

УДК 004.932, 528.854

С.В. Скакун, канд. техн. наук, зав. лаб.,  
Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України  
serhiy.skakun@ikd.kiev.ua

## Оцінювання ризику посух за супутниковими даними

*В даній роботі розглядається задача оцінювання ризику посух сільськогосподарських (с/г) культур за супутниковими даними. Для визначення ймовірності настання посух запропоновано використовувати методи теорії екстремальних величин для оброблення числових рядів супутникових даних. Запропоновано підхід до оцінювання збитків, завданих посухами, який зводиться до задачі оцінювання функції пошкодження с/г культур внаслідок посухи, оцінювання (прогнозування) врожайності с/г культур і ідентифікації та оцінювання площ с/г культур. Розроблений підхід застосовано для кількісного аналізу ризику надзвичайних посух та економічних збитків на прикладі для Київської області.*

**Ключеві слова:** ризик, посухи, супутникові дані, сільське господарство.

### Вступ

Зміни клімату стають причиною численних надзвичайних ситуацій (паводків, посух, пожеж тощо), які приносять значний збиток економікам окремих країн і цілих регіонів. Гідрометеорологічні надзвичайні ситуації, такі як повені та посухи, становлять значну їх частку (більше 50%) [1]. В останні роки все більше уваги приділяється оцінюванню ризиків надзвичайних ситуацій (НС) з залученням геопросторових даних різної природи, в тому числі супутникових даних [2,3, 4, 5, 6]. Перевагою використання супутникових даних для розв'язання цієї задачі є можливість отримання даних для великих та важкодоступних територій, повторюваність та неперервність вимірів (на відміну від точкових наземних спостережень), наявність значних архівів даних за значний проміжок часу.

В математичному сенсі ризик є функцією від ймовірності настання несприятливої ситуації та можливих збитків від неї [3, 7, 8, 9]. Відповідно, для аналізу ризику посух сільськогосподарських (с/г) культур необхідно визначити ймовірність настання посухи та оцінити збитки. Традиційний підхід до оцінювання ймовірності посух полягає в аналізі числових рядів опадів, температури і вологості ґрунтів, отриманих з метеостанцій, з використанням теорії екстремальних величин [10]. Це дає змогу дослідити розподіли екстремальних величин і на їх основі визначити ймовірність. В Україні наявна мережа з 180 метеорологічних станцій, що відповідає щільності однієї станції на 3225 км<sup>2</sup>. В свою чергу, супутникові прилади дозволяють отримати дані з кращим просторовим розрізненням. Крім того, на сьогодні наявні значні архіви супутникових даних (починаючи з 1980-х років), що дає змогу отримувати статистично значимі оцінки. Супутникові дані можуть використовуватися як для оцінювання

ймовірності (частоти) посухи, так і для оцінювання збитків, завданих посухами [3].

В даній роботі запропоновано узагальнений підхід до оцінювання ризику посух за супутниковими даними. Для визначення ймовірності настання посух запропоновано використовувати методи теорії екстремальних величин для оброблення числових рядів супутникових даних. Запропоновано підхід до оцінювання збитків, завданих посухами, який зводиться до задачі оцінювання функції пошкодження с/г культур внаслідок посухи, оцінювання (прогнозування) врожайності с/г культур і ідентифікації та оцінювання площ с/г культур.

### Загальний підхід до оцінювання ризику посух

Для оцінки ризику посух с/г культур необхідно визначити ймовірність настання несприятливої події (посух) та очікуваний збиток. В даній роботі розглядаються так звані с/г посухи, які є результатом нестачі опадів та достатньої вологості ґрунту, що призводить до пошкодження або загибелі с/г культур. Крім того, будемо розглядати економічні збитки, пов'язані з втратою врожаю і, відповідно, доходів внаслідок посухи. Для визначення ймовірності посух необхідно визначити параметри, які впливають на посухи та, відповідно, ймовірність значень цих параметрів, що відповідають посухам. Різна інтенсивність посух буде призводити до різного рівня збитків. Тому при моделюванні різних сценаріїв (з різною ймовірністю) необхідно також визначити ступінь пошкодження с/г культур внаслідок посухи. Для визначення збитків необхідно ідентифікувати області з різними с/г культурами, очікуваний валовий збір та вартість. Для оцінки валового збору необхідно оцінити площі посівних територій та врожайність. Таким чином, для деякої області  $A$  ризик посух с/г культур становитиме:

$$r(A, l) = p(A, l) \sum_k d_k(A, l) y_k(A) s_k(A) v_k, \quad (1)$$

де  $p(A, l)$  — ймовірність настання посухи з рівнем  $l$  в області  $A$ ;  $d_k(A, l)$  — втрати врожаю (або пошкодження) с/г культури  $k$  внаслідок посух з рівнем  $l$  ( $d_k(A, l) \in [0; 1]$ );  $y_k(A)$  — очікувана (прогнозована) врожайність с/г культури  $k$  (ц/га);  $s_k(A)$  — площа посівних територій с/г культури  $k$  в області  $A$  (га);  $v_k$  — вартість с/г культури  $k$  (грн/ц).

Дамо деякі пояснення до формули (1). Під рівнем посухи  $l$  будемо розуміти інтенсивність посухи. Це може бути, наприклад, період повторюваності посухи, виражений у місяцях або роках. Чим вищий рівень посухи  $l$ , тим сильніша посуха і, відповідно, тим вище значення функції пошкодження врожаю  $d_k(A, l)$ . Значення функції  $d_k(A, l)$  залежить від рівня посухи  $l$  і, в загальному випадку, є специфічним для конкретної культури  $k$  і області  $A$ . Це пов'язано з тим, що різні культури мають різну здатність протистояти посухам, і в різних регіонах можуть застосовуватися різні агротехнології, а також зрошення.

Таким чином, задача оцінювання ризику посух для с/г культур розбивається на наступні підзадачі:

- визначення ймовірності посух (з різним рівнем  $l$ );
- оцінювання функції пошкодження сільськогосподарських культур  $d_k(A, l)$  внаслідок посухи;
- оцінювання (прогнозування) врожайності сільськогосподарських культур [11];
- ідентифікація та оцінювання площ сільськогосподарських культур [12, 13].

Варто відзначити, що специфіка кожної задачі вимагає використання різних супутникових даних. Наприклад, для визначення ймовірності посух важливим є наявність довгострокових рядів супутникових даних для отримання статистично значимих оцінок. На сьогоднішній день, такі ряди існують лише для даних з низьким просторовим розрізненням (не менше 1 км). В свою чергу, для оцінювання врожайності та посівних площ сільськогосподарських культур необхідно використовувати супутникові дані з середнім і високим просторовим розрізненням (менше 1 км). Також при обробці супутникових даних необхідно враховувати геопросторовий характер, що вимагає адаптації існуючих моделей і методів. Наприклад, при оцінці площ посівних територій елементом статистичної вибірки виступає сегмент (квадрат деякого розміру), в межах якого обчислюються пропорції сільськогосподарських культур [14–17]. Іншим прикладом є використання двовимірних регресій для інтерполяції значень по точковим спостереженням для всієї території.

## Визначення ймовірності посух за супутниковими даними

**Визначення ймовірності посух за наземними спостереженнями. Класифікація посух.** Для визначення ймовірності посух традиційно використовують виміри опадів та вологості ґрунту на метеорологічних станціях, а також елементи теорії екстремальних величин (extreme value theory — EVT [18]) для визначення ймовірнісних характеристики екстремальних величин. В якості таких параметрів часто використовують індекси, наприклад стандартизований індекс опадів (Standardized Precipitation Index — SPI [19, 20]) або індекс посух Палмера (Palmer drought index — PDI [20–22]). На основі цих індексів розроблена стандартизована класифікація інтенсивності посух (droughtmonitor.unl.edu/classify.htm), яка наведена в табл. 1.

