

УДК 502:330.15

В. В. Макаренко, О. А. Колодяжний

Інститут космічних досліджень Національної академії наук України та Національного космічного агентства України, Київ

Геопросторовий аналіз картографічних даних та інформації ДЗЗ для відслідкування змін та прогнозування зсувонебезпечності

Показані переваги сумісного використання технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та географічних інформаційних систем (ГІС), а також засобів моделювання для дослідження складних процесів в навколишньому природному середовищі, запобігання надзвичайних ситуацій природного характеру та ін. Відпрацьований повний технологічний цикл від обробки даних ДЗЗ та проведення геопросторового та багатокритеріального аналізу до публікації тематичної просторово-розподіленої інформації на прикладі Закарпаття. Космічні знімки та архівні топографічні карти використані для відслідкування змін в земному покриві та аналізу можливого впливу їх на розвиток зсувних процесів. На основі оцінки стану зсувів та факторів впливу на їхній розвиток побудована карта зсувонебезпечності Закарпаття та визначено напрямки подальших робіт.

Небезпечні природні явища, до яких належать повені, зсуви та ін. займають значне місце у науково-прикладному використанні даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). До основних задач тут відносяться питання організації спостережень, оцінки стану, прогнозування та управління. Основні переваги використання засобів та методів ДЗЗ такі [5].

1. Можливість отримання об'єктивних, постійно поновлюваних даних, які можуть використовуватись для широкого кола задач.

2. Можливість проведення зйомок великих територій швидко та з необхідною періодичністю.

3. Усуваються проблеми важкодоступності досліджуваних територій.

4. Знімки надають просторову перспективу, якої немає у наземних спостереженнях.

5. Швидше та дешевше отримання та інтерпретація інформації, ніж при наземних обстеженнях.

Дані ДЗЗ використовуються безпосередньо для інтерпретації та розробки застосувань, створення тематичних карт та поновлення наявних, а також в географічних інформаційних системах (ГІС) разом з необхідними наземними даними і засобами

моделювання для вирішення тематичних задач, а також засобами розповсюдження для інформування органів управління, громадськості тощо.

До основних характеристик ГІС можна віднести [4]:

- на відміну від можливих інших інформаційних систем — це комп'ютерні системи;
- ГІС може оперувати будь-якою інформацією про географічно прив'язані об'єкти;
- ГІС встановлює просторовий взаємозв'язок між різнобічними даними, отриманими з різних джерел;
- вміщує широке коло функцій аналізу.

Застосування математичних методів і моделей зумовлене широкою різноманітністю і складністю задач, пов'язаних з небезпечними природними явищами, великими об'ємами інформації, часто неповної і не завжди достовірної, різноманітними потребами потенційних користувачів.

При виборі математичних моделей необхідно виходити з принципів [1]:

1. З усіх моделей, які описують процес, повинна бути вибрана найпростіша, адекватна повноті і достовірності наявної інформації.

2. Моделі вибираються під процеси, а не навпаки.

При розробці моделей необхідно враховувати їхню еволюційність, тобто вони повинні змінюватися у відповідності до збільшення інформації про систему. Також може змінюватися необхідний рівень точності опису системи моделлю.

Після великих паводків у Закарпатті в листопаді 1998 р. та березні 2001 р., катастрофічної активізації повенево-зсувних та селевих процесів карпатська тематика викликає постійний інтерес. Виконано та започатковано велику кількість програм і проектів, у тому числі міжнародних. На жаль відсутність повної та достовірної інформації про земний покрив і фактори впливу на розвиток надзвичайних ситуацій, а також про їхні довготермінові зміни значно ускладнюють прогнозування, особливо на регіональному або басейновому рівні.

