

УДК 528.88

Л. І. Самойленко¹, Л. М. Колос¹, Л. В. Підгородецька¹, Т. В. Ільєнко¹, О. В. Власова²

¹Інститут космічних досліджень Національної академії наук України
і Національного космічного агентства України, Київ

²Інститут гідротехніки і меліорації УААН, Київ

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ ПОВЕНЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ДЗЗ

Запропоновано технологію діагностики, картографування та визначення площ зон затоплення при повенях з використанням даних дистанційного зондування Землі TERRA/MODIS і ГІС-технологій. Застосування розробленої технології проілюстровано оцінкою зон затоплення Самбірського району Львівської області, що утворилися під час повені у липні 2008 р.

Останнє десятиріччя в Україні відзначається різким збільшенням катастрофічних повеней (закарпатські повені 1998—1999, 2001, 2005 рр., весняна повінь на р. Прип'ять 1999 р., масштабна повінь в західних областях 2008 р.) і пов'язаних з ними соціальних та економічних втрат. Однією з основних причин цього стихійного лиха вважають безконтрольну вирубку лісів. Зокрема, українські Карпати за останні 40 років втратили значну частину свого лісового покриву, і не здатні утримувати вологу. Вода швидко стікає в долини, створюючи масштабні екологічні біди. В Україні повені можуть виникати під час весняних заплавних розливів на річках та при довготривалих літніх зливах. Такі стихійні лиха не можна повністю відвернути, однак їхній вплив можна послабити, локалізувати і при своєчасному попередженні звести до мінімуму матеріальні втрати. Цього можна досягти за допомогою оперативного моніторингу і прогнозування паводкової ситуації, будівництва та зміцнення водозахисних дамб, своєчасного оповіщення про можливість і масштаби повені.

Для інформаційного забезпечення проблеми необхідним є залучення великих обсягів різно-рідних даних з різних джерел, їхня оперативна

обробка, аналіз і представлення у вигляді, що забезпечує підтримку прийняття управлінських рішень в умовах обмеженого часу. При цьому традиційні наземні методи збору даних не відповідають сучасним вимогам і не забезпечують необхідну ефективність контролю та управління паводковою ситуацією. Істотно підвищити якість інформаційного забезпечення дозволяє використання даних космічної зйомки та технологічних можливостей географічних інформаційних систем (ГІС). Застосування методів дистанційного зондування Землі надає можливість регулярного відстеження стану територій, забезпечує широку оглядовість, повторюваність, високу оперативність одержання інформації. Застосування програмно-математичного інструментарію ГІС дозволяє проводити збір, інтеграцію та автоматизовану обробку просторових даних (аерокосмічних, гідрологічних, картографічних), здійснювати аналіз і моделювання географічних об'єктів, відображати результати з їхньою візуалізацією. За допомогою ДЗЗ- і ГІС-технологій можна контролювати масштаби повеней, одержувати оперативний прогноз зон затоплення, вирішувати задачі вибору місця розташування захисних споруд. Застосування комп'ютерних алгоритмів обробки даних робить можливим автоматичне визначення межі води і суші та площ затоплених земель.

© Л. І. САМОЙЛЕНКО, Л. М. КОЛОС, Л. В. ПІДГОРОДЕЦЬКА,
Т. В. ІЛЬЄНКО, О. В. ВЛАСОВА, 2009

Теоретико-методичну базу розв'язання завдань космічного моніторингу надзвичайних ситуацій гідрологічного характеру з використанням супутникових даних в оптичному і радіодіапазонах спектру представлено в роботах [2, 8, 5, 3, 6]. Серед прикладних робіт можна виділити: датську систему прогнозування паводків MIKE 11, яка дає можливість прогнозувати дату початку паводка та за допомогою цифрової моделі рельєфу встановлювати зони, що можуть бути затоплені [http://www.volgaltd.ru/files/software/MIKE%2011_total.pdf?PHPSESSID=aec19289e93a088ef1f4a478cac3fabe]; комп'ютерну технологію моделювання зон затоплення та захисних гідротехнічних заходів при загрозі прориву дамб із застосуванням ГІС ArcInfo та програмного пакету з обробки космічних знімків «Erdas Imagine» [1]; інформаційний комплекс з оцінки зон затоплення [4]; ГІС-системи, описані в роботах [7, 9].

