

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ НЕБЕЗПЕЧНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЯВИЩ

Анотація. Предметом дослідження є розроблення структури регіональної ГІС моніторингу небезпечних метеорологічних явищ та побудова картографічних моделей небезпечних метеорологічних явищ з використанням даних дистанційного зондування Землі та інших просторових і непросторових даних. **Об'єктом дослідження** є методи застосування геоінформаційних технологій для побудови картографічних моделей небезпечних метеорологічних явищ. **Метою роботи** є підвищення ефективності візуалізації даних небезпечних метеорологічних явищ для підтримки прийняття управлінських рішень з пом'якшення й нейтралізації наслідків несприятливих кліматичних умов і їх дії на суспільство. **Висновки:** Проведено аналіз та визначена класифікація картографічних моделей небезпечних метеорологічних явищ. Розроблено структуру регіональної ГІС моніторингу небезпечних метеорологічних явищ. Розроблені картографічні моделі небезпечних метеорологічних явищ за даними ДЗЗ, які підвищують інформативність метеорологічних даних задля підтримки прийняття управлінських рішень щодо реагування на несприятливі кліматичні процеси та їх наслідки. Побудовані карти небезпечних метеорологічних явищ на прикладі урагану «Ірма» на основі даних ДЗЗ.

Ключові слова: небезпечні метеорологічні явища (НМЯ), картографічна модель, кліматичні зміни, дані ДЗЗ.

Вступ

Небезпечні метеорологічні явища (НМЯ) є одним з основних джерел надзвичайних ситуацій (НС) природного характеру як на території України, так і в світі в цілому. Згідно з існуючими оцінками, на тлі глобальних і регіональних змін клімату, що відбуваються, повторюваність небезпечних метеорологічних явищ, їх інтенсивність і величина збитку, що завдається ними, може істотно зрости.

Таким чином, виникає необхідність комплексної оцінки схильності територій до небезпечних гідрометеорологічних явищ і пов'язаних з ними НС на різних просторових масштабах. На фоні глобальної і регіональної зміни клімату необхідність і важливість дослідження просторово-часового розподілу небезпечних метеорологічних явищ особливо актуально. Небезпечні метеорологічні явища мають вплив на різні сфери життєдіяльності людини і є причиною соціальних, екологічних та економічних збитків.

Важливу роль у вивченні просторово-часового розподілу небезпечних метеорологічних явищ відіграє картографічний метод дослідження. Картографування характеристик небезпечних явищ дозволяє виділяти і в наочній формі відображати області найбільшої частоти та інтенсивності їх прояву. Тому розроблення методів застосування геоінформаційних технологій для побудови картографічних моделей небезпечних метеорологічних явищ дозволить створювати карти, які мають стати важливим інструментом оцінки територіального ризику виникнення небезпечних метеорологічних явищ і пов'язаних з ними надзвичайних ситуацій, а також організації їх моніторингу та підтримки ухвалення управлінських рішень з пом'якшення та нейтралізації їх дії на окрему територію.

Постановка задачі. Просторовий розподіл небезпечних метеорологічних явищ характеризується дуже високим ступенем мінливості, яка обумовлена

впливом чинників підстилаючої поверхні. Важливість їх обліку особливо зростає в умовах складного рельєфу. Таким чином геоінформаційні технології дозволяють зробити інтеграцію великого числа різних просторових даних, іншої просторової і непросторової інформації про досліджувані НМЯ і провести комплексний аналіз цих даних.

Метою роботи є підвищення інформативності візуальних даних щодо небезпечних метеорологічних явищ для підтримки прийняття управлінських рішень з пом'якшення й нейтралізації наслідків несприятливих кліматичних умов і їх дії на суспільство.

1. Визначення та аналіз типових небезпечних метеорологічних явищ

Клімат Землі схильний до природних коливань, але наразі середня температура Землі має стійку динаміку зростання, спричиняючи значну кількість температурних аномалій, не характерних для звичного температурного режиму планети, що постійно фіксується світовими синоптичними центрами (рис. 1-5). Таке зростання пов'язують із парниковим ефектом, який полягає в поглинанні атмосферою Землі частини сонячної енергії. Сонячна енергія, що випромінюється назад в космос з поверхні Землі, поглинається парниковими газами і повторно випромінюється за всіма напрямками. Цей процес призводить до нагріву як земної атмосфери, так і поверхні планети. Без зазначеного ефекту Земля була б приблизно на 30°C холодніше. За думкою вчених, населення планети підсилює природний парниковий ефект, оскільки гази, що виділяються промисловістю і сільським господарством, затримують більше енергії та підвищують температуру. У епоху сучасної зміни клімату спостерігається зростання повторюваності і інтенсивності небезпечних і несприятливих метеорологічних явищ, які можуть викликати надзвичайні ситуації природного характеру (рис. 5).

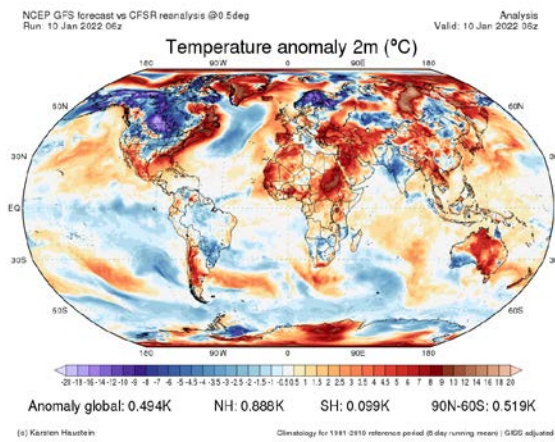


Рис. 1. Карта температурних аномалій Землі станом на 10.01.22 © Karsten Haustein

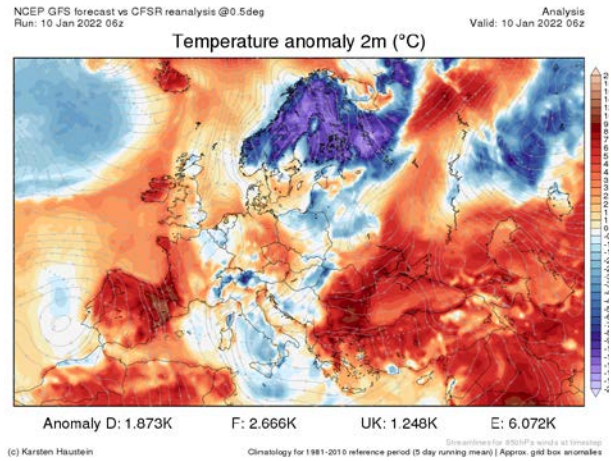


Рис. 2. Карта температурних аномалій Європи станом на 10.01.22 © Karsten Haustein

