-економічних. Техніко-економічні критерії особливо важливі при порівнянні ефективностей декількох різних методик вирішення саме однієї тематичної задачі, які потребують вихідних даних різних якості та обсягів (наприклад, аерокосмічних зображень різної просторової розрізненості) і базуються на використанні різних технічних засобів і програмних продуктів.

При оцінюванні ефективності методик використання даних ДЗЗ для вирішення тематичних задач можливі різні підходи. Один підхід полягає у тому, щоб просто оцінити, наскільки дана методика вирішує поставлену задачу, тобто відповідає певним вимогам. Саме так ставиться задача сертифікації. Але на практиці вирізнити перелік вимог та множини кількісних значень показників, що задовольняють поставлену задачу і найкращим чином її вирішують, — досить складна проблема, яка не має теоретичного обґрунтування, тому її рішення шукають, як правило, емпіричним шляхом.

Якщо у розпорядженні дослідника є більш ніж одна методика для вирішення поставленої задачі, і всі такі методики можуть бути охарактеризовані одними показниками, що відрізняються тільки свої-

ми значеннями, то задачу оцінювання ефективності можна вирішувати шляхом порівняння цих показників та результатів, що характеризують ці методики. Таке порівняння може здійснюватися в кількісній або порядковій шкалах. На жаль, даний підхід не дозволяє порівнювати ефективність методик, що мають неоднакове функціональне призначення і характеризуються різними показниками.

Ще один підхід, найперспективніший, полягає у тому, що інтегрально оцінюється той корисний ефект, який дає застосування методики вирішення тематичної задачі з використанням матеріалів ДЗЗ у порівнянні з іншими відомими методами.

Загальними принципами, на основі яких формуються критерії ефективності різноманітних методик вирішення тематичних задач, є принцип мінімуму витрат:

$$W_{\min} = \min_{z \in Z} W(z); E(z) \in E^* \quad (1)$$

та принцип максимуму корисного ефекту:

$$E_{\max} = \max_{z \in Z} E(z); W(z) \in W^*, \quad (2)$$

де Z — множина допустимих за умовами задачі варіантів досягнення мети, $E(z)$ — величина корисного ефекту як функція варіанту досягнення мети, $W(z)$ — величина витрат як функція варіанту досягнення мети, E^* , W^* — допустимі області зміни корисного ефекту і витрат відповідно [18].

Кожну методику можна розглядати як деякий свій варіант досягнення мети. В задачах вирішення тематичних задач ДЗЗ загальні витрати складаються з ціни аерокосмічних знімків потрібного рівня обробки і картографічних матеріалів, вартості завіркових даних, ЕОМ та програмного забезпечення (включаючи вартість спеціалізованих прикладних програм типу ERDAS), витрат на оплату праці фахівців та ін. Принцип мінімуму витрат (1) використовують у тих випадках, коли при заданому ефекті намагаються визначити варіант, при якому забезпечуються мінімально можливі витрати. Якщо ж при заданих витратах необхідно досягти мети максимальною мірою, то використовують принцип максимуму корисного ефекту (2).

Розглянемо, як можна зіставляти різні варіанти досягнення корисного ефекту. Припустимо, методики, що зіставляються, характеризуються корисними ефектами E_i та E_j і витратами W_i та W_j відповідно.

На рис. 1 точки A_i та A_j відображають вказані методики. Видно, що виконуються умови $W_i < W_j$, $E_i < E_j$, тобто методики відрізняються як за витратами, так і за корисним ефектом. У даному випадку без додаткового аналізу важко віддати перевагу

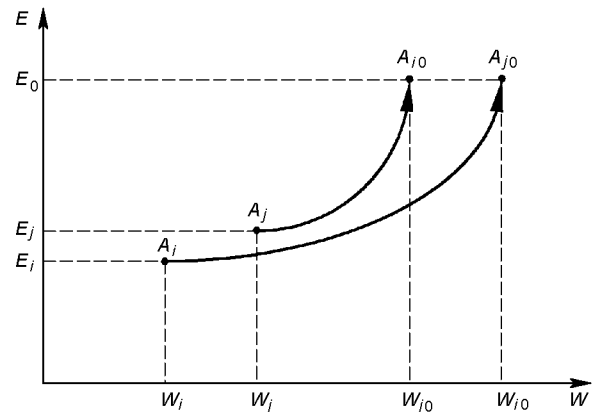


Рис. 1. До зіставлення методик

якій-небудь з методик.