Викладена нижче технологія супутникового моніторингу затоплень будується на основі систематизації та узагальнення досвіду, дозволяє діагностувати затоплені території, будувати їхні картографічні моделі, виконувати оперативний розрахунок характеристик зон затоплення. Для розвитку робіт планується створення методики прогнозування та попередження паводкової небезпеки за допомогою просторового моделювання руху паводкової хвилі, що надасть можливість прослідкувати зміни паводкової ситуації, оцінити ефективність водоохоронних споруд, час добігання хвилі до різних населених пунктів.

МЕТОДОЛОГІЧНА СХЕМА ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ПОВЕНЕЙ

Комплексне дослідження паводкової ситуації передбачає використання супутникових даних різного просторового розрізнення та картографічних матеріалів відповідних масштабів. Такий підхід дозволяє прослідкувати характерні процеси проходження паводку на різних рівнях охоплення — глобальному, регіональному або локальному. Космічні знімки високого просторового розрізнення дають можливість проводити детальне вивчення стану кожної окремої зо-

ни затоплення чи підтоплення, уточнювати положення на місцевості межі суша — паводкова вода у масштабах адміністративного району, конкретизувати затоплені об'єкти. Супутникові зображення середнього та низького просторового розрізнення можуть застосовуватися в задачах регіонального рівня та дозволяють здійснювати гідрологічний моніторинг великих територій, оцінювати фактори, що впливають на формування високих повеней, визначати межі та площі затоплень, аналізувати їхні наслідки.

Для моніторингу повеней на регіональному рівні найбільш прийнятними за ціною та інформативними характеристиками є зображення радіометра MODIS KA TERRA (геометричне розрізнення приблизно 250 м). Широка смуга огляду MODIS (2200 км) дозволяє отримувати знімки досліджуваної території з високою періодичністю (два-чотири рази на добу). При цьому дані зйомок можна досить оперативно отримати через систему LAADS Web (Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System — архівації та розповсюдження даних першого рівня обробки і атмосферних даних). Крім цього, дані MODIS калібровані, що дозволяє в ході їхньої обробки перераховувати яскравість зображення у відбивну здатність (альbedo) та виконувати процедуру порогової класифікації об'єктів підстильної поверхні один раз для серії знімків.

Центральною задачею діагностики затоплень за супутниковим знімком є проведення процедури класифікації для виділення на зображенні областей, що відповідають класам спостережуваних об'єктів (суша, вода). Згідно з уявленнями про формування зображень акваторій основним критерієм для розділення класів об'єктів є значення альbedo у червоному та інфрачервоному діапазонах спектру. Як відомо, на космічних знімках в оптичному діапазоні яскравість власного теплового випромінювання ґрунту рівномірно зменшується при збільшенні його вологості, що пов'язано з поглинанням випромінювання у характерних для води смугах поглинання. В оптичному діапазоні альbedo поверхневих вод досить низьке. Тому на космічних знімках затоплені території можуть розпізнаватися за темними тонами, місцями їхнього розташування

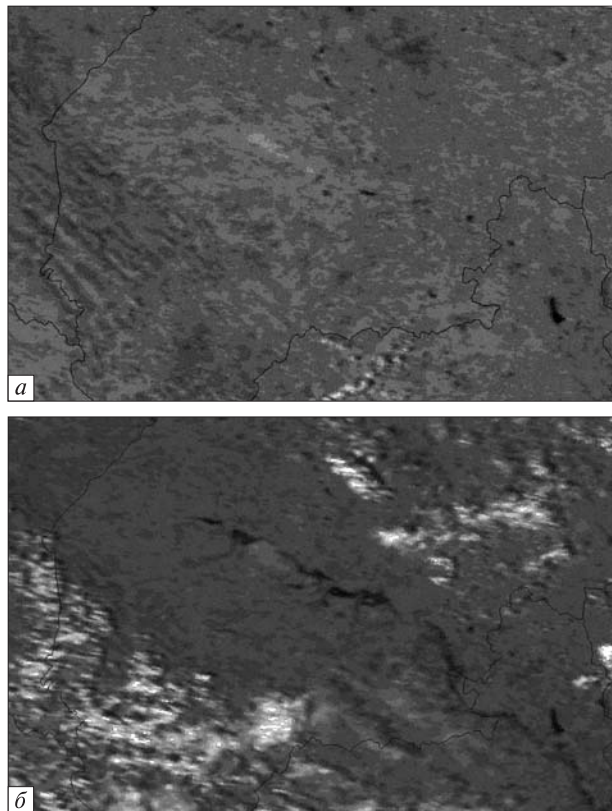


Рис. 1. Знімки MODIS/TERRA території Львівської області: *a* — до повені 12 липня 2008 р., *б* — під час повені 28 липня 2008 р.