Перевагою використання даних з метеорологічних станцій є наявність даних за значний проміжок часу (50–100 років), а ось недоліком — просторовий масштаб (розрізнення). Наприклад, в Україні існує мережа з 180 метеорологічних станцій, що приблизно складає 1 станцію на 3353 км<sup>2</sup>. Це не дає можливості оцінювати ризику посух в достатньому масштабі (на рівні адміністративних районів, господарств або окремих полів). Більш точна (в просторовому масштабі) інформація є надзвичайно важливою для державних та місцевих органів влади і страхових компаній для ідентифікації територій, що постраждали від посух, та оцінки збитків внаслідок природного лиха.

В свою чергу, за останні роки накопичені більш ніж тридцятирічні архіви супутникових даних з кращим просторовим розрізненням, ніж можуть надавати спостереження метеорологічних станцій. Наприклад, дані приладу AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), що встановлений на серії супутників NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) доступні з 1981 року по теперішній час з просторовим розрізненням не гірше 16 км (тобто одне спостереження на 256 км<sup>2</sup>, що на порядок краще за розрізнення метеорологічних станцій).

**Використання даних спостереження Землі з космосу для ідентифікації та моніторингу посух.** Для моніторингу стану рослинності та посух за даними спостереження Землі з космосу зроблено значну кількість так званих вегетаційних індексів.

Таблиця 1. Класифікація інтенсивності посух

Категорія	Назва	Потенційний вплив	Індекс PDI	Індекс SPI
D0	Аномальна посуха	Короткострокова посуха. Незначний вплив, що сповільнює розвиток вегетації.	[-1,0; -1,9]	[-0,5; -0,7]
D1	Помірна посуха	Незначні пошкодження вегетації, але без значних втрат врожаю.	[-2,0; -2,9]	[-0,8; -1,2]
D2	Значна посуха	Висока ймовірність втрат врожаю.	[-3,0; -3,9]	[-1,3; -1,5]
D3	Екстремальна посуха	Значні втрати врожаю.	[-4,0; -4,9]	[-1,6; -1,9]
D4	Надзвичайна посуха	Надзвичайна ситуація, що охопила значні території. Значні (або повністю) втрати врожаю.	-5,0 або менше	-2,0 або менше

Найбільш популярним є нормалізований різницевий вегетаційний індекс NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) [23], який заснований на властивостях рослинності у червоному та інфрачервоному діапазоні електромагнітного випромінювання. Так, «здорова» рослинність поглинає випромінювання в червоному діапазоні за рахунок наявності хлорофілу і відбиває випромінювання в інфрачервоному за рахунок внутрішньої структури листя та наявності води. Індекс NDVI розраховується за наступною формулою:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED), \quad (2)$$

де *NIR* та *RED* — коефіцієнт відбиття у інфрачервоному та червоному діапазоні електромагнітного випромінювання, відповідно.

Однак, моніторинг посух лише за індексом NDVI не є достатнім. Важливим є термальні (температурні) характеристики вегетації [24]. Тому більш ефективним індексом для моніторингу та аналізу посух є застосування індексу здоров'я рослинності VHI (Vegetation Health Index), який запропоновано Ф. Коганом [25, 26]. Індекс VHI є комбінацією індексу VCI (Vegetation Condition Index), який розраховується на основі індексу NDVI (2), та індексу TCI (Temperature Condition Index), який розраховується на основі яркісної температури поверхні Землі. Індекси VCI, TCI і VHI відповідають, відповідно, за вологість, термальні характеристики та загальний стан рослинності [24]. Індекс VHI нормований від 0 (найбільший стрес вегетації) до 100 (найбільш сприятливі умови для розвитку рослинності).

Іншою перевагою використання індексу VHI є його відповідність до класифікації інтенсивності посух, наведеною у табл. 1. Ці значення представлено у табл. 2.

Таблиця 2. Відповідність значень індексу до класифікації інтенсивності посух

Категорія	Назва	Індекс VHI
D0	Аномальна посуха	[36; 40]
D1	Помірна посуха	[26; 35]
D2	Значна посуха	[16; 25]
D3	Екстремальна посуха	[6; 15]
D4	Надзвичайна посуха	[0; 5]

Таким чином, індекс VHI вибрано в якості основного параметра для визначення ймовірності посух.