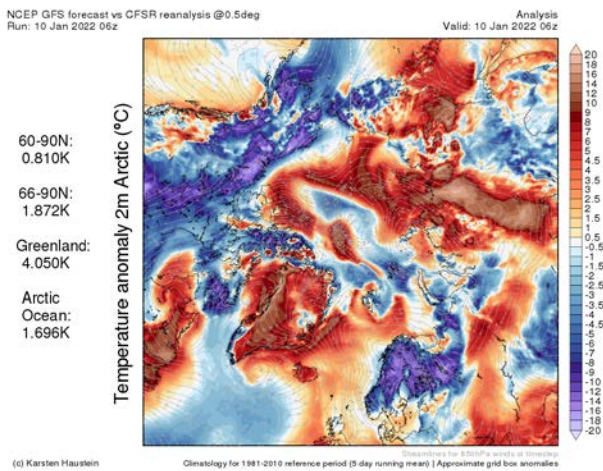


Рис. 3. Карта температурних аномалій Арктики станом на 10.01.22 © Karsten Haustein

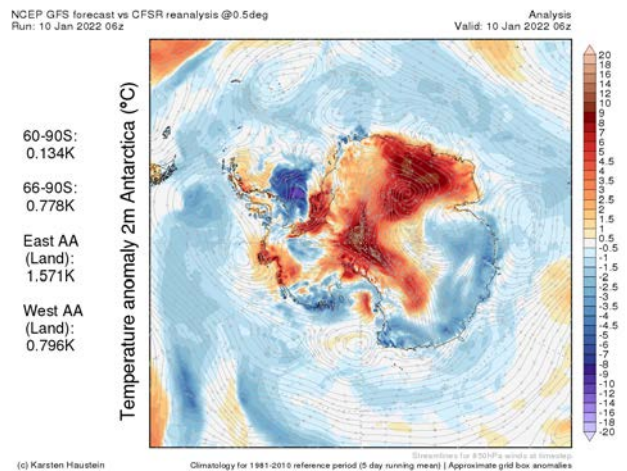


Рис. 4. Карта температурних аномалій Антарктики станом на 10.01.22 © Karsten Haustein

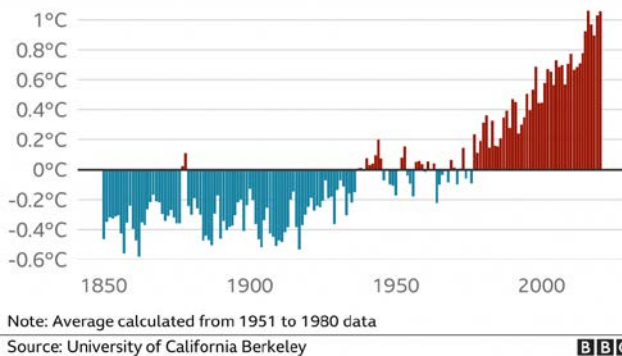


Рис. 5. Графік змін середньої температури Землі з 1800 по 2020 р.

До небезпечних метеорологічних явищ (НМЯ) відносяться явища погоди, які інтенсивністю, тривалістю і часом виникнення представляють загрозу безпеці людей, а також можуть завдати значного збитку галузям економіки, зокрема:

ураганні вітри (тропічні циклони, тайфуни); смерчі (торнадо); шквали; град; ожеледь і паморозь; ожеледиця; завірюхи; зливи; тривалі дощі; снігопади; тумани; грози; запорощені бурі; аномальна спе-

ка; пониження горизонтальної і вертикальної дальності видимості.

Типовий перелік небезпечних метеорологічних явищ, який розроблений гідрометеоцентром, на підставі якого територіальні управління метеослужб складають уточнений, з урахуванням місцевої специфіки, перелік небезпечних явищ для своєї території, представлений в табл. 1.

Небезпечні метеорологічні явища у ряді випадків призводять до катастрофічних наслідків. Особливо часто під їх дією трапляються повені. Основні райони виникнення тропічних циклонів складають сім фактично відособлених безперервних зон, які мають назву басейнів. Найактивнішою є тихоокеанський басейн, де щорічно виникає більшість тропічних циклонів і тропічних штормів (з 86 в світі).

Варто зазначити, що класифікація пошкоджень лише за грошовою оцінкою, що вимірюється у мільярдах доларів етично є не зовсім коректною, адже забирає життя та здоров'я громадян тих держав, де локально розповсюджені ці атмосферні явища. Число жертв може становити десятки тисяч, що обумовлює мету дослідження. Дані представлено на рис. 6.