(подові пониження) та характерною геометрією таких зон. При цьому у ближньому інфрачервоному діапазоні відбивна здатність води нижча, ніж у червоному.

Далі процедура тематичної інтерпретації зображення виконується на основі використання безрозмірного показника *NDVI* — нормалізованого диференціального вегетаційного індексу, що обчислюється за формулою

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

де *NIR* і *RED* — коефіцієнти відбиття у ближній інфрачервоній і у червоній області спектру.

Значення *NDVI* для води від'ємні, а для переволоженого ґрунту — близькі до нуля. Індекс *NDVI* — один із найбільш розповсюджених і надійних індексів, що використовується для розв'язання задач класифікації. Він розраховується

з використанням показників відбиття в найбільш перешкодостійких діапазонах спектру. Використання нормалізованої різниці між мінімумом і максимумом відбиттів збільшує точність вимірювань, дозволяє зменшити вплив таких явищ, як різниця в освітленості знімка, хмарності, серпанку, поглинання радіації атмосферою тощо. Похибки, внесені погодними умовами, можуть бути частково компенсовані також за рахунок використання композитних зображень. Індекс *NDVI* можна визначати для знімків будь-якого просторового розрізнення.

При розробці технології діагностики та оцінки затоплень використовувались такі вхідні дані:

- знімки MODIS першого рівня обробки (вони можуть бути отримані з високою оперативністю);
- растрова топографічна карта місцевості масштабу 1:100 000;
- завірочні дані для оцінки зон затоплення на тестових ділянках (архівні та оперативні).

За даними MODIS в I та II спектральних каналах провадиться обробка знімків і синтезування зображень досліджуваного району. Результати обробки знімків поєднуються з растровою топографічною картою відповідного масштабу для уточнення положення спостережуваних об'єктів та обчислення площ затоплених територій. Розрахунок площ затоплень проводиться на основі зіставлення зі знімком у доповодковий період шляхом накладання зображень та оверлейного аналізу. Реалізація цих процедур здійснювалася із застосуванням стандартного пакету ERDAS IMAGINE 8.3 та ArcView GIS 8.3. Кінцевим результатом роботи є електронна карта зони затоплення та розрахункові аналітичні матеріали. Для виготовлення кінцевого картографічного продукту використовувався програмний пакет ArcView GIS 8.3.

Запропонована технологія діагностики, картографування та визначення площ зон затоплення включає такі етапи:

- отримання та вибір космічних зображень територій; при виборі знімку потрібно враховувати умови хмарності, яка створює значні перешкоди для реєстрації власного та відбитого сонячного випромінювання підстильної поверхні;

- імпорт фрагмента космічного знімка, необхідного для аналізу затопленої території, у форматі .hdf і його перетворення в заданий формат (.tif, .img тощо);
- попередня обробка фрагментів, радіометрична корекція, геокодування, геометрична корекція;
- тематична обробка зображення шляхом виконання процедур неконтрольованої класифікації та класифікації з використанням *NDVI*;
- ідентифікація класів затоплених ділянок заплави та оцінка масштабу затоплень шляхом порівняння зображення із знімком, зробленим в доповодковий період;
- підрахунок площ затоплення за допомогою побудови маски затоплень;
- підготовка картографічного матеріалу на оброблювану територію, створення растрової електронної версії карти;
- накладання результатів обробки космічного знімка на карту;
- оформлення динамічних електронних карт і аналітичних матеріалів у вигляді таблиць, графіків тощо з розрахунком площ затоплених територій.