**Моделювання екстремальних подій з використанням моделі Poisson-GP (Generalized Pareto).** Для визначення ймовірнісних характеристик посух пропонується використати модель Poisson-GP [18, 27]: процес Пуассона для моделювання «надходження» екстремальних значень (в нашому випадку індексу VHI) та узагальнений розподіл Парето для моделювання величин, що перевищують деякий заданий поріг:

$$F(x; \sigma, \gamma) = 1 - [1 + \gamma(x/\sigma)]^{-1/\gamma}, \quad (3)$$

де *F* — функція розподілу GP;  $\sigma$  і  $\gamma$  — параметри розподілу GP.

Зазвичай для послаблення умови щодо незалежності випадкових величин використовують максимум (мінімум) кластерів, а не всі значення, які більше (менше) порогу. Тобто для визначення параметрів розподілу використовують не всі значення, що перевищують поріг, а лише максимум (або мінімум) цих значень.

Моделювання Poisson-GP має переваги перед блочним підходом, при якому параметри розподілу оцінюються на основі екстремальних величин (максимуму або мінімуму), які беруться за певний проміжок часу, наприклад рік чи квартал. Аналіз річних екстремальних величин призведе до невеликою кількості елементів вибірки. Якщо дані наявні за 30 років, то відповідно річних мак-

симумів чи мінімумів буде 30, що зазвичай недостатньо для надійної оцінки параметрів розподілу. В той же час, використання кварталних екстремумів призведе до збільшення кількості елементів вибірки, але ці величини будуть залежні [18, 27]. Це призведе до порушення умови незалежності випадкових величин.

Для оцінки параметрів  $\sigma$  і  $\gamma$  узагальненого розподілу Парето використовується метод максимальної правдоподібності.

**Визначення ймовірності посух на основі індексу VHI та моделі Poisson-GP.** Для визначення ймовірності посух використовуються значення індексу VHI, отримані з 1981 по 2012 роки з просторовим розривом 16 км. Дані індексу VHI агреговані у тижневі композити [28, 29], щоб зменшити вплив відсутності даних внаслідок хмарності або інших збоїв у системі приладу AVHRR. Для кожного року наявні 52 значення індексу VHI (крім 1981 року, для якого наявні 18 значень). Таким чином, для кожного пікселя зображення розміром  $16 \times 16$  км<sup>2</sup> наявний числовий ряд з 1630 значень індексу VHI.

Модель Poisson-GP застосовується для кожного пікселя зображення для моделювання мінімуму значень індексу VHI. Спочатку знаходяться мінімуми кластерів при пороговому значенні VHI=40. Це значення вибрано у відповідності до табл. 2, оскільки саме це значення є індикатором переходу рослинності у стресовий стан. Для кожного пікселя зображення буде різна кількість значень елементів вибірки. Це продемонстровано на рис. 1, який показує кількість мінімумів кластерів значень індексу VHI при пороговому значенні 40 для території України. В середньому для кожного пікселя наявні 71 значення елементів вибірки, які використовуються для оцінки параметрів узагальненого розподілу Парето. Ці значення, отримані методом максимальної правдоподібності, представлені на рис. 2 та 3.



Рисунок 1 – Кількість значень елементів вибірки (мінімумів кластерів значень індексу VHI) при пороговому значенні 40 для території України

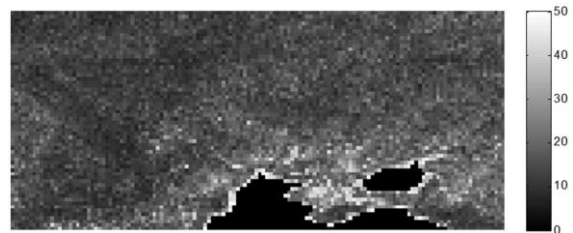


Рисунок 2 – Отримані методом максимальної правдоподібності значення параметру  $\sigma$  узагальненого розподілу Парето



