

УДК 004.7

## Оценка риска наводнений на основе разнородных геопространственных данных

Скакун С.В.

Институт космических исследований НАНУ-НКАУ  
serhiy.skakun@ikd.kiev.ua

### Abstract

**Skakun S. Application of Geospatial Data to Flood Risk Assessment.** This paper focuses on flood risk assessment using a set of heterogenous geospatial data. This approach is based on the statistical learning theory and the use of ensemble of classifiers for detection of density probability of hazardous event. This approach is used for flood risk assessment for the territory of Namibia within Sensor Web for Namibian Pilot project on integrated flood management and water related vector borne disease modelling.

### Введение

На сегодняшний день количество опасных гидрометеорологических явлений, к которым относятся наводнения и оползни (вызванные значительными осадками), постоянно возрастает [1]. При этом важной задачей является предоставление цифровых карт и геопространственных данных для принятия решений в рамках всего цикла развития стихийного бедствия. А это включает построение карт рисков, демонстрирующих вероятность наступления события и ущерб, который может быть им причинен.

Данная задача является одной из основных в рамках международного проекта "Sensor Web for Namibian Pilot project on integrated flood management and water related vector borne disease modelling". Этот проект является совместной инициативой UN-SPIDER, NASA, NOAA, DLR и ИКИ НАНУ-НКАУ и направлен на интегрированное использование спутниковых данных, наземных измерений и данных моделирования для мониторинга и прогнозирования наводнений, а также соответствующих рисков для стран Африки (рис. 1). Кроме того, в рамках проекта решаются задачи, связанные с моделированием и прогнозированием распространения заболеваний, связанных с водой.

В данной статье рассматриваются вопросы использования разнородной информации для оценки риска затоплений в Намибии.

### Задача оценки рисков на основе разнородной геопространственной информации и метод ее решения

Совокупным ожидаемым риском последствий стихийного бедствия (совокупными

ожидаемыми потерями) в области  $A$  назовем величину

$$R_A = \iint_A r(x, y) dx dy \quad (1)$$

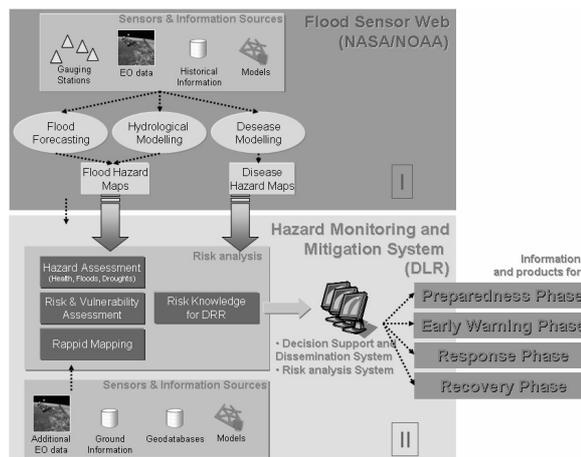


Рисунок 1 – Общая архитектура системы Sensor Web for Namibian Pilot Project

где  $r(x, y)$  - индивидуальный ожидаемый риск последствий стихийного бедствия  $z$  (индивидуальные ожидаемые потери) в точке  $(x, y)$ , вычисляемый как математическое ожидание функции ущерба  $h_{xy}(z)$  последствий в позиции  $(x, y)$

$$r(x, y) = \int_0^{\infty} h_{xy}(z) p_{xy}(z) dz, \quad (2)$$

где  $p_{xy}(z)$  — плотность распределения вероятности стихийного бедствия  $z$  в точке  $(x, y)$ , оцениваемая на основе совместного анализа разнородных геопространственных данных. Плотность распределения вероятности

стихийного бедствия  $p_{xy}(z)$  определяется различными факторами окружающей среды и метеорологическими условиями. Для восстановления плотности распределения вероятности  $p_{xy}(z)$  можно использовать хорошо разработанные в статистической теории обучения [2, 3, 4] метод минимизации эмпирического функционала в проблеме минимизации среднего риска.