Таблиця 1 – Класифікація небезпечних метеорологічних явищ

Найменування НМЯ	Характеристики і критерії визначення НМЯ
A.1 Шквальний та потужний вітер	Вітер, що досягає швидкості пориву до 25 м/с, або середньої швидкості не менш, ніж 20 м/с, на морських берегових територіях та гірських районах до 35 м/с, або середньої швидкості не менш, ніж 30 м/с.
A.2 Ураганний вітер (ураган)	Вітер, що досягнув швидкості 33 м/с і більше.
A.3 Шквал	Різке короткочасне (протягом декількох хвилин, але не менше за одну хвилину) посилення вітру до 25 м/с і більш.
A.4 Смерч	Сильний маломасштабний вихор у вигляді стовпа або воронки, направлений від хмари до підстилаючої поверхні.
A.5 Сильна злива	Сильний зливовий дощ з кількістю опадів не менше 30 мм за період, що не більше 1 години.
A.6 Дуже сильний дощ (дуже сильний дощ з снігом, дуже сильний мокрий сніг, дуже сильний сніг з дощем)	Дощ, зливовий дощ, дощ зі снігом, мокрий сніг кількістю не менше ніж 50 мм, в районах з особливою небезпекою до селів, а саме гірських районів – не менше ніж 30 мм за часовими обмеженнями не більше ніж 12 годин.
A.7 Снігопад	Дощ, зливовий дощ з не менше ніж 20 мм опадів за часовими обмеженнями не більше ніж 12 годин.
A.8 Тривалий сильний дощ	Дощ з короткими перервами (не більше 1 ч) з кількістю опадів не менше 100 мм (у зливу небезпечних районах з кількістю опадів не менше 60 мм) за період часу більше 12 год, але менше 48 год, або 120 мм за період часу більше 2 діб.
A.9 Крупний град	Град діаметром 20 мм і більше.
A.10 Сильна завірюха	Перенесення снігу (часто супроводжуваний випаданням снігу з хмар) сильним (із середньою швидкістю не менше 15 м/с) вітром із метеорологічною досяжністю видимості не більше 500 м тривалістю не менше 12 год.
A.11 Сильна заповишена (піщана) буря	Перенесення пороши (піску) сильним (з середньою швидкістю не менше 15 м/с) вітром і з метеорологічною досяжністю видимості не більше 500 м тривалістю не менше 12 год.
A.12 Інтенсивний туман (сильна мла)	Сильне помутніння повітря за рахунок скупчення найдрібніших частинок води (пороши, продуктів горіння), при якому значення метеорологічної досяжності видимості не більше 50 м та тривалістю не меншого 12 ч
A.13 Потужне відкладення ожеледиці	Діаметр відкладення на проводах: ожеледі – діаметром не менше 20 мм; складного відкладення або мокрого (що замерзає) снігу – діаметром не менше 35 мм; паморозь – діаметр відкладення не менше 50 мм
A.14 Потужний мороз	У період з листопада по березень значення мінімальної температури повітря досягає встановленого для даної території небезпечного значення або нижче за нього
A.15 Аномально-холодна погода	У період з жовтня по березень протягом 5 днів і більш значення середньодобової температури повітря нижче за кліматичну норму на 7 °С і більше
A.16 Підвищення температури, невластива сезону	У період з травня по серпень значення максимальної температури повітря досягає встановленого для даної території або вище за нього.
A.17 Заморожування	Пониження температури повітря і/або поверхні ґрунту до значень нижче 0°С на тлі позитивних середніх добових температур повітря в періоди активної вегетації сільгоспкультур або збирання врожаю, що приводить до їх пошкодження, а також до часткової або повної загибелі урожаю
A.18 Аномально посушлива погода	У період з квітня по вересень протягом 5 днів і більш значення середньодобової температури повітря вище за кліматичну норму на 7 °С і більше
A.19 Надзвичайна пожежна небезпека	Показник пожежної небезпеки відноситься до 5-го класу (10 000 °С за формулою Нестерова)

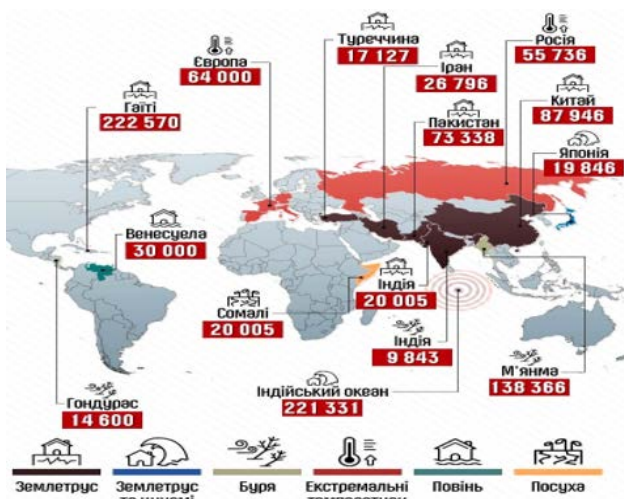


Рис. 6. Кількість жертв від природних небезпечних гідрометеорологічних явищ у світі 1996-2021

2. Сучасний стан картографування небезпечних метеорологічних явищ

Карти небезпечних гідрометеорологічних явищ є важливою складовою для забезпечення безпеки населення, оскільки вони дають уявлення про характер, інтенсивність і періодичність можливих погроз для певної території, а також служать основою для

прогнозування вірогідності виникнення даних явищ. В Україні і за кордоном накопичено значний досвід створення карт небезпечних природних явищ. Практику перших спроб відображення таких процесів на картах території України відносять до початку ХХ в.

НМЯ можна класифікувати за двома ознаками:

1) напряму тематичного картографування небезпечних природних явищ;

2) просторової визначеності території, що відображається на карті.

З погляду напрямів картографування небезпечних природних явищ всі наявні карти можна згрупувати таким чином:

- карти режимних характеристик небезпечних явищ;
- карти місць фіксації небезпечних явищ;
- карти заподіяного небезпечним природним явищем збитку;
- карти безпеки, ризику і вірогідності виникнення надзвичайних ситуацій і оцінки можливих втрат внаслідок небезпечних явищ.