У 2001 р. на замовлення Мінекоресурсів та РНБО України спеціалістами Інституту космічних досліджень (ІКД) НАНУ—НКАУ та Українського центру менеджменту Землі і ресурсів (УЦМЗР) виконувались роботи по вивченню змін лісового покриву в Закарпатті та можливого впливу на розвиток зсувів [2]. Була визнана необхідність визначення можливостей поширення часових рамок щодо змін лісового покриву, залучення до аналізу додаткових факторів впливу на розвиток зсувних процесів та подання результатів для забезпечення широкого доступу до них. Роботи в цих напрямках були продовжені в ІКД НАНУ—НКАУ.

Метою даної роботи було визнано розробку та тестування на прикладі Закарпаття методики сумісного використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), сучасних та архівних топографічних карт, засобів географічних інформаційних систем (ГІС) та математичного моделювання для відслідкування змін в земному покриві, вивчення факторів впливу та прогнозування розвитку зсувних процесів.

В результаті аналізу архівних карт була встановлена наявність паперових карт різних частин Закарпаття за періоди 1930—1940-х, 1950—1960-х та 1970-х років. Карти тестової ділянки Закарпаття з великою кількістю зсувів поблизу м. Рахів були відскановані та геоприв'язані по сучасній цифровій топографічній карті масштабу 1 : 200 000. Створені тематичні шари території, вкритих лісом на 1944, 1961 та 1976 рр. Сучасні карти лісового покриву були отримані на основі обробки знімків космічного апарата «Landsat» за 1988 та 2000 рр.

З рис. 1 видно, що велика кількість зсувів виникла в місцях змін лісового покриву. Слід відмітити, що цього фактора, навіть з урахуванням кутів схилів, явно недостатньо для прогнозування зсуво-небезпечності. Карта, побудована на основі ураху-

вання цих факторів, коли зсувонебезпечними вважалися ділянки з кутами схилів, більшими ніж 15° для обезлісених схилів і понад 30° для вкритих лісом, показала велику розбіжність з реальним розташуванням зсувів. Разом з тим застосування засобів ГІС дозволило визначити розподіли лісового покриву, вирубок та поновлення лісів за висотами, в межах річкових басейнів тощо. Це має велике значення для робіт з лісовпорядкування та визначення несанкціонованих вирубок.

До факторів впливу на розвиток зсувних процесів можна віднести:

- наявність або відсутність лісового покриву;
- висота ділянки;
- крутизна схилу;
- типи ґрунтів;
- розподіл опадів на певні періоди часу;
- віддаленість від населених пунктів;
- віддаленість від доріг та ліній комунікацій;
- віддаленість від водних об'єктів.

На розвиток зсувного процесу впливає також вологість ґрунту, значення якої дуже змінюється як в просторі, так і в часі. Тут у нагоді можуть бути дані аерокосмічних спостережень, але для врахування як фактора впливу необхідні інтегральні показники на основі ряду постійних спостережень, яких зараз немає. Разом з тим вплив змін вологості частково може бути врахований в інших факторах при експертних оцінках.

Стадії багатокритеріального аналізу з використанням можливостей ГІС представлені на рис. 2. Був застосований метод експертних оцінок (метод парних порівнянь Сааті) [3] для визначення вагових коефіцієнтів (ординальних оцінок) факторів впливу на зсувні процеси. Шляхом порівняння альтернатив, в загальному випадку з усіма іншими з даного набору, були визначені елементи матриці порівнянь. Елемент матриці — це відповідне число, яке визначає результат порівняння альтернатив відносно критерію.

Відносні ваги розраховувались як результат обробки матриці порівнянь. Для розрахунку віднос-

Відносні ваги факторів впливу на зсувні процеси Закарпаття

Альтернатива	Фактор впливу	Оцінки експертів	Ваги
A1	Висота	4	0.0870
A2	Крутизна схилу	8	0.1739
A3	Відстань від н/п	6	0.1304
A4	Відстань від доріг	4	0.0870
A5	Відстань від водного об'єкта	6	0.1304
A6	Тип ґрунту	5	0.1087
A7	Кількість опадів	5	0.1087
A8	Ліс	8	0.1739