Для оценки вероятности риска стихийного бедствия необходимо анализировать (классифицировать) информацию, поступающую из различных источников с различным временным и пространственным разрешением. Для совместного анализа такой информации применяются методы и технологии слияния данных (data fusion) [5]. Необходимо подчеркнуть, что плотность вероятности стихийного бедствия должна оцениваться на основе слияния преимущественно не сырых данных, а информации более высоких уровней обработки [6]. Для оценивания плотности вероятности стихийного бедствия  $p_{xy}(z)$  предлагается следующая обобщенная схема (рис. 1).

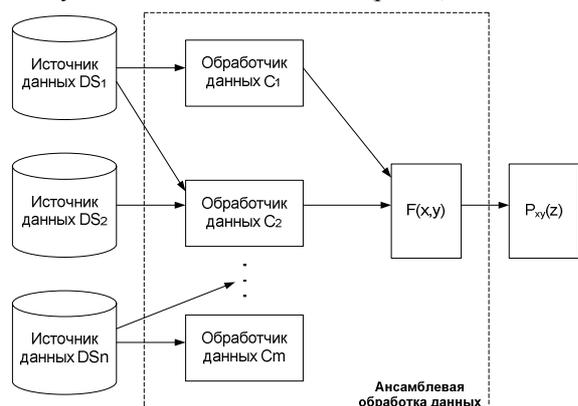


Рисунок 2 – Схема оценивания плотности распределения вероятности стихийного бедствия  $p_{xy}(z)$  на основе разнородной информации

На рис. 1 блоки  $DS_i, i=1, \dots, n$  представляют различные источники данных — спутниковые данные, данные наземных сенсоров и данные моделирования. Блоки  $C_i, i=1, \dots, m$  обеспечивают обработку данных и получение информации более высокого уровня. В общем случае число блоков обработки не равно количеству источников данных  $n$  ( $m \neq n$ ), поскольку данные из одного источника могут обрабатываться разными обработчиками и, в то же время, один обработчик может анализировать данные из разных источников одновременно. То есть слияние данных происходит уже на стадии их преобразования обработчиками. Вид преобразования в каждом из блоков  $C_i, i=1, \dots, m$  определяется типом входных данных. Например, спутниковые данные проходят несколько уровней

предварительной обработки (перепроектирование, геопривязка, коррекция и т.д.), а затем подлежат так называемой «тематической» обработке. Будем иметь в виду, что каждый из обработчиков  $C_i, i=1, \dots, m$  может обеспечивать несколько уровней преобразования входных данных, но для ясности при дальнейшем изложении явно не будем выделять эти уровни.

### Оценка риска затопления в Намибии на основе разнородной геопространственной информации

Для оценки риска затоплений для Намибии в рамках совместного проекта платформы ООН UN-SPIDER, NASA, DLR, NOAA и Института космических исследований НАНУ-НКАУ используются следующие разнородные источники данных (рис. 3):

- спутниковые данные: радиолокационные: Envisat/ASAR; оптические: EO-1, MODIS (Terra и Aqua); TRMM;
- данные моделирования: метеорологические данные (численная модель прогнозирования погоды); гидрологические данные (водосборный бассейн);
- наземные данные: уровень осадков и сток;
- статистические данные: статистические данные о наводнениях за прошлые годы.

Рассмотрим подробнее эти наборы данных и приведем их примеры.

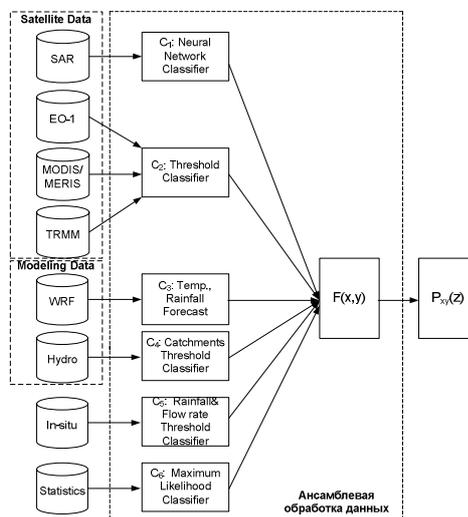


Рисунок 3 — Схема определения вероятности затопления для территории Намибии

**Картографирование наводнений с использованием спутниковых данных.** Для создания карт затоплений используются как радиолокационные, так и оптические спутниковые данные. Преимущество использования данных, полученных в микроволновом диапазоне электро-магнитного излучения, состоит в независимости от