Будемо вважати, що рішення вибирається на основі принципу мінімуму витрат. Ставиться задача забезпечити корисний ефект E_0 . Умовами зіставлення методик буде $E_i \rightarrow E_0$ та $E_j \rightarrow E_0$. Для виконання цих умов потрібне переміщення точок A_i та A_j у положення A_{i0} та A_{j0} відповідно. Щоб здійснити ці переміщення, потрібні додаткові витрати $\Delta W_i = W_{i0} - W_i$ за однією методикою і $\Delta W_j = W_{j0} - W_j$ — за іншою.

Додаткові витрати можуть бути пов'язані з необхідністю придбання якісніших космічних знімків або збільшення їхньої кількості, удосконалення програмного забезпечення, отримання додаткових завіркових даних тощо. Таким чином, щоб зіставити методики за їхнім корисним ефектом, потрібні загальні витрати $W_{\Sigma i} = W_i + \Delta W_i$ і $W_{\Sigma j} = W_j + \Delta W_j$. Якщо керуватися принципом мінімуму витрат, то обирається та методика, яка забезпечує $W_{\Sigma \min}$.

Припустимо тепер, що при порівняльному аналізі ефективності методик виходять з принципу максимуму корисного ефекту. У даному випадку необхідно спочатку привести методики до виду, коли їх можна зіставити за витратами. Цей процес зображено на рис. 2. Тут величина W_0 характеризує витрати, які допустимі за умовами задачі. В результаті приведення методик до вигляду, коли виконуються умови $W_i \rightarrow W_0$ та $W_j \rightarrow W_0$, корисні ефекти від застосування методик складуть E_{i0} та E_{j0} . При цьому досягається підвищення корисних ефектів на величини $\Delta E_i = E_{i0} - E_i$ і $\Delta E_j = E_{j0} - E_j$. Найефективнішу методику обираємо за максимумом корисного ефекту.

У площині «корисний ефект — витрати» можна також оцінювати внесок, який надає застосування методики вирішення конкретної тематичної задачі