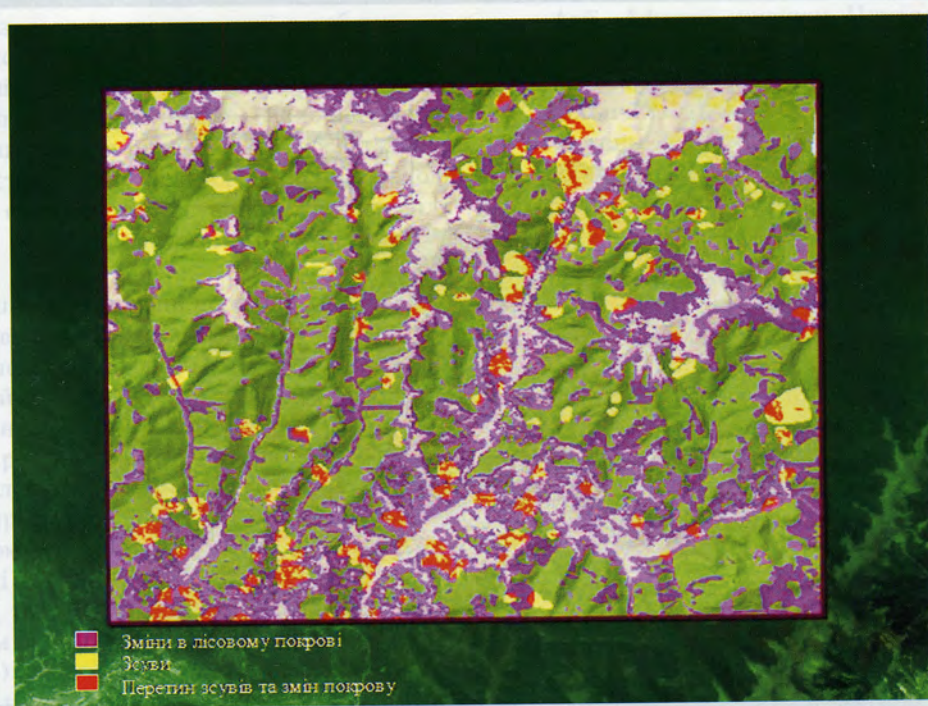


Рис. 1. Зміни лісового покриву за 1944–2000 рр. і розповсюдження зсувів

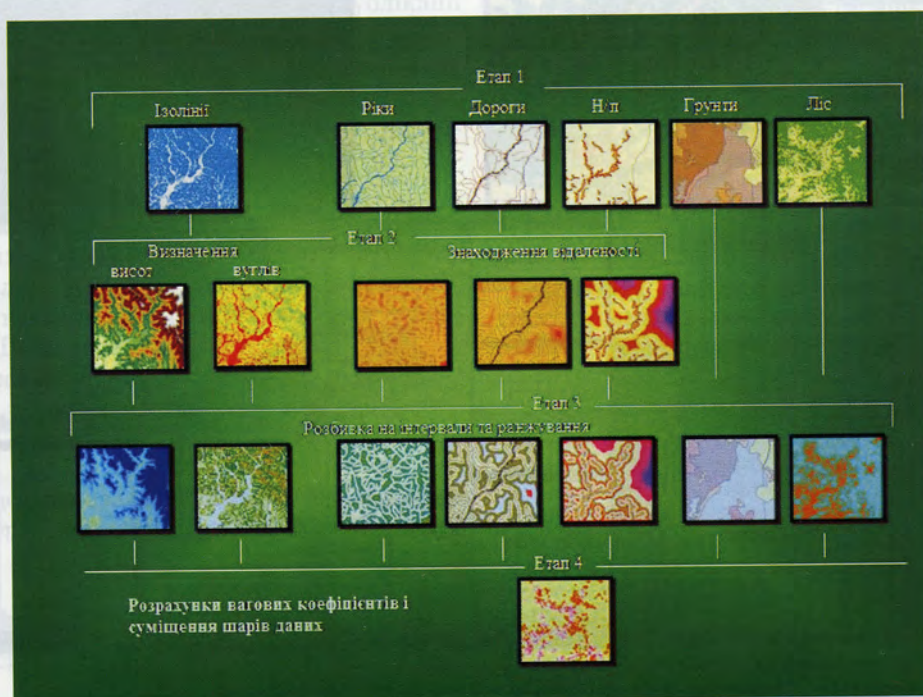


Рис. 2. Етапи багатокритеріального дослідження

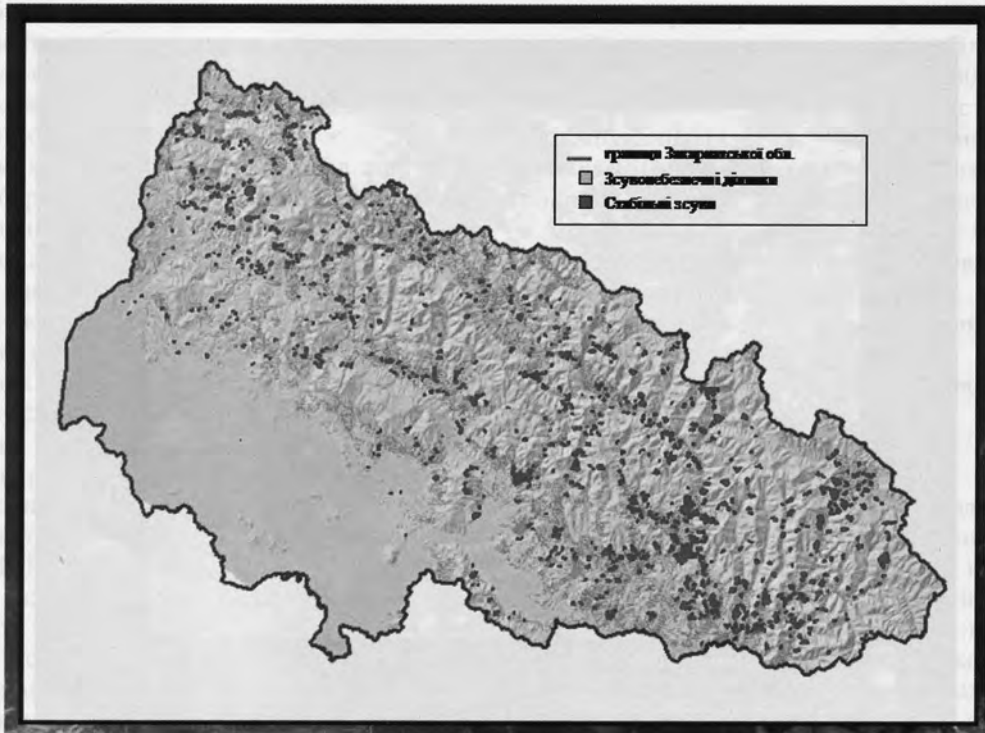


Рис. 3. Аналіз зіставлення прогнозованих зсувонебезпечних ділянок з реальним розташуванням зсувів



Рис. 4. Об'єднання вихідних даних та результатів робіт з використанням програмного забезпечення Dynamic Atlas

них коефіцієнтів був використаний метод суми стовпчиків. Результати представлені в таблиці.

На рис. 3 показано карту зсувонебезпечності в Закарпатті. Слід відмітити досить добру кореляцію прогнозних ділянок з розподілом наявних зсувів. Особливо важливим для продовження досліджень, а також для застосування певних захисних заходів на місцевості, є виявлення зсувонебезпечних ділянок, на яких зсуви в даний момент не відбуваються.

Для подальших досліджень необхідно включити в число факторів впливу динаміку змін лісового покриву на основі наведеного підходу, який був відпрацьований на частині Закарпаття, і побудувати відповідні інформаційні шари для цього регіону.

Особливого розгляду потребує вивчення можливого впливу глобальних змін клімату на розвиток небезпечних природних явищ в Закарпатті. Окремі нароби в цьому напрямку існують, але необхідні більш системні дослідження.