Рисунок 3 – Отримані методом максимальної правдоподібності значення параметру значення  $\gamma$  узагальненого розподілу Парето

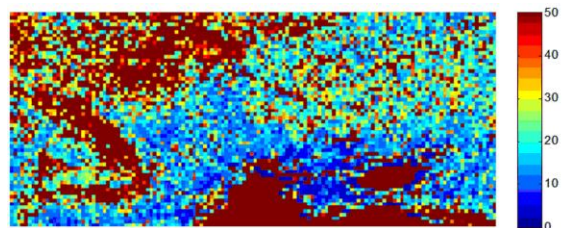


Рисунок 4 – Період повторюваності (у роках) значень індексу VHI < 5, що відповідають надзвичайним посухам для території України

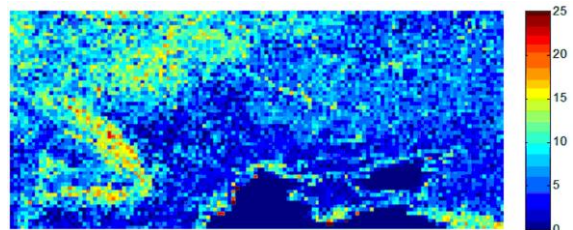


Рисунок 5 – Значення індексу VHI для періоду повторюваності 20 років (ймовірність 0,05)

На основі отриманих значень параметрів узагальненого розподілу Парето можливо визначити ймовірність настання посух для різних сценаріїв. На рис. 4 показано період повторюваності (у роках) значень індексу VHI, що відповідають надзвичайним посухам (VHI < 5).

Варто зазначити, що для території лісів (Карпат та Полісся) період повторюваності складає не менше 1000 років (ймовірність 0,001), в той час для лісостепу та степу (основних сільськогосподарських регіонів України) період повторюваності складає до 50 років (ймовірність 0,02).

На основі розробленої моделі можна також визначити значення індексу VHI для задано-

го періоду повторюваності (або ймовірності). На рис. 5 показано значення індексу VHI для періоду повторюваності у 20 років (ймовірність 0,05). Отримані значення є основою для подальшого визначення ризику посух сільськогосподарських культур за виразом (1).

### Оцінювання функції пошкодження (втрат) сільськогосподарських культур внаслідок посухи

Одним з компонентів функції ризику (1) є функція  $d_k(A, l)$  втрат врожаю внаслідок посухи. Параметром  $l$  в нашому випадку виступає значення індексу VHI, як індикатор інтенсивності посухи (як визначено в табл. 2). В загальному випадку для побудови функції  $d_k(A, l)$  необхідна наявність наземних спостережень пошкоджень сільськогосподарських культур внаслідок посухи. Причому в ідеалі такі спостереження необхідно було б проводити для різних сценаріїв (значень VHI та інтенсивності посух), різних культур, а також для різних територій (з урахуванням специфіки агротехнологій та врахування зрошення). Очевидно, що проведення таких масштабних наземних спостережень вимагає значних ресурсів і часу. Тому в даній роботі використується більш простий підхід.

У роботах [30, 31] проаналізовано залежність значень індексу VHI з врожайністю. Побудовано лінійну регресійну залежність між цими величинами для різних сільськогосподарських культур та регіонів. Оскільки чим більше пошкодження, нанесені посухою, тим менше врожайність, можна припустити лінійну залежність між пошкодженням та індексом VHI.

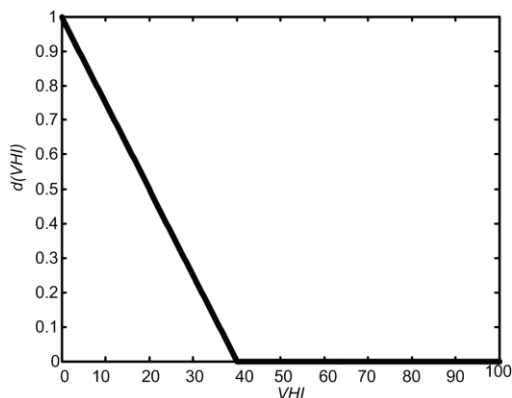


Рисунок 6 – Залежність ступеня пошкодження сільськогосподарської культури від значення індексу VHI

В даній роботі використовується спрощена лінійна залежність між VHI та ступенем пошкодження:

$$d_k(A, l) = d(VHI) = \begin{cases} 0, & \text{для } VHI > 40, \\ 1 - VHI / 40, & \text{для } VHI \leq 40 \end{cases} \quad (4)$$

Графік залежності (4) представлено на рис. 6.