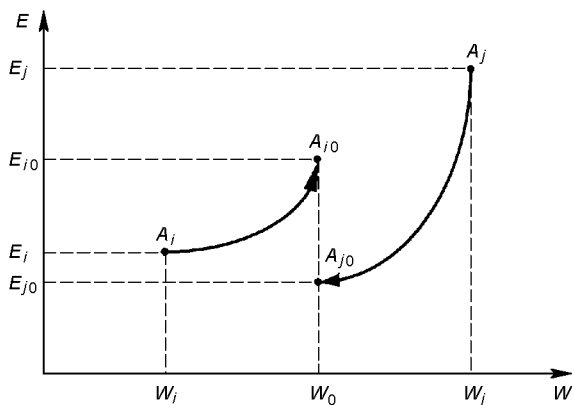


Рис. 2. До аналізу ефективності методик за принципом максимуму корисного ефекту

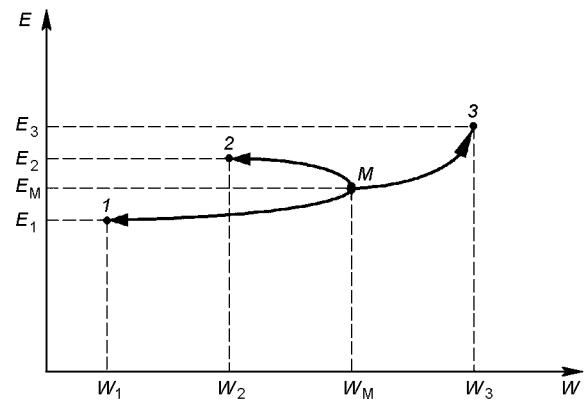


Рис. 3. До оцінювання внеску, що надає застосування методики

з використанням матеріалів ДЗЗ у порівнянні з іншими методами. Наприклад, нехай існує деякий метод вирішення певної природоресурсної задачі, який базується на використанні вихідних даних так званого «земного походження», характеризується ефективністю W_M і потребує при цьому витрат E_M (точка M на рис. 3). Припустимо, що як додаткові вихідні дані або замість частини даних «земного походження» залучаються дані ДЗЗ та результати їхньої тематичної обробки. Тоді практичний інтерес мають три ситуації, що позначені на рис. 3 точками 1, 2 та 3. Точка 1 відповідає випадку, коли в результаті використання матеріалів ДЗЗ вдається зменшити витрати на величину $\Delta W_1 = W_M - W_1$, але при цьому погіршується ефективність на $\Delta E_1 = E_M - E_1$. Точка 2 характеризує ситуацію, коли в результаті використання даних ДЗЗ витрати зменшуються на $\Delta W_2 = W_M - W_2$, а ефективність збільшується на $\Delta E_2 = E_M - E_2$. Точка 3 відповідає випадку, коли збільшуються як ефективність, так і витрати на величини $\Delta E_3 = E_3 - E_M$ та $\Delta W_3 = W_3 - W_M$ відповідно.

Таким чином, розгляд з позицій «корисний ефект — витрати» дозволяє наочно визначати доцільність застосування матеріалів ДЗЗ, а також здійснювати вибір адекватної методики у кожному конкретному випадку. Втім, корисний ефект залежить не тільки від обсягу витрат на створення та застосування методики, але є складною функцією множини технічних параметрів та характеристик, які забезпечує методика.

В залежності від цільового призначення методики — оцінювання або прогнозування поточного стану природних ресурсів та навколишнього середовища — ця множина може містити різні елементи, але однією з основних процедур будь-якої методики вирішення тематичної задачі ДЗЗ є процедура класифікування, тобто розподіл пред'явленої множини об'єктів на підмножини відповідно з прийнятими правилами сортування об'єктів за категоріями [17].

В задачах класифікування цифрових аерокосмічних зображень пред'явлена множина — це сукупність плоских (двовимірних) геометричних утворень або пікселів, що складають зображення.

В роботі [2] вказується, що у природоресурсних задачах процедура класифікування пов'язується переважно з такими запитаннями: 1) яке походження (причину виникнення) мають об'єкти, яким чином вони будуть далі розвиватися у часі-просторі? 2) як розшукати об'єкти, що належать певній множині (пошук)? 3) як знайти ефективні способи вивчення та використання певних об'єктів (розвідка)? 4) які зв'язки між різними об'єктами та їхніми характеристиками (будова); 5) до яких наслідків може привести наявність та функціонування (поведінка) певних об'єктів або явищ (прогноз)?

Фактично успіх або невдача виконання процедури класифікування визначає ефективність методики в цілому. Тому далі розглянемо підхід до сертифікації методики класифікування об'єктів дистанційного зондування з використанням аерокосмічних зображень. Прикладами таких об'єктів можуть бути різні лісові покриви, стан рослинності, тип або стан ґрунту тощо.