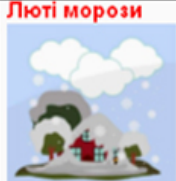
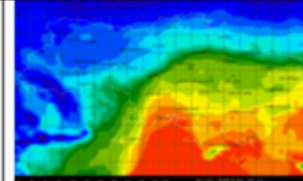

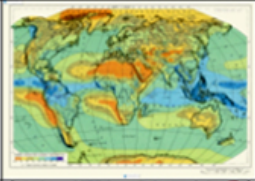
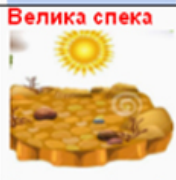




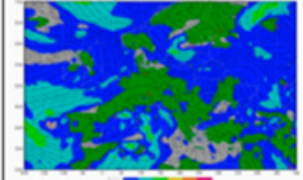

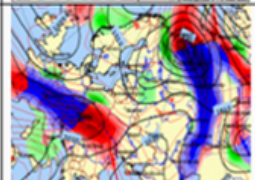
До карт режимних характеристик небезпечних явищ відносять карти їх повторюваності та інтенсивності. Вони, як правило, створюються в науково-освітніх цілях і для супроводу завдань моніторингу, оскільки відображають ареали найбільш частого виникнення небезпечних явищ і їх найбільшої інтенсивності. Карти повторюваності відображають законо-

мірності розподілу випадків небезпечних явищ у часі та просторі. Вони створюються на основі аналізу багаторічних рядів даних метеорологічних і гідрологічних спостережень. Карти інтенсивності небезпечних явищ переважно відображають їх кількісні (включаючи екстремальні) і якісні характеристики. Основним джерелом інформації для картографування інтенсивності НМЯ є оперативні і архівні дані наглядової мережі. Виділяють такі типи карт НМЯ:

- карти режимних характеристик явищ;
- карти місць фіксації явищ;
- карти характеристик збитку, пов'язаного з НМЯ;
- карти безпеки, ризику і вірогідності виникнення НС.

Карти небезпечних метеорологічних явищ створюються на глобальному, макрорегіональному, національному і регіональному рівнях. В більшості випадків просторово-часовий розподіл небезпечних явищ вивчається в масштабах окремих країн і їх груп, що обумовлене більшою доступністю початкової інформації. Прикладом залежності картографічної моделі від небезпечного метеорологічного явища може слугувати табл. 2, що була створена на основі даних табл. 1 з типовою класифікацією і характером метеорологічного явища та візуалізує природний характер небезпечних метеорологічних явищ у вигляді картографічних моделей.

Таблиця 2 – Візуалізація різних типів НМЯ за допомогою картографічних моделей

Люті морози 	Карти аномально низьких температур		Сильні дощі 	Карти аномально сильних дощів Карти середнь-орічного добового максимуму опадів	
Велика спека 	Карти аномально високих температур		Сильні снігопади 	Карти аномально сильних снігопадів Карти висоти сніжного покриву	
Великі вітри і завірюхи 	Карти аномальних вітрів		Конвективні небезпечні явища 	Карти ураганів і смерчів Карти повторюваності небезпечних конвективних явищ	

Структура регіональної ГІС моніторингу небезпечних метеорологічних явищ

За практикою та дослідженнями минулого десятиріччя відбувається інтенсивний розвиток технологій моніторингу і прогнозування небезпечних гідрометеорологічних явищ. Перш за все, варто виділити методи дистанційного зондування, що забезпечують моніторинг з високим просторово-часовим дозволом. Основною метою створення методики є своєчасний та професійний підхід до вирішення або прогнозування будь якої ситуації, що пов'язана з

атмосферними явищами. Створення якісної БД, можливість постановки якісної задачі на збір, обробку, систематизацію інформації задля якісної візуалізації пересічними користувачам, які можуть і не бути спеціалістами в галузі кліматології, метеорології, ГІС-спеціалістами.

Типова структура регіональною ГІС моніторингу небезпечних метеорологічних явищ представлена на рис. 7, де типовою першою ланкою процесу є збір інформації (дані спостереження та ДЗЗ у вигляді супутникової зйомки), а завершальною – якісна візуалізація процесу чи явища. У сучасних умовах, для під-

вищення якості прогнозу небезпечних гідрометеорологічних явищ і зниження збитку від них, виникає необхідність створення інформаційної системи збору, узагальнення, аналізу і представлення даних про небезпечні природні явища, на основі існуючих засобів наземного, космічного моніторингу і моделювання.

Ефективно подібні завдання вирішуються в середовищі геоінформаційних систем (ГІС). Таким чином, створення регіональної інформаційної системи моніторингу небезпечних гідрометеорологічних явищ для розвитку і доповнення існуючої системи, є важливим та перспективним напрямком.



Рис. 7. Структура регіональної ГІС моніторингу та прогнозування НМЯ

3. Побудова картографічних моделей небезпечних метеорологічних явищ з використанням даних ДЗЗ на прикладі урагану «Ірма»

Для розроблення та впровадження системи моніторингу та аналізу впливу небезпечних метеорологічних явищ розглянемо основні етапи побудови картографічної моделі НМЯ на прикладі урагану «Ірма», що мав значний вплив на Атлантичний океан та Північну Америку. Урагани формуються як циклони в тропічному поясі над світовим океаном, коли температура води перевищує 26°C. Це перша необхідна умова, що забезпечує сильне випаровування з поверхні океану, насичує вихри водяною паром. Друга необхідна умова має менший вплив – це малий градієнт (перепад) швидкості вітру по висоті вихору, який підтримує конвективні хмари і не дає циклону розпатися на дрібні вихори. Відомий ряд супутніх чинників: різкий температурний контраст поверхні океану, сходження купчастих хмар та інше. Відмічені кореляції ураганів з іншими погодними явищами: циркуляцією вітрів в стратосфері, дощами в Західній Африці, явищем загадкового потепління води в Тихому океані.

Атлантичний сезон ураганів (Atlantic Hurricane Season) – умовна назва щорічного періоду формування найбільш інтенсивних ураганів в середній частині північної половини Атлантичного океану. Як правило сезон ураганів триває з 1 червня по 30 листопада. Пік спостерігається близько 10 вересня.

Шкала ураганів Саффіра-Сімпсона є шкалою для вимірювання потенційного збитку від ураганів, розроблена Гербертом Саффіра (1917-2007) і Робертом Сімпсоном (1912-2014) на початку 1970-х років. Використовується починаючи з сезону 1973 року. Вона заснована на швидкості вітру і включає оцінку штормових хвиль в кожній з 5 категорій: мінімальна, помірна; значна; велика; катастрофічна.