ПРИКЛАД ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН ЗАТОПЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЗНІМКІВ MODIS/TERRA

Розроблена технологічна схема використовувалась для оцінки масштабів повені, що відбулася у липні — серпні 2008 р. у Львівській, Закарпатській, Івано-Франківській, Чернівецькій, Тернопільській та Вінницькій областях України. У зв'язку з випаданням 22—26 липня 2008 р. сильних дощів (188—232 мм, що становить 148—184 % місячної норми) на території гірських районів Львівської області сформувався і пройшов висоководний дощовий паводок на ріках басейну Дністра і Стрия.

Для оцінки масштабів повені було взято ряд знімків MODIS/TERRA. Після їхнього аналізу було відібрано вісім знімків постраждалої території, отриманих у безхмарних умовах 27, 28, 30 липня (два знімки) та 1, 3 і 4 серпня.

Для зіставлення із ситуацією в доповодковий період було відібрано безхмарний знімок MODIS/TERRA за 12 липня 2008 р. всієї території За-

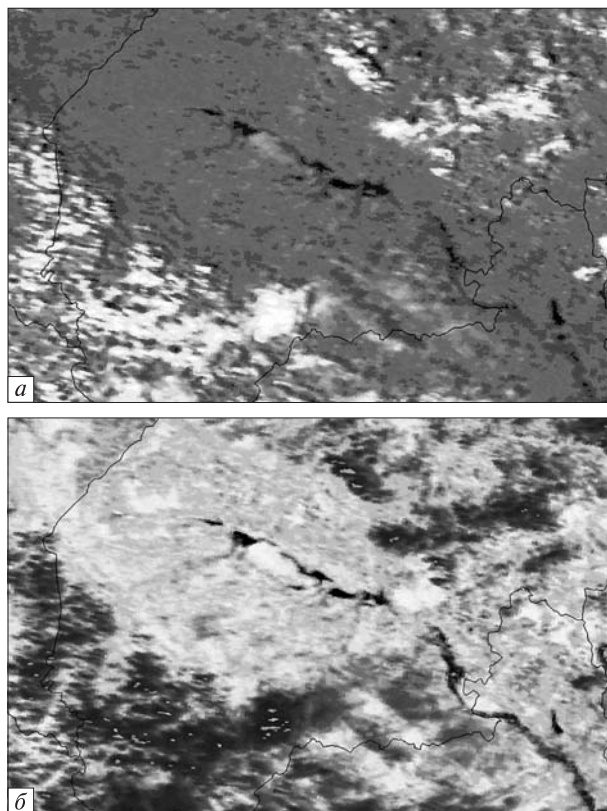


Рис. 2. Результати обробки знімка MODIS/TERRA території Львівської області 28 липня 2008 р.: *a* — тематична обробка, *б* — розподіл *NDVI*

хідної України. Усі вхідні дані, що використовувалися для аналізу, збиралися з різних джерел, тому необхідним було переведення їх в єдину картографічну проекцію та єдину систему координат. Це дало можливість накласти їх один на одного та сумістити, щоб визначити, які об'єкти вміщують, перекривають або перетинають один одного.

На рис. 1 наведено фрагменти знімків території Львівської області басейну річки Дністер в доповодковий період 12 липня 2008 р. та під час паводку (28 серпня 2008 р.). Для тематичної обробки знімків використовували I (0.620—0.670 мкм) та II (0.841—0.876 мкм) спектральні канали MODIS. Для виділення водних об'єктів на знімках було проведено неконтрольовану класифікацію, а також класифікацію з використанням індекса *NDVI*. На рис. 2, *a* представлено