ПРАВИЛА СЕРТИФІКАЦІЇ МЕТОДИКИ КЛАСИФІКУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Задача класифікування звичайно вирішується у межах ширшої проблеми, і саме остання визначає предметну область з об'єктами, що підлягають класифікуванню, та принципи розбиття об'єктів на

класи. Як відомо [2], задача класифікування об'єктів має рішення, якщо виконуються такі умови: 1) всі об'єкти визначені (описані) таким чином, щоб між ними можна знайти як подібність, так і розбіжності; 2) класифікаційні ознаки, за якими здійснюється розподіл об'єктів по класах, властивості (атрибути) і відношення між об'єктами обов'язково піддаються вимірюванню або спостереженню.

Ці умови повинен виконати постановник задачі класифікування, що передбачає знання ним предметної області та її освоєння. Але необхідно відмітити, що у природоресурсних задачах об'єкти та процеси часто не спостерігаються явно і тому не мають чіткого опису; до того ж знавці даної предметної області часто мають свої особисті, суб'єктивні погляди на об'єкти та їх класифікаційні ознаки, які можуть не збігатися з поглядами інших знавців. Як наслідок, часто рішення, що приймаються щодо об'єктів та їхнього стану, бувають нестійкими.

Факт освоєння предметної області можна фіксувати наступним чином. Нехай A — предметна область, наповнена об'єктами, $B(A)$ — сукупність знавців цієї області. Будемо вважати, що предметна область A освоєна для класифікування, якщо:

1) всі об'єкти a з A належать до одного модельного ряду, для них характерні однакові методики виявлення та дослідження (пошуку та розвідки) і напрямки використання;

2) для всіх b з $B(A)$ визначено універсальну для області A множину об'єктів A_0 , і для кожного об'єкта a з A можна побудувати хоча б один «майже однозначно» інтерпретований усіма b з $B(A)$ текст (список) властивостей (атрибутів) і відношень, спираючись на який, можна «майже точно» відповісти, чи входить a до A чи ні;

3) для всіх b з $B(A)$ для кожного об'єкта a з A можна побудувати хоча б два різних «майже однозначно» інтерпретованих усіма b з $B(A)$ текстів властивостей (атрибутів) і відношень — прямий і побічний. Прямий текст відноситься безпосередньо до об'єкта, побічний — до одного з можливих проявів існування об'єкта або його впливу на деякі фізичні поля;

4) З точки зору всіх b з $B(A)$ об'єктам a з A приписуються тексти приблизно одного рівня деталізації; об'єкти досліджені з однаковою точністю, не розрізняються за ступенем вивчення;

5) Якщо будь-яким двом об'єктам a_k та a_l з області A приписуються деякі імена I_k та I_l , то повинні бути зазначені однозначно інтерпретовані усіма b з $B(A)$ порядок призначення (і, можливо, зміни або успадкування) цих імен та правила розрізнення цих об'єктів у часі-просторі;

б) всі b з $B(A)$ погоджуються у тому, яка за змістом та обсягом допоміжна інформація необхідна і достатня для здійснення класифікування.

Якщо предметна область A освоєна, тоді можна поставити задачу класифікування.

Припустимо, таку задачу поставлено і створено відповідну методику її вирішення. Представимо методику класифікування об'єктів дистанційного зондування з використанням аерокосмічних зображень та додаткових даних у вигляді «чорного ящика» (рис. 4), на вхід якого надходять об'єкти, які підлягають класифікуванню, а на виході формуються результати класифікування.

Тоді за означенням при проведенні сертифікації методики повинні контролюватися на відповідність заданим (або встановленим) вимогам:

- вхідні дані;
- зміст та обсяг допоміжних даних, що використовуються при класифікуванні;
- технічні параметри та характеристики самої методики;
- вихідні дані.

При контролі вхідних іконічних даних перевіряються заявлені авторами-розробниками методики графічні формати зображень, їхні спектральні діапазони, просторова та спектральна роздільність, масштаби, рівень інформаційної обробки зображень, відповідність зображень заявленому рівню викривлень (пошкоджень; завад), наявна кількість зображень тощо.

При контролі допоміжних даних може перевірятися наявна картографічна інформація. Крім того, перевіряється завіркова інформація (кількість та назви класів об'єктів, точність просторової прив'язки об'єктів тощо).