### Визначення ймовірності посух за супутниковими даними

Розглянемо тепер, як інтегруються складові виразу (1) для отримання кількісних характеристик ризику посух. Оцінювання ризику буде виконано на прикладі Київської області.

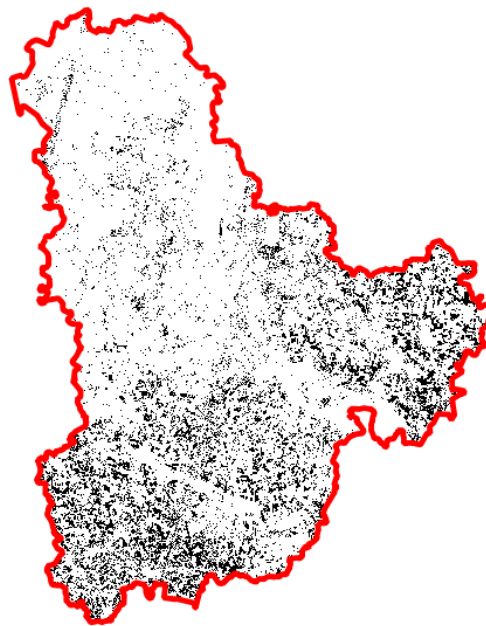


Рисунок 7 – Маска озимої пшениці для Київської області

В межах виконання проекту ЕС-JRC "Оцінювання площ посівів за супутниковими даними" отримано карти класифікації різних типів підстилаючої поверхні та масок с/г культур. На рис. 7 представлено маску озимої пшениці. Аналіз проводиться для надзвичайних посух, для яких отримано ймовірнісні характеристики (рис. 4). Оскільки для цих посух значення індексу VHI < 5, то значення функції пошкоджень складе 0,95 відповідно до (4). Значення врожайності вибрано на рівні 40,1 ц/га – максимальне значення врожайності озимої пшениці у Київській області за період 2000-2011 рр. Ціну пшениці вибрано на рівні 1700 грн. за тону. Інтегруючи карти на рис. 4 та 7 з використанням виразу (1), економічний ризик настання надзвичайної посухи в Київській області складе близько 153 млн. грн. Подібні оцінки ризику можна отримано для будь-якої області, адміністративного району або іншої зацікавленої території.

**Висновки**

В даній роботі представлено методологію до розв'язання задачі оцінювання ризику посух с/г культур за супутниковими даними. На основі числових рядів вегетаційного індексу здоров'я рослинності VHI отримано значення розподілу екстремальних значень, які моделюються за допомогою розподілу Poisson-GP. Даний розподіл використовує процес Пуассона для моделювання «надходження» екстремальних значень (в нашому випадку значень індексу VHI) та узагальнений розподіл Парето для моделювання величин, що перевищують деякий заданий поріг. Для ви-

значення параметрів узагальненого розподілу Парето використано метод максимальної правдоподібності. Отриману модель використано для визначення ймовірності настання різних категорій посух.

Запропоновано підхід до оцінювання збитків, завданих посухами, який зводиться до задачі оцінювання функції пошкодження с/г культур внаслідок посухи, оцінювання (прогнозування) врожайності с/г культур і ідентифікації та оцінювання площ с/г культур. Інтегруючи отримані карти ймовірності настання посух з картою масок с/г, отримано кількісні значення економічного ризику настання посухи.