В табл. 3 приведена класифікація категорій шкали залежно від швидкості вітру і висоти вітрового нагання. Ураган «Ірма» - був сформований на півдні островів Кабо-Верде 30 серпня 2017 року, як це вказано на рис. 8. Бура швидко стала основним ураганом 3-ої категорії 31 серпня, коли вона поволі перемістилася через Атлантику. 5 вересня «Ірма» стала ураганом 5 категорії і завдала катастрофічних наслідків на Карибських островах, на Малих Антильських островах і декількох інших островах Карибського моря. Вихід на материкову частину ураган «Ір-

ма» зробив як буревій 4 категорії 10 вересня. Він супроводжувався сильними штормовими вітрами, що уразили район Чарльстона 11 вересня. «Ірма» встановила нові рекорди.

В результаті аналізу було отримано інформацію щодо урагану «Ірма»: **сформувався**: 30 серпня 2017; **розпався**: 12 вересня 2017; **максимальний вітер**:

295 км/год; **нижній тиск V**: 926 мБар (гПа; 694.56 мм Нг); **кількість загиблих**: 134 людини; **фінансові збитки**: \$ 64.655 млрд; **області розповсюдження**: Антильські острови, Флорида; **сезонність**: входить в сезон атлантичних ураганів 2017 року. Наслідки урагану «Ірма» за даними ДЗЗ, що отримано з БПЛА, наведено на рис. 9.

Таблиця 3 – Характеристики категорій шкали Саффіра-Сімпсона

Категорія	Швидкість вітру, м/с (км/год)	Висота хвилі вітрового нагання, м
5	> 70 (250)	> 5,5
4	58-70 (210—250)	4—5,5
3	50-58 (180—210)	2,5—4
2	42-50 (150—180)	2—2,5
1	33-42 (120—150)	1—2
Додаткові категорії		
Тропічний шторм	17-33 (60—120)	0—1
Тропічна депресія	< 17 (60)	0



Рис. 8. Треки руху ураганів в 2017-2019 році в Атлантичному океані



Рис. 9. Наслідки урагану «Ірма» за даними ДЗЗ, що отримано з БПЛА

Для визначення напрямку проходження ураганів необхідно побудувати картографічну модель небезпечних метеорологічних явищ, на яку нанесені результати спостережень в цифровому або символічному вигляді, отримані в певні моменти часу.

Для досягнення поставленої мети було визначено програмне забезпечення ArcGIS 10.5, інструментарій якого містить функції для побудови картографічних моделей і візуалізації динамічних процесів НМЯ.

На рис. 10 відображено структурну схему побудови картографічних моделей небезпечних метеорологічних явищ на прикладі урагану «Ірма». Подану структурну схему можливо адаптувати для візуалізації різних типів НМЯ.

Задля якісного планування та дослідження метеорологічного явища урагану «Ірма» налаштовуємо та працюємо з атрибутивною та просторовою інформацією для складання БД (рис. 11).

Наступний етап роботи - візуалізація розповсюдження урагану, або будь якого несприятливого розвитку ситуації.

Для реалізації етапу необхідно створити та опрацювати shape-файл або клас просторових даних, що описано у структурі регіональної ГІС-системи моніторингу за даними ДЗЗ.

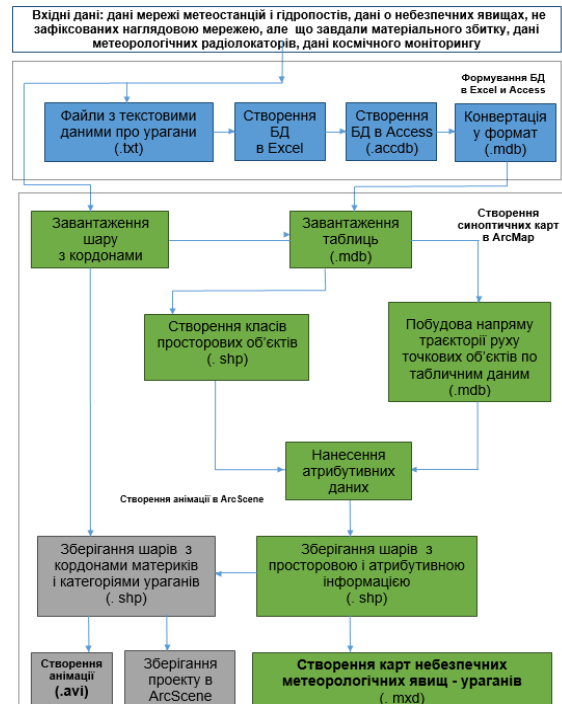
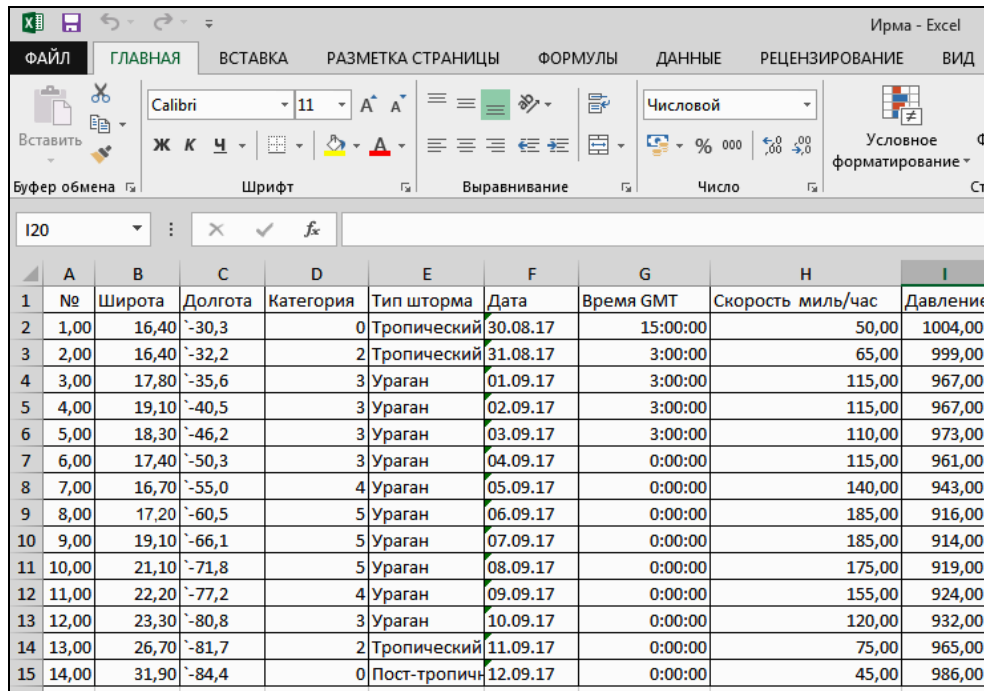