погодних умов, в частині облачного покриву. Для створення маски затоплень використовуються інтелектуальні вичислення [7, 8, 9]. На сьогоднішній день доступними для обробки являються наступні дані:

Envisat/ASAR (в рамках гранта Європейського космічного агентства): середнє просторове розрешення (150 м), продукти обробки поставляються в течение 24 ч. після отримання даних; високе просторове розрешення (30 м): продукти поставляються по запитові

RADARSAT-2 (по запитові в рамках Міжнародної Хартії "Space and Major Disasters" або Робочої групи по надзвичайним ситуаціям комітету GEO): високе просторове розрешення (від 3 до 30 м).

В разі відсутності облачного додатково використовуються наступні оптичні дані:

Envisat/MERIS: середнє просторове розрешення (300 м);

Terra і Aqua/MODIS: середнє просторове розрешення (250 м – 1 км);

NASA EO-1: високе просторове розрешення (30 м).

Продукти обробки поставляються в форматах KML (для візуалізації в Google Earth), GeoTiff, WMS і др. Приклади представлені на рис. 4.

Для моніторингу рівня опадів використовуються вимірювання, отримані в рамках спільної місії NASA і JAXA Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Приклад надаваних даних показано на рис. 5.



Рисунок 4 – Карта затоплень для регіону Катима-Мулило (Намбія), отримана на основі даних Envisat/ASAR, 03.03.2010

**Метеорологічні дані.** Для метеорологічного прогнозування використовується чисельна модель прогнозування погоди WRF (см. рис. 6). Спеціалісти ІКІ НАНУ-НКАУ мають значительний досвід налаштування, адаптації і використання даної

моделі для території України. Для території Намібії дана модель була запущена в тестовому режимі. Просторове розрешення становить 30 км (може бути покращено до 1 км з використанням технології вкладених сіток). Для початкових умов використовуються дані глобальної моделі GFS. Прогнози надаються кожні 3 години.

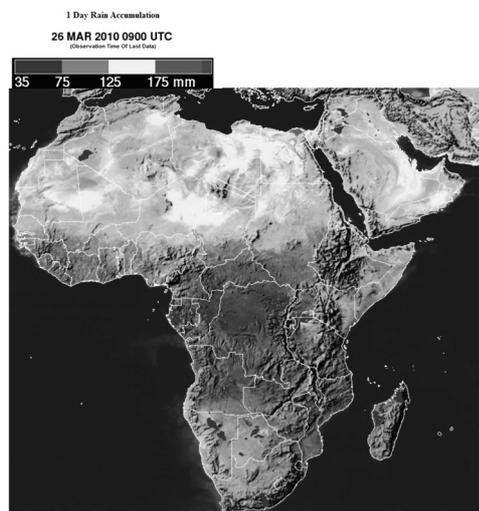


Рисунок 5 – Вимірювання TRMM

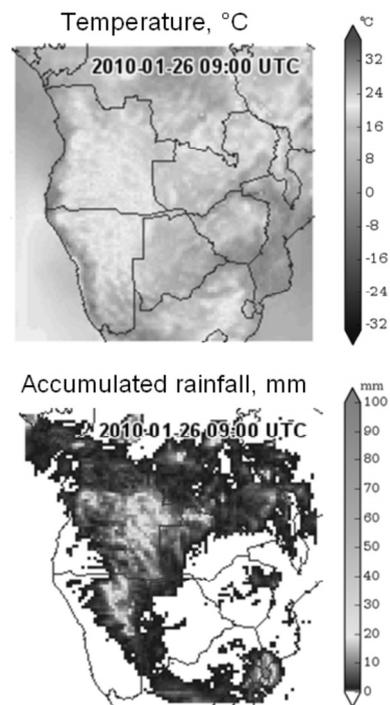


Рисунок 6 – Результати роботи моделі WRF: прогноз температури (вгорі); прогноз опадів (внизу)

Інформація про водозбірному басейні річок надається підрозділами Міністерства по сільському господарству, водним ресурсам і лісному господарству Намібії (рис. 7). Крім того,

для кожного басейна надаються текущі та архівні значення рівня осадків (рис. 8) та стока (рис. 9). Ці архівні дані, наряду з супутниковими вимірами використовуються для побудови статистичних моделей для прогнозування наводнень та оцінки ризиків.