**Список літератури**

1. Guha-Sapir D. Annual Disaster Statistical Review 2011: The Numbers and Trends / D. Guha-Sapir, F. Vos, R. Below, S. Ponslerre // Brussels: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), 2012.
2. Mostert E. The European flood risk directive: challenges for research / E. Mostert, S.J. Junier // Earth Syst. Sci. Discuss. – 2009. – 6, No 4. – P. 4961-4988.
3. Kussul N. Disaster Risk Assessment Based on Heterogeneous Geospatial Information / N. Kussul et al. // J. Autom. Inf. Sci. – 2010. – 42, No 12. – P. 32-45.
4. Куусуль Н. Геопространственный анализ рисков на основе слияния данных / Н. Куусуль, Я. Зельк, С. Скакун, А. Шелестов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т.7 №2. – С. 55-66.
5. Voigt S. Satellite image analysis for disaster and crisis management support / S. Voigt, T. Kemper, T. Riedlinger, R. Kiefl, K. Scholte, H. Mehl // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. — 2007. — 45, No 6. — P. 1520-1528.
6. Куусуль Н.Н. Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии / Куусуль Н.Н., Шелестов А.Ю. – К.: Наук. думка, 2008.
7. Jonkman S.N. An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage / S.N. Jonkman, P.H.A.J.M. van Gelder, J.K. Vrijling // J. Hazard. Mater. — 2003. — A99. — P. 1-30.
8. Kellens W. Perception and Communication of Flood Risks: A Systematic Review of Empirical Research / W. Kellens, T. Terpstra, P. De Maeyer // Risk Anal. — 2013. — 33. — P. 24-49.
9. Taubenbock H. A conceptual vulnerability and risk framework as outline to identify capabilities of remote sensing / H. Taubenbock, J. Post, A. Roth, K. Zosseder, G. Strunz, S. Dech // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. — 2008. — 8. — P. 409-420.
10. Beguería S. Mapping the hazard of extreme rainfall by peaks over threshold extreme value analysis and spatial regression techniques / S. Beguería, S.M. Vicente-Serrano // J. of Appl. Meteorology and Climatology. – 2006. – 45, No 1. – P. 108-124.
11. Шелестов А.Ю. Распределенная система спутникового агромониторинга в Украине / А.Ю. Шелестов, С.В. Скакун, А.Н. Кравченко, Н.М. Куусуль // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8 №1. – С. 141-149.
12. Kussul N. Crop state and area estimation in Ukraine based on remote and in-situ observations / N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun, O. Kravchenko, B. Moloshnii // Int. J. on Information Models and Analyses, . – 2012. – 1, No 3. – P. 251-259.
13. Kussul N. Crop classification in Ukraine using satellite optical and SAR images / N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, O. Kravchenko, O. Kussul // Intern. J. on Information Models and Analyses. – 2013. – Vol. No. 2. – P. 118-122.
14. Carfagna E. Using remote sensing for agricultural statistics / E. Carfagna, F.J. Gallego // Intern. Stat. Rev. — 2005. — 73(3). — P. 389-404.
15. Галлего Х. Анализ эффективности разных подходов для классификации посевов на основе спутниковой и наземной информации / Х. Галлего, А.Н. Кравченко, Н.Н. Куусуль, С.В. Скакун, А.Ю. Шелестов, Ю.А. Грипич // Проблемы управления и информатики. — 2012. — №3. — С. 123-134.
16. Kussul N. Crop area estimation in Ukraine using satellite data within the MARS project / N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, O. Kravchenko, J.F. Gallego, O. Kussul // 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2012). — Munich, Germany. — P. 3756-3759.