Рис. 10. Структурна схема побудови картографічних моделей небезпечних метеорологічних явищ на прикладі урагану «Ірма»

Кінцевий результат усіх виконаних дій та налагодження особистого алгоритму виглядатиме як самостійне рішення програмного продукту ArcGIS з маркованими об'єктами, що полегшить сприйняття як для пересічних користувачів, так і для розробників, які працюватимуть із інформацією, яка форму-

ватиме зміст створеної БД. Для відображення інформації щодо урагану були використані точкові об'єкти, які були підписані відповідним чином. Для цього використовується параметр «Надписати об'єкти» при виборі кожного з відображених шарів. Результат представлений на рис. 12.



№	Широта	Долгота	Категория	Тип шторма	Дата	Время GMT	Скорость миль/час	Давление
1,00	16,40	-30,3	0	Тропический	30.08.17	15:00:00	50,00	1004,00
2,00	16,40	-32,2	2	Тропический	31.08.17	3:00:00	65,00	999,00
3,00	17,80	-35,6	3	Ураган	01.09.17	3:00:00	115,00	967,00
4,00	19,10	-40,5	3	Ураган	02.09.17	3:00:00	115,00	967,00
5,00	18,30	-46,2	3	Ураган	03.09.17	3:00:00	110,00	973,00
6,00	17,40	-50,3	3	Ураган	04.09.17	0:00:00	115,00	961,00
7,00	16,70	-55,0	4	Ураган	05.09.17	0:00:00	140,00	943,00
8,00	17,20	-60,5	5	Ураган	06.09.17	0:00:00	185,00	916,00
9,00	19,10	-66,1	5	Ураган	07.09.17	0:00:00	185,00	914,00
10,00	21,10	-71,8	5	Ураган	08.09.17	0:00:00	175,00	919,00
11,00	22,20	-77,2	4	Ураган	09.09.17	0:00:00	155,00	924,00
12,00	23,30	-80,8	3	Ураган	10.09.17	0:00:00	120,00	932,00
13,00	26,70	-81,7	2	Тропический	11.09.17	0:00:00	75,00	965,00
14,00	31,90	-84,4	0	Пост-тропич	12.09.17	0:00:00	45,00	986,00

Рис. 11. Фрагмент складеної бази даних для урагану «Ірма»

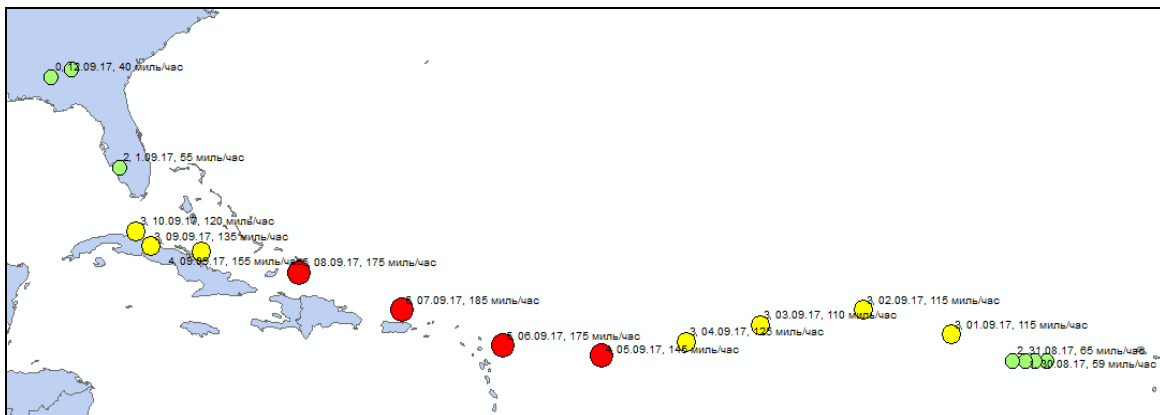


Рис. 12. Результат відображення підписаних атрибутивних та просторових даних урагану «Ірма»

В результаті отримані всі необхідні дані для побудови синоптичної карти для урагану «Ірма». Аналогічним чином були отримані дані для побудови синоптичної карти шарів температур хмар небезпечних метеорологічних явищ (рис. 13, а). В результаті було отримано синоптичні карти небезпечних метеорологічних явищ у вигляді урагану «Ірма», які представлені на рис. 13, б.

Для дослідження хмарного покриву був застосований ArcGIS, який дозволяє як аналізувати контрастні характеристики, так і отримувати їх статистичні значення. Розробка карти проводилася на основі космічних знімків Атлантичного регіону та південно-східної Північної Америки за 2017 рік та share- файлів аналогічної території.

Готове рішення у вигляді карти було отримано саме через застосування методики розробки регіональної ГІС-системи, що може бути адаптована до будь яких часових даних (аналіз можливих майбутніх ураганів або технічне дослідження ураганів минулих років, за які можливо знайти дані). Так само можемо отримати рішення щодо будь яких небезпечних атмосферних явищ, якщо оперуватимемо даними згідно специфіки явища. Потужні та затяжні морози – аналіз за температурою, зливи та інші опади – необхідно знати кількість опадів за певний час.