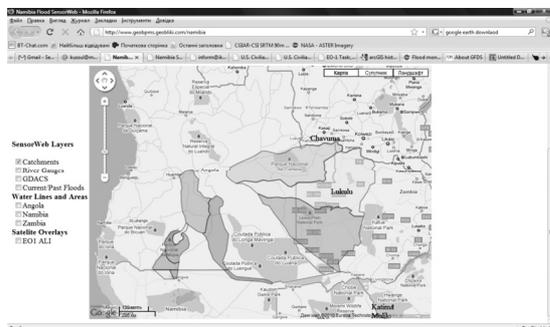


Рисунок 7 – Водосборний басейн

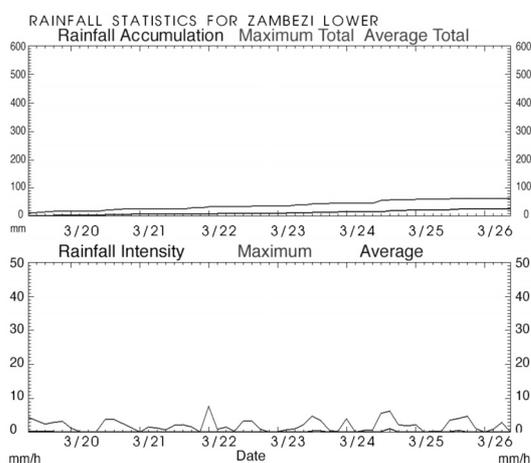


Рисунок 8 – Вимірювання рівня осадків

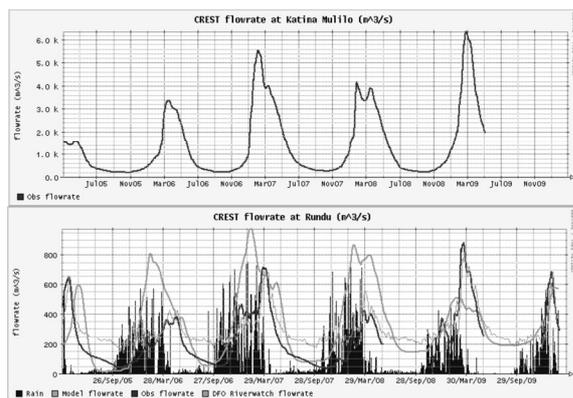


Рисунок 9 – Наземні вимірювання стоку

**Статистичні дані.** Дані, отримані пристроєм MODIS, який встановлений на супутниках Aqua та Terra, використовуються для статистичного аналізу карт затоплень за різні роки. Дані карти доступні з 1999 року та надаються центром

Dartmouth Flood Observatory. Приклад продукту обробки даних MODIS представлений на рис. 10.

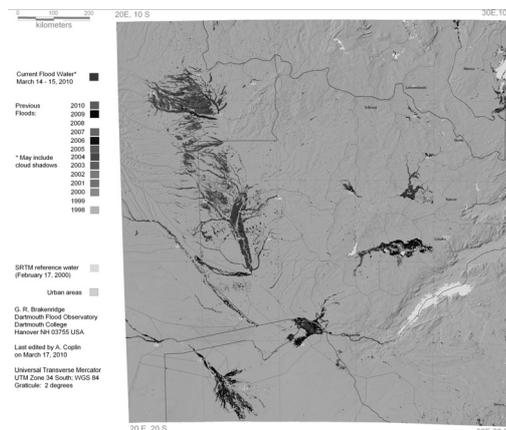


Рисунок 10 – Зміна маски затоплень в різні роки

Для глобального детектування наводнень використовуються система [15], розроблювана в центрі JRC (Joint Research Center) Європейської комісії. Для цього використовуються дані, отримані мікрохвильовим скануючим радіометром AMSR-E, який встановлений на супутнику Aqua. Приклади продуктів представлено на рис. 11.