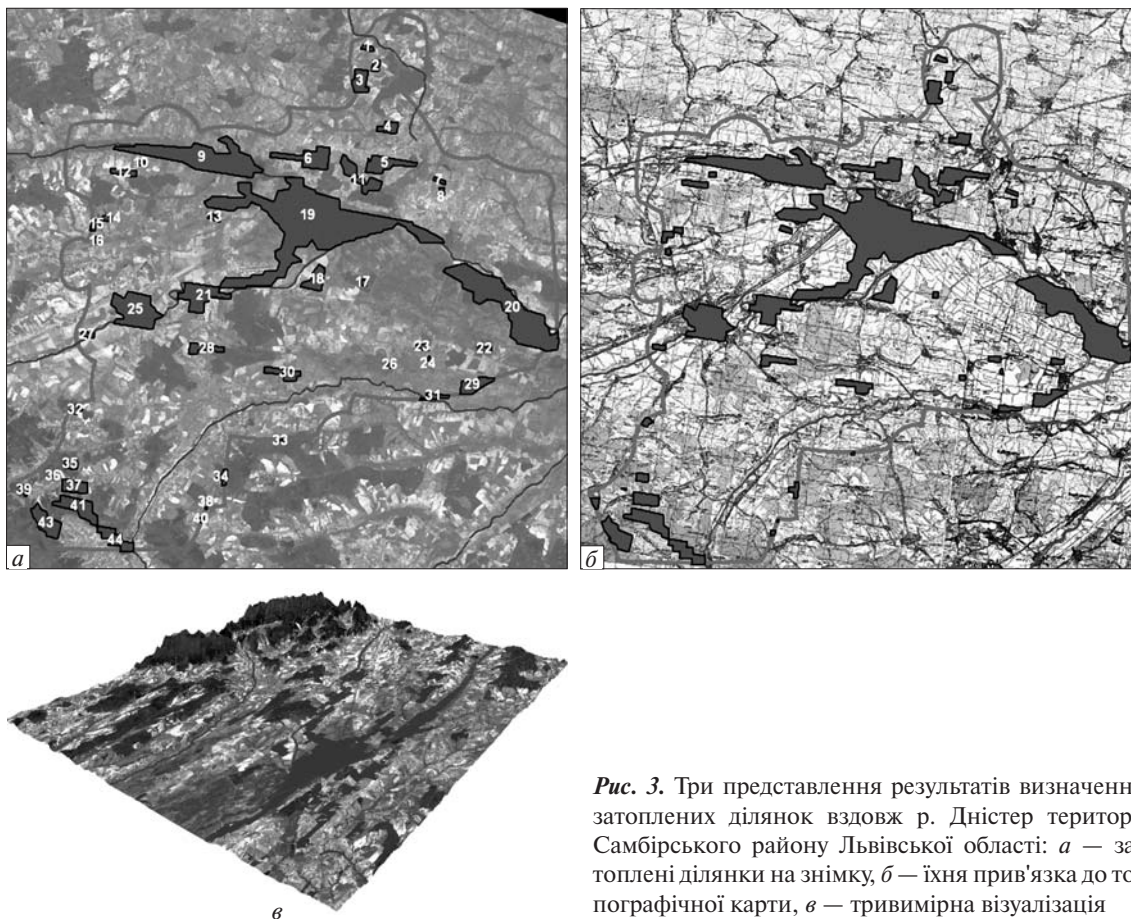


Рис. 3. Три представлення результатів визначення затоплених ділянок вздовж р. Дністер території Самбірського району Львівської області: а — затоплені ділянки на знімку, б — їхня прив'язка до топографічної карти, в — тривимірна візуалізація

результати некерованої класифікації фрагмента знімка території Львівської області басейну річки Дністер за 28 липня, а на рис. 2, б — фрагмент розподілу *NDVI* за результатами обробки

цього знімка. За результатами використання завіркових даних на тестовій ділянці було віддано перевагу способу класифікації за допомогою *NDVI*, що забезпечило більш надійний поділ

Площі затоплених ділянок Самбірського району Львівської області станом на 28 липня 2008 р.

Номер затопленої ділянки	Площа, га	Номер затопленої ділянки	Площа, га	Номер затопленої ділянки	Площа, га	Номер затопленої ділянки	Площа, га
1	40.924	12	112	23	56	34	72
2	64	13	50.464	24	10.748	35	84
3	243.099	14	40	25	972.148	36	8.017
4	144	15	72	26	24	37	224
5	379.732	16	24	27	56	38	4
6	536	17	24	28	192	39	53.86
7	40.358	18	254.499	29	245.807	40	20
8	36	19	5568.345	30	216	41	443.603
9	1856.41	20	2327.674	31	91.937	42	4
10	32	21	624	32	50.717	43	383.794
11	385.878	22	56	33	8	44	323.03

класів об'єктів і відділення русла ріки від затоплених ділянок заплави.