Висновки та результати роботи

В процесі дослідження було проведено аналіз та визначена класифікація картографічних моделей

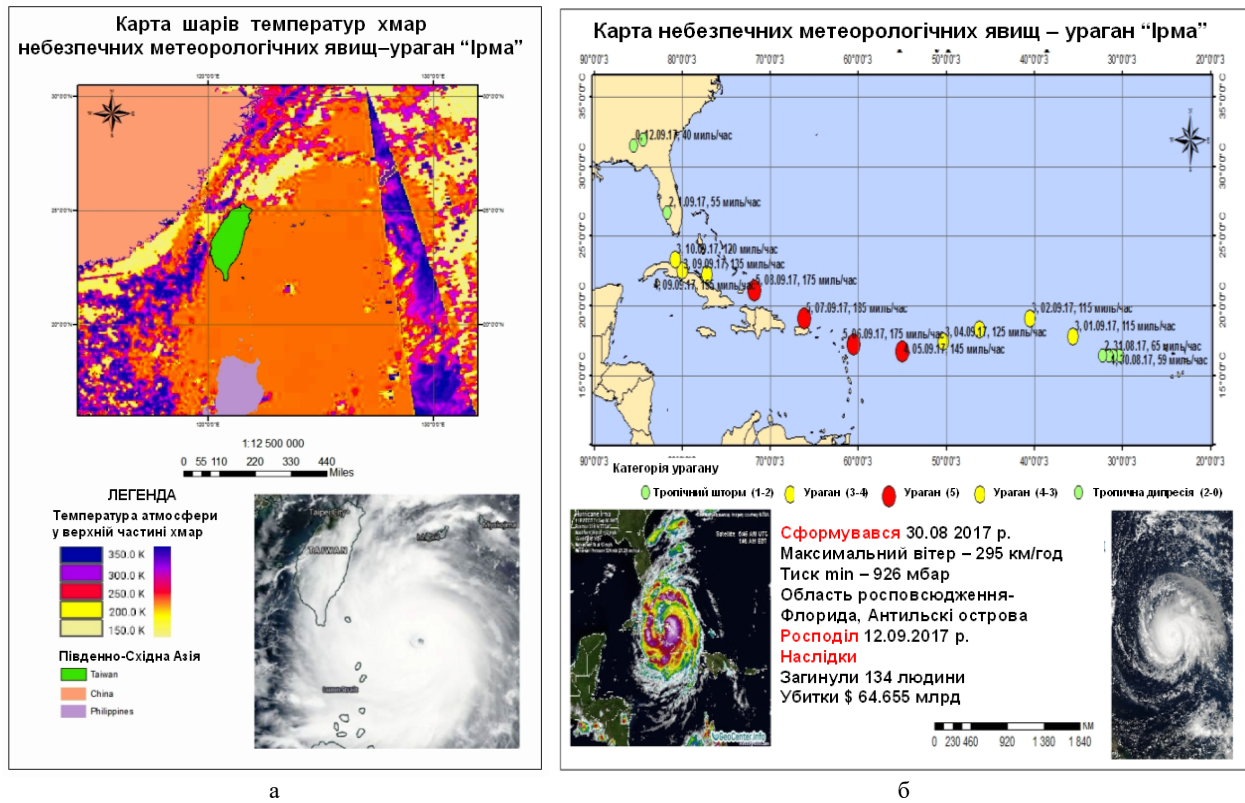


Рис. 13. Синоптична карта активності та розповсюдження урагану «Ірма»

небезпечних метеорологічних явищ, прогнозуванням та контролем яких буде займатися регіональна геоінформаційна система, що матиме унікальну структуру та методику. Запропонована структура регіональної ГІС моніторингу небезпечних метеорологічних явищ у вигляді взаємозв'язків між компонентами збору, введення, обробки та систематизації інформації із подальшою візуалізацією дозволить більш якісно та вчасно реагувати на небезпечні метеорологічні явища. Розроблені картографічні моделі небезпечних метеорологічних явищ за даними ДЗЗ, які підвищують інформативність метеоро-

логічних даних задля підтримки прийняття управлінських рішень щодо реагування на несприятливі кліматичні процеси та їх наслідки. Побудовані карти небезпечних метеорологічних явищ на прикладі урагану «Ірма» на основі даних ДЗЗ.

Роботу запропонованої методики було апробовано на практиці. Створена карта небезпечних метеорологічних явищ на прикладі урагану «Ірма». Наявність атрибутивної та просторової інформації для створення бази даних, вдала візуалізація переміщень урагану доводить ефективність даної методики.

REFERENCES

1. Andreev, S., Volotovskaya, D. & Zhilin, V. (2018), "Development of the clouds types determination method for ordering the optimal temporary period of space shooting", *Advanced Information Systems*, Vol 2, No. 2, pp. 110–116, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.19>
2. Andreev S.M. & Nechausov A.S. (2018), "Algorithm of automated assignment to the class of atmospheric stability for flow meteorological conditions", *CSNC*, No. 2 (48), pp. 105–110, DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.2.105>
3. Berlyant A.M., Vostokova A.V., Kravtsova V.I.. Cartography / edited by A.M. Berlyant. M.: Aspect Press, 2003. 477 p.
4. Voronina L.V. Ecological aspect of dangerous weather phenomena // *Iiterexpo*. 2010. Vol.4. Part 2. pp. 75-79.
5. Scientific Research Center of space hydrometeorology "Planet". URL: <http://planet.rssi.ru/index1.html>.
6. Nevidimova O.G., Yankovich E.P. The use of GIS technologies in the regional analysis of natura. 1. and climatic hazards // *Mining information and analytical Bulletin*. 2009. Vol.17. No.12. C. 305-309.
7. Panfutova Y.A. Dangerous meteorological phenomena on the flat territory of Russia and the risks created by them: abstract of the dissertation of the Candidate of Geographical Sciences. SPb., 2008. 21 p.
8. Pyankov S.V., Shikhov A.N. Dangerous hydrometeorological phenomena: regime, monitoring, forecast / Perm. state University. Perm: Publishing house of LLC "Rarity-Perm", 2014. 296 p.
9. Lagutin A.A., Lagutin Al.A., Shmakov I.A., Nikulin Yu.A. Specialized GIS of operational monitoring of the environment of the territory and forecasting of sources of natural emergencies// *Computing Technologies*, 2007, issue 3, vol. 12, pp. 54-64.
10. Butenko, O.; Horelik, S.; Krasovska, I.; Zakharchuk, Ye. Complex space monitoring data analysis to determine environmental trends of Poland-Ukraine border areas. *Architecture Civil Engineering Environment*, 2020.
11. Danshyna S. Yu., Nechausov A. S. Solution of the problem of placing medical facilities in city development projects. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. No 3(54) 2020 – P. 138-149. DOI 10.15588/1607-3274-2020-3-13.
12. Salishchev K.A. Cartography. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1990. 400 p.
13. Svatkova T.G. Atlas cartography. M.: Aspect Press, 2002. 203 p.