При перевірці технічних параметрів та характеристик методики контролюється відповідність заявленим: апаратне забезпечення, програмне забезпечення (зокрема на наявність ліцензії від розробника), периферійне обладнання (при наявності). Крім того, можуть контролюватися такі показники, як

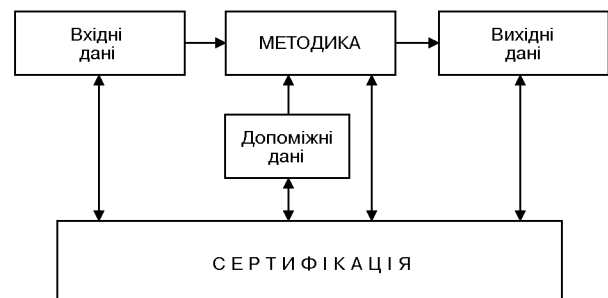


Рис. 4. Представлення методики класифікування об'єктів ДЗЗ у вигляді «чорного ящика»

термін виконання процедури класифікування за допомогою методики, а також відповідність рівня кваліфікації користувача заявленому рівню.

За підсумками контролю вихідних даних встановлюються такі технічні параметри та характеристики методики, як кількість класів, достовірність класифікування, точність визначення координат об'єктів.

При наявності необхідних даних методика може бути атестована по показнику можливого прибутку (ризик), а також по відповідності загальних витрат заданим.

Розглянемо детальніше можливий порядок сертифікації методики за показником достовірності класифікації об'єктів. Будемо базуватися на статистичному підході як найбільш загальному і вважати, що у розпорядженні того, хто проводить сертифікацію, є контрольна вибірка з певного числа об'єктів всіх класів. Тоді оцінити достовірність можна наступним чином. На вхід методики послідовно подаються об'єкти контрольної виборки обсягом N ; у загальному випадку частина їх (наприклад k) класифікується правильно, частина з помилками ($N - k$). Відомо [8], якщо у виборці обсягом N правильно класифікується k об'єктів, тоді розподіл кількості правильно класифікованих об'єктів p описується біноміальним законом з функцією імовірності $\binom{N}{k} p^k (1-p)^{N-k}$, при цьому правильно відкласифікована частина об'єктів і є оцінкою параметра p за максимумом правдоподібності:

$$\hat{p} = k/N.$$

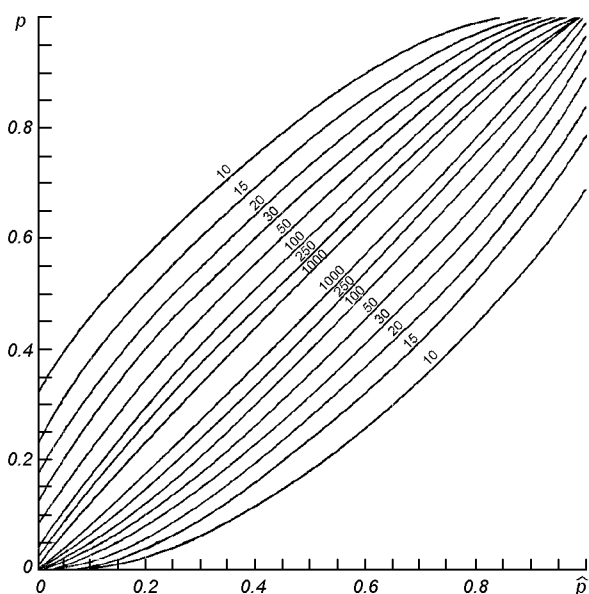


Рис. 5. Довірчі 95 %-ні інтервали для оцінок величини правильної класифікації (числа біля кривих — значення N)

Величина цього параметра може коливатися у межах прийнятого довірчого інтервалу. При сертифікації доцільно задавати 95 %-й довірчий інтервал.