Картографічний розрахунок площ затоплених територій здійснювався з використанням програмно-математичних засобів професійного пакету ArcGIS. Результати класифікації зон затоплень по космічних зображеннях накладалися на прив'язану в ArcView GIS топографічну карту.

На рис. 3 представлено результати визначення ділянок затоплень басейну річки Дністер за 28 серпня 2008 р. (рис. 3, а), накладені на топокарти Самбірського району Львівської області (рис. 3, б). Тривимірну візуалізацію результату наведено на рис. 3, в. В таблиці наведено розраховані площі затоплених ділянок зазначеного району (пронумеровані на рис. 3, а). Загальна площа затоплених територій Самбірського району склала близько 16455 га, тобто 17.6 % всієї площі району. Зіставлення різночасових оброблених супутникових зображень (12, 28 липня, 4 серпня) дозволило прослідкувати динаміку проходження паводку по річці Дністер.

ВИСНОВКИ

Описана технологія дозволяє вирішувати такі задачі: оперативну діагностику зон затоплення, підрахунок затоплених площ, оцінювання наслідків затоплень. Використання серії супутникових знімків з прийнятним розрізненням дає можливість відслідковувати характер і динаміку паводкового процесу. Застосування розробленої технології дозволить підвищити рівень забезпечення відповідальних осіб оперативною та достовірною просторово-часовою інформацією для оцінки масштабів повеней та планування заходів щодо зменшення їхніх негативних наслідків.

1. *Вишнева І. А.* Адаптація технології моделювання зон затоплення на прикладі катастрофічного наводнення в Хатукайській долині // Тр. Ін-та прикладної геофиз. — 2006. — Вып. 85. — С. 124—132. — (50 лет Института прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова).
2. *Вишнева І. А.* Технологія оцінки зон затоплення при паводках на основі космічних знімків висо-

кого розрешення // Тр. Ін-та прикладної геофиз. — 2004. — Вып. 82. — С. 186—191. — (Проблемы гелиогеофизики и охраны окружающей среды).

3. *Греков Л. Д., Красовский Г. Я., Тимохин В. М., Перминова С. Ю.* Перспективы практического применения технологий космического мониторинга подтопления земель // Экология і ресурси. — 2006. — № 15. — С. 69—82.
4. *Ишук О. О., Серединин Е. С.* Прогнозування й оцінка наслідків екстремальних повеневих ситуацій засобами просторового аналізу ГІС // Вісник геодезії та картографії. — 2000. — № 2 (17). — С. 37—42.
5. *Костюченко Ю. В., Юценко М. В., Білоус Ю. Г.* Інтерпретація багатоспектральних даних, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями. Багатоспектральні методи ДЗЗ в задачах природокористування. — Київ: Наук. думка, 2006. — 357 с.
6. *Кусуль Н. Н., Шелестов А. Ю., Скакун С. В.* Нейросетевой метод мониторинга затопленных территорий с использованием радиолокационных спектральных данных // Космічні дослідження в Україні : Сб. ст. — Київ : КИТ, 2008. — 116 с.
7. *Лукьянчикова О. Г., Васильчиков Ф. Ю., Ульяновина Л. К.* Геоинформационная система гидрологического назначения в Самарской области // ArcReview (Современные геоинформационные системы). — 2006. — № 1. — С. 10—11.
8. *Пермитина Л. И., Волков А. М., Новикова Н. Н., Бекренев О. В.* Методика космического мониторинга наводнений с использованием данных различного разрешения с российских и зарубежных космических аппаратов // Солнечно-земная физика. — 2004. — Вып. 5. — С. 15—17.
9. *Снивак Л. Ф., Архипкин О. П. и др.* Технология мониторинга паводков и наводнений в Западном Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Тр. Всерос. конф. — 2003. — С. 279—285.

Надійшла до редакції 01.04.09

*L. I. Samoilenko, L. M. Kolos,
L. V. Pidgorodetska, T. V. Iliencko, O. V. Vlasova*

INFORMATION TECHNOLOGY OF FLOOD MONITORING WITH THE USE OF REMOTE SENSING DATA

We propose a technology for diagnostics, mapping and estimation of the square of flooded areas using remote sensing data from TERRA/MODIS and GIS technologies. As an illustration the proposed technology was applied to estimate the flooded areas of the Sambir district of the Lviv region in July 2008.