14. EM-DAT – The Int. Disaster Database, Centre for Research on the Epid. of Disasters - CRED. URL: <http://www.emdat.be>.
15. European Environment Agency. [Electronic resource] URL: <http://www.eea.europa.eu>.
16. European Severe Weather Database. [Electronic resource] URL: <http://essl.org/cgi-bin/eswd/eswd.cgi>.
17. Butenko, Olga; Horelik, Stanislav; Zyniuk, Oleh Geospatial data processing characteristics for environmental monitoring tasks. *Architecture Civil Engineering Environment*, 2020.
18. Gilles André Natural hazard mapping across the world. A comparative study between a social approach and an economic approach to vulnerability *Environment, Nature, Paysage*, 2012. URL: <http://cybergegeo.revues.org/25297>.
19. Interior Geospatial Emergency Management System (IGEMS). URL: <http://igems.doi.gov>.
20. Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe an overview of the last decade, EEA, Copenhagen, 2010 Environmental issue report No. 13/2010. 146 p.
21. Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe, EEA, Copenhagen, 2003 Environmental issue report No. 35.54 p.
22. Maps: US Natural Disaster Risk, Population Density and Nuclear Facilities. URL: <http://www.crisishq.com/why-prepare/us-natural-disaster-map>.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреев С. М., Жилін В. А., Вологовська Д.О. Розробка методики визначення типів хмарності для замовлення оптимального часового періоду космічної зйомки. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Том 2, № 2. С. 110–116. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.19>.
2. Андреев С. М., Нецаусов А.С. Алгоритм автоматизованого визначення класу стабільності атмосфери для поточних метеоумов. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2018. – Т. 2 (48). – С. 105-110. – DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.2.105>.
3. Берлянт А.М., Востокова А.В., Кравцова В.И. и др. Картоведение. Москва: Аспект Пресс, 2003. 477 с.
4. Воронина Л.В. Экологический аспект опасных погодных явлений. Итерэкспо. 2010. Т.4. Ч.2. С. 75– 79.
5. Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета». URL: <http://planet.rssi.ru/index1.html>.
6. Невидимова О.Г., Янкович Е.П. Использование ГИС-технологий в региональном анализе природно-климатических опасностей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2009. Т.17. №12. С. 305–309.
7. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. Пермь, 2014. 296 с.
8. Лагутин А.А., Шмаков И.А., Никулин Ю.А. Специализированная ГИС опер. мониторинга окружающей среды территории и прогнозирования источников природных ЧС. *Вычислительные технологии*. 2007. Вып. 3, т. 12. С. 54-64.
9. Butenko O., Horelik S., Krasovska I., Zakharchuk, Y. Complex space monitoring data analysis to determine environmental trends of Poland-Ukraine border areas. *Architecture Civil Engineering Environment*, 2020. DOI: [10.21307/ACEE-2020-016](https://doi.org/10.21307/ACEE-2020-016)
10. Danshyna S. Yu., Nechausov A. S. Solution of the problem of placing medical facilities in city development projects. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. No 3(54) 2020. P. 138-149. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-3-13>
11. Салищев К.А. Картоведение. Москва: МГУ, 1990. 400 с.
12. Сваткова Т.Г. Атласная картография. Москва: Аспект Пресс, 2002. 203 с.
13. EM-DAT – The Int. Disaster Database, Centre for Research on the Epid. of Disasters – CRED. URL: <http://www.emdat.be>.
14. European Environment Agency. URL: <http://www.eea.europa.eu>.
15. European Severe Weather Database. URL: <http://essl.org/cgi-bin/eswd/eswd.cgi>.
16. Butenko, O., Horelik, S., Zyniuk, O. Geospatial data processing characteristics for environmental monitoring tasks. *Architecture Civil Engineering Environment*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21307/ACEE-2020-008>
17. Gilles André Natural hazard mapping across the world. A comparative study between a social approach and an economic approach to vulnerability. *Environment, Nature, Paysage*, 2012. URL: <http://cybergegeo.revues.org/25297>.
18. Interior Geospatial Emergency Management System (IGEMS). URL: <http://igems.doi.gov>.
19. Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe An overview of the last decade, EEA, Copenhagen, 2010 Environmental issue report №13/2010. 146 p.
20. Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe, EEA, Copenhagen, 2003 Environmental issue report №35. 54 p.
21. Maps: US Natural Disaster Risk, Population Density and Nuclear Facilities. [Электронный ресурс] URL: <http://www.crisishq.com/why-prepare/us-natural-disaster-map>.

Received (Надійшла) 01.12.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.01.2022

Application of geoinformation technologies for construction of mapping models of hazardous meteorological phenomena

S. Andreev, S. Horelyk, A. Nechausov, D. Saul-Hoze

Abstract. The subject of the research is the development of the structure of the regional GIS for monitoring dangerous meteorological phenomena and the construction of cartographic models of hazardous meteorological phenomena using Earth remote sensing data and other spatial and nonspatial data. The object of the research is the methods of using geoinformation technologies for constructing cartographic models of dangerous meteorological phenomena. The aim of the work is to increase the efficiency of visualization of data on dangerous meteorological phenomena to support managerial decisions to mitigate and neutralize the effects of adverse climatic conditions and their impact on society. **Conclusions:** The analysis was carried out and the classification of cartographic models of dangerous meteorological phenomena was determined. The structure of the regional GIS for monitoring dangerous meteorological phenomena has been developed. Cartographic models of hazardous meteorological phenomena based on remote sensing data have been developed, which increase the information content of meteorological data to support the adoption of managerial decisions on responding to unfavorable climatic processes and their consequences. Maps of dangerous meteorological phenomena have been constructed using the example of hurricane Irma based on remote sensing data.

Keywords: dangerous meteorological phenomena (DME), cartographic model, climatic changes, remote sensing data.