На рис. 5, який запозичено з роботи [19], приведено графіки залежності 95 %-го довірчого інтервалу від \hat{p} і N (число N змінюється від 10 до 1000). Для фіксованого значення \hat{p} імовірність того, що дійсне значення p , розташоване між нижньою і верхньою кривими при заданому числі N елементів вибірки, дорівнює 0.95.

При необхідності за вищезначеною схемою можуть бути оцінені помилки класифікації, зокрема імовірності переплутання класифікації об'єктів різних класів. Якщо L — загальна кількість класів, p_{ij} — одержана при випробуваннях оцінка імовірності того, що об'єкт i -класу класифікується як об'єкт j -класу, тоді можна одержати матрицю

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1L} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{L1} & p_{L2} & \dots & p_{LL} \end{bmatrix},$$

діагональні елементи якої — це імовірності правильної класифікації, а інші елементи матриці суть величини імовірностей переплутання при класифікації.

При сертифікації необхідно перевірити відповідність одержаних ймовірностей класифікації заявленим або нормативним.

Одним з параметрів сертифікації може бути точність визначення просторових координат об'єктів зондування, яку найпростіше оцінювати через середнє квадратичне відхилення (СКВ). При сертифікації перевіряється відповідність значення СКВ, що одержується за результатами випробувань, заявленим значенням СКВ.

І насамкінець, про ще один можливий параметр сертифікації. Як вже вказувалось вище, за основу ефективності методики вирішення тематичних задач ДЗЗ можна покласти економічний критерій. Якщо заявлено витрати методики на здійснення класифікування, то ці витрати можуть стати предметом сертифікації (якщо, безумовно, це можна здійснити).

ОСОБЛИВОСТІ СЕРТИФІКАЦІЇ МЕТОДИК ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

При сертифікації методик прогнозування стану природних ресурсів та навколишнього середовища з використанням аерокосмічних зображень однією з

головних задач є вибір критерію вірогідності прогнозу. Стан об'єкта зондування описується сукупністю деяких параметрів, частина яких може бути кількісними, а інша частина — якісними. Як відомо [16], похибка прогнозу дорівнює різниці фактичного значення і того, що було запрогнозовано:

$$\varepsilon(t_2/t_1) = g(t_2) - \hat{g}(t_2/t_1), \quad (3)$$

де $\hat{g}(t_2/t_1)$ — прогнозоване значення параметра на момент часу t_2 , одержане за інформацією, що відноситься до моменту часу t_1 ; $g(t_2)$ — дійсне значення параметра g на момент часу t_2 ; $\varepsilon(t_2/t_1)$ — похибка прогнозування в момент часу для прогнозу, одержаного за інформацією на момент часу t_1 .

При сертифікації методик прогнозування як прості оцінки похибки можуть бути використані:

1) максимальна похибка за розглядуваний період часу;

2) СКВ похибки прогнозування для розглядуваного періоду часу;

3) коефіцієнт кореляції

$$r = \sqrt{1 - (\sigma_\varepsilon / \sigma_g)^2}, \quad (4)$$

де σ_ε — стандартне відхилення похибки прогнозування; σ_g — стандартне відхилення вимірюваних значень розглядуваного параметра g ;

4) коефіцієнт ефективності

$$\eta = \sqrt{1 - (\sigma_\varepsilon / \sigma_{(t_1+\Delta t)})^2}, \quad (5)$$

де $\sigma_{(t_1+\Delta t)}$ — стандартне відхилення «інерційного прогнозу» значень розглядуваного параметра g на момент часу $t_1 + \Delta t$; визначення «інерційного прогнозу» $\sigma_{(t_1+\Delta t)}$ та правила його обчислення наведено, наприклад, в роботі [3].

Критерії (3), (4) можуть розглядатись як оцінки похибки прогнозу «першого наближення». Критерій (5) є найбільш строгим критерієм якості прогнозу, при цьому точними вважаються прогнози з $\eta \geq 0.85$, прийнятними — прогнози з $0.6 < \eta < 0.85$.