17. Kussul N. Crop state and area estimation in Ukraine based on remote and in-situ observations / N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun, O. Kravchenko, B. Moloshnii // Intern. J. Inform. Models Anal. — 2012. — Vol. 1, No. 3. — P. 251–259.
18. Katz R.W. Statistics of extremes in hydrology / R.W. Katz, M.B. Parlange, P. Naveau // Advances in Water Resources. — 2002. — 25(8). — P. 1287–1304.
19. McKee T.B. Drought Monitoring with Multiple Time Scales / T.B. McKee, N.J. Doesken, J. Kliest // Proc. 9th AMS Conf. on Appl. Climatology. — 15-20 January 1995. — Dallas, Texas. — P. 233–236.
20. Guttman N.B. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index / N.B. Guttman // JAWRA J. American Water Resources Assoc. — 1998. — 34(1). — P. 113–121.
21. Palmer W.C. Meteorological drought / W.C. Palmer // Weather Bureau Research Paper. — 1965. — No. 45. — 58 p.
22. Alley W.M. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions / W.M. Alley // J. Climate and Appl. Meteorology. — 1984. — 23(7). — P. 1100–1109.
23. Tucker C.J. Relationships of spectral data to grain yield variation / C.J. Tucker, B.N. Holben, J.H. Elgin, J.E. McMurtrey // Photogramm. Eng. Remote Sens. — 1980. — 46. — P. 657–666.
24. Kogan F. Global and regional drought dynamics in the climate warming era / F. Kogan, T. Adamenko, W. Guo // Remote Sens. Lett. — 2013. — 4(4). — P. 364–372.
25. Kogan F. Global drought watch from space / F. Kogan // Bulletin American Meteorological Society. — 1997. — 78. — P. 621–636.
26. Kogan F. World droughts from AVHRR-based vegetation health indices / F. Kogan // EOS, Trans. American Geophys. Union. — 2002. — 83. — P. 557–564.
27. Beguería S. Mapping the hazard of extreme rainfall by peaks over threshold extreme value analysis and spatial regression techniques / S. Beguería, S.M. Vicente-Serrano // J. Appl. Meteorology and Climatology. — 2006. — 45(1). — P. 108–124.
28. Kogan F. Global vegetation health: long-term data records / F. Kogan, W. Guo, A. Jelenak // In: F. Kogan, A. Powell, O. Fedorov (Eds.), Use of Satellite and In-Situ Data to Improve Sustainability. — Netherlands: Springer, 2011. — P. 247–255.
29. Gitelson A.A. Using AVHRR data for quantitative estimation of vegetation conditions: Calibration and validation / A.A. Gitelson, F. Kogan, E. Zakarin, L. Spivak, L. Lebed // Advances in Space Research. — 1998. — 22(5). — P. 673–676.
30. Salazar L. Use of remote sensing data for estimation of winter wheat yield in the United States / L. Salazar, F. Kogan, L. Roytman // Intern. J. Remote Sens. — 2007. — 28. — P. 3795–3811.
31. Salazar L. Using vegetation health indices and partial least square method for estimation of corn yield / L. Salazar, F. Kogan, L. Roytman // Intern. J. Rem. Sens. — 2008. — 29, N 1-2. — P. 175–189.

Надійшла до редколегії 25.09.2013

## **C.B. СКАКУН**

Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України

### **ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ПОСУХ ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ**

В даній роботі розглядається задача оцінювання ризику посух сільськогосподарських (с/г) культур за супутниковими даними. Для визначення ймовірності настання посух запропоновано використовувати методи теорії екстремальних величин для оброблення числових рядів супутникових даних. Запропоновано підхід до оцінювання збитків, завданих посухами, який зводиться до задачі оцінювання функції пошкодження с/г культур внаслідок посухи, оцінювання (прогнозування) врожайності с/г культур і ідентифікації та оцінювання площ с/г культур. Розроблений підхід застосовано для кількісного аналізу ризику надзвичайних посух та економічних збитків на прикладі для Київської області.

**Ключові слова:** ризик, посухи, супутникові дані, сільське господарство.

## **S.V. SKAKUN**

Space Research Institute NAS Ukraine and SSA Ukraine

### **DROUGHT RISK ASSESSMENT BASED ON SATELLITE DATA**

This paper deals with drought risk assessment using satellite data. Methods of the extreme value theory (EVT) are utilized for a time-series of satellite data for drought hazard mapping. An approach to economical risks assessment due to droughts is presented that relies on the following components: damage function assessment, crop yield assessment and crop area estimation. The proposed approach is implemented for quantitative risks drought assessment for Kyiv region in Ukraine.

**Keywords:** risk, drought, satellite data, agriculture.