Вихідні дані та результати робіт були об'єднані з використанням програмного забезпечення Dynamic Atlas (рис. 4), що надає можливість широкого використання та розповсюдження їх на CD та через інтернет.

Тут слід відмітити, що сучасні досягнення в області програмного забезпечення дозволяють перехід на новий рівень представлення інформації (звіти, атласи, тощо), для якої суттєве значення має просторова розподіленість даних, в цифровому вигляді. До узагальнених вимог щодо публікації інформації можна віднести:

- максимальне відображення основних положень атласу, електронного звіту тощо у вигляді карт, таблиць, діаграм, фото, а також тексту, приєднаних до географічних об'єктів (річка, населений пункт тощо);
- можливість пошуку та відображення на карті шарів даних, географічних об'єктів, пов'язаних з ними таблиць даних та додаткової інформації;
- забезпечення широкого розповсюдження інформації на CD та через інтернет.
- Аналіз переваг та недоліків різних підходів до публікації та розповсюдження просторово-розподілених даних (використання відомих комерційних ПС та картографічних серверів інтернет тощо) показав перспективність використання програмного забезпечення (ПЗ) Dynamic Atlas.

ПЗ Dynamic Atlas:

- Створене SKE Inc. на замовлення Організації з продовольства та сільського господарства (FAO) при ООН.
- Разом із створеними різнобічними тематичними

сховищами даних ПЗ широко впроваджується в Азії, Африці, країнах Центральної та Східної Європи

- Міжнародні організації ООН з використання космічного простору глобальна система спостережень Землі (GTOS) та ін. рекомендують ПЗ для використання, в тому числі шляхом організації навчання та постачання.

ПЗ широко використовується в ІКД НАНУ-НКАУ та організаціях-партнерах по спільних роботах. На його основі створено атлас Закарпаття, підготовлені електронні версії Національної доповіді України (спеціальне видання) до П'ятої Паневропейської конференції та Зведеної доповіді ПРООН-ГЕФ про екологічний стан басейну Дніпра. Окремі компоненти ПЗ використовуються при створенні Української мережі аерокосмічних спостережень Землі (УМАКС).

Автори висловлюють щире подяку окремим особам (Є. О. Яковлев, Ю. М. Штепа, І. В. Макаренко) та організаціям (Український центр менеджменту землі і ресурсів, Укрліспроєкт, ін.) за сприяння роботи та надання вихідних даних.

1. Гидрогеологическое прогнозирование: Пер. с англ. / Под ред. М. Г. Андерса, Т. П. Берта. — М.: Мир, 1988.—736 с.
2. Колодяжний О. А., Макаренко І. В., Штепа Ю. М., Яковлев С. О. Дослідження змін лісового покриву та можливого впливу на небезпечні природні явища в Закарпатті // Тези Першої української конф. з перспективних космічних досліджень. — Київ, 2001.—С. 103—104.
3. Тоценко В. Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. — Киев: Наук. думка, 2002.—248 с.
4. Lillesand T. M., Kiefer R. W. Remote sensing and image interpretation. — New York: John Wiley & Sons, 1994.—750 p.
5. Sabins F. F. Remote sensing: principles and interpretation. — New York: W. H. Freeman and Company, 1997.—494 p.

GEOSPATIAL ANALYSIS OF MAPS AND REMOTE SENSING INFORMATION FOR CHANGE DETECTIONS AND PREDICTIONS OF LANDSLIDE SAFETY

V. Makarenko, O. Kolodiaznyi

Some advantages of joint use of remote sensing (RS) technologies, geographical information systems (GIS) and simulation tools for investigation of complicated processes in the environment, natural hazard management etc. are presented. The whole cycle from RS data processing, geospatial and multicriterial analysis up to thematic spatial information publication are implemented for Carpathian region as an example. Space images and archive topographical maps are used for detection of changes in land use and for analysis of their possible impact on landslide processes development. A map of landslide emergencies of Carpathian region are prepared on the basis of landslides state and impact factors assessments as well as lines of further work are identified.