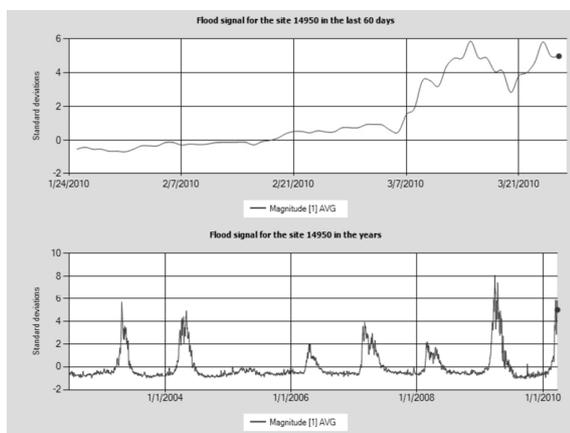


Рисунок 11 – Зміна рівня затоплень на різних часових інтервалах

Роботи по створенню системи оцінки ризиків на основі рознородної геостранственої інформації виконуються в рамках міжнародного пілотного проекту «Sensor Web Project for Flood Monitoring in Namibia», виконаного по ініціативі програми UN-SPIDER ведучими космічними агентствами: NASA, NOAA, DLR при участі Інституту космічних досліджень НАНУ-НКАУ. Web-інтерфейс пілотної версії розроблюваної системи представлений на рис. 12.

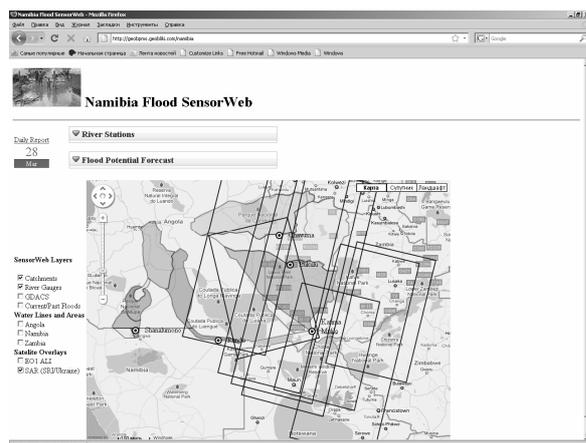


Рисунок 12 – Web-інтерфейс пілотної версії системи моніторинга паводков для Намібії

## Заключення

В роботі пропонується єдиний підхід до оцінювання ризиків, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями природного характеру на основі рознородної геопросторової інформації. Підхід базується на використанні статистичної теорії навчання і передбачає використання ансамбля класифікаторів для визначення щільності ймовірності стихійного бедствия. Перевагою запропонованого підходу є більш висока точність визначення ризику при використанні оптимальної складності моделі. В подальшому цей підхід планується розвивати для оцінки конкретних категорій ризику: фінансового, соціального, економічного і т.д.

## Література

1. Scheuren J-M., le Polain de Waroux O., Below R., Guha-Sapir D., Ponserre S. Annual Disaster Statistical Review – The Number and Trends 2007 // Center for Research of the Epidemiology of Disasters (CRED), Jacoffsaet Printers, Melin, Belgium. — 2008.
2. Vapnik V. - Statistical Learning Theory. New York: Wiley, 1998.
3. Haykin S. Neural Networks. A comprehensive Foundation. — New Jersey: Prentice Hall, 1
4. Bishop C.M. Pattern Recognition and Machine Learning. - New York: Springer Science+Business Media, 2006. – 738 p.
5. Mitchell H.B. Multi-sensor Data Fusion – An Introduction. – Springer-Verlag, Berlin, 2007.
6. Das S. High-Level Data Fusion. – Artech House Publishers, Norwood, MA, 2008.
7. Скакун С.В. Нейросетевой метод картографирования паводков на основе спутниковых изображений // Научные труды ДонНТУ серия "Информатика, кибернетика и вычислительная техника". 2009. - Вып. 10(153). - С. 115-120.
8. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Intelligent Computations for Flood Monitoring// International Book Series "Advanced Research in Artificial Intelligence" (ed. Markov K., Ivanova K., Mitov I.), 2008, number 2, pp.48-54.
9. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Grid System for Flood Extent Extraction from Satellite Images // Earth Science Informatics. - 2008. - 1(3-4). - P. 105-117.

Поступила в редакцию 30.03.2010