У випадках визначення (опису) прогнозованого стану об'єкта зондування якісними параметрами ефективність методики повинна оцінюватися економічними показниками, зокрема потенційними збитками [14]. При цьому можна використати критерій на основі принципу мінімуму витрат.

1. Вилкас Э. Й., Майминас Е. З. Решения: Теория, информация, моделирование. — М.: Радио и связь, 1981.—С. 26—27.
2. Воронин Ю. А. Теория классифицирования и ее приложения. — Новосибирск: Наука, 1985.—С. 16—21.

3. Дакштейн Л., Амбрус Ш., Дейвис Д. Р. Требования к разработке прогнозов как средства управления гидрологическими и гидрогеологическими системами // Гидрогеологическое прогнозирование: Пер. с англ. / Под ред. М. Г. Андерсона и Т. П. Берта. — М.: Мир, 1988.—С. 696—698.
4. ДСТУ 1.0-93. Державна система стандартизації України.— Чинний від 01.01.94.
5. ДСТУ-2462-94. Сертифікація. Основні поняття. Терміни та визначення.—Чинний від 01.01.95.
6. ДСТУ-3413-96. Система сертифікації УкрСЕПРО. Порядок проведення сертифікації продукції.—Чинний від 01.04.97.
7. ДСТУ-3415-96. Система сертифікації УкрСЕПРО. Реєстр системи.—Чинний від 01.04.97.
8. Дуда Р., Харг П. Распознавание образов и анализ сцен. — М.: Мир, 1976.—С. 86—88.
9. Киенко Ю. П. Основы космического природоведения. — М.: Картогеоцентр-Геодиздат, 1999.—285 с.
10. Классификатор тематических задач оценки природных ресурсов и окружающей среды, решаемых с использованием материалов дистанционного зондирования Земли. Редакция 6. — Иркутск — Москва: ИТЦ СканЭкс, 2002.—52 с.
11. КНД 50-029-94 (Керівний нормативний документ Держкомстандарту). Атестація технологічних процесів виготовлення виробів. Основні поняття.—Чинний від 01.03.95.
12. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии. — М.: Мир, 1988.—343 с.
13. Лялько В. І. Сучасний стан космічного землезнавства і перспективи його розвитку // Нові методи в аерокосмічному землезнавстві. — К.: НАН України, 1999.—С. 6—18.
14. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. — М.: Мир, 1990.—208 с.
15. Попов М. О. Сучасні погляди на інтерпретацію даних аерокосмічного дистанційного зондування Землі // Космічна наука і технологія.—2002.—8, № 2/3.—С. 110—115.
16. Рабочая книга по прогнозированию // Отв. ред. И. В. Бестужев. — М.: Мысль, 1982.—430 с.
17. Словник з дистанційного зондування Землі // Під ред. В. І. Лялько та М. О. Попова. — К.: СМП «АВЕРС», 2004.—170 с.
18. Юрлов Ф. Ф. Технично-экономическая эффективность сложных радиоэлектронных систем. — М.: Сов. радио, 1980.—280 с.
19. Highleyman W. H. The design and analysis of pattern recognition experiments // Bell System Technical J.—1962.—41.—P. 723—744.

RULES AND PROCEDURE OF THE TECHNIQUE CERTIFICATION USING THE REMOTE SENSING DATA FOR THE SOLUTION OF THEMATIC PROBLEMS

M. A. Popov, T. V. Tsymbal

The work is dedicated to an actual problem of the substantiation of conditions of objective matching of the different techniques using the remote sensing data, which will be used for the solution nature protection and environmental problems. The rules and procedure of certification of a technique of classification of remote sensing objects with usage of the aerospace maps are offered. The features of certification of forecasting techniques of a condition of natural resources and environments with usage of the aerospace maps are reviewed.