

С.Я. МАЙСТРЕНКО*, Т.О. ДОНЦОВ-ЗАГРЕБА*, К.В. ХУРЦИЛАВА*, М.І. ХАРЧУК**, С.В. ГРИБКОВ**, І.В. КОВАЛЕЦЬ*

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗБЕРІГАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ НА ОСНОВІ WRF-УКРАЇНА

*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

**Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

Анотація. Запропонована інформаційна технологія зберігання та візуалізації даних гідрометеорологічного та агрометеорологічного прогнозування для сільського господарства. Крім стандартних метеорологічних параметрів, передбачається можливість зберігання та надання за запитами специфічних для даної предметної області розрахункових показників, таких, як температура і вологість ґрунту на різних глибинах та інші. Розглядається можливість інтеграції до системи вимірів мережі наземних синоптичних метеостанцій та даних радіозондування, які проводяться національними гідрометеослужбами у відповідності з вимогами Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО). Проведено аналіз даних результатів прогнозування та вимірів на предмет вибору середовища розробки веб-системи та архітектури її серверної і клієнтської компонент. Як результат досліджень, визначено набір рекомендацій для створення спеціалізованих веб-систем гідрометеорологічного прогнозування. Для ілюстрації ефективності запропонованої інформаційної технології створено прототипну версію веб-системи з урахуванням вказаних рекомендацій. У статті докладно наводяться можливості прототипної версії системи як щодо набору прогнозних показників і результатів вимірювань метеостанцій та радіозондів, так і візуалізації результатів з метою спрощення проведення аналізу. Дані метеопрогнозів відображаються на цифровій карті та у вигляді графіків зміни динаміки показників за період 108 годин. Для результатів вимірювань метеостанцій та радіозондів період часу для побудови графіків визначається користувачем і обмежений лише наявними в БД даними. Розроблена інформаційна технологія може бути впроваджена для планування сільськогосподарської діяльності та гідрометеорологічного моніторингу в Україні. Загалом, стаття може представляти інтерес як для розробників веб-додатків, так і фахівців, відповідальних за гідрометеорологічне прогнозування.

Ключові слова: комп'ютерне прогнозування погоди, сільське господарство, веб-системи.

Аннотация. Предложена информационная технология хранения и визуализации данных гидрометеорологического и агрометеорологического прогнозирования для сельского хозяйства. Помимо стандартных метеорологических параметров, предусматривается возможность хранения и предоставления по запросам специфических для данной предметной области расчетных показателей, таких, как температура и влажность почвы на разных глубинах и другие. Рассматривается возможность интеграции в систему измерений сети наземных синоптических метеостанций и данных радиозондирования, проводимых национальными гидрометеослужбами в соответствии с требованиями ВМО. Проведен анализ данных результатов прогнозирования и измерений на предмет выбора среды разработки веб-системы и архитектуры ее серверной и клиентской компонент. В результате исследований определен набор рекомендаций для создания специализированных веб-систем гидрометеорологического прогнозирования. Для иллюстрации эффективности предложенной информационной технологии создана прототипная версия веб-системы с учетом указанных рекомендаций. В статье подробно приводятся возможности прототипной версии системы как по набору прогнозных показателей и результатов измерений метеостанций и радиозондов, так и визуализации результатов с целью упрощения проведения анализа. Данные метеопрогнозов отображаются на цифровой карте и в виде графиков изменения динамики показателей за период 108 часов. Для результатов измерений метеостанций и радиозондов период времени для построения графиков определяется пользователем и ограничен только имеющимися в БД данными. Разработанная информационная технология может быть внедрена для планирования сельскохозяйственной деятельности и гидрометеорологического мониторинга в Украине. В общем, статья может представлять интерес как для разработчиков веб-приложений, так и специалистов, ответственных за гидрометеорологическое прогнозирование.

Ключевые слова: компьютерное прогнозирование погоды, сельское хозяйство, веб-системы.

Abstract. *The informational technology for saving and visualizing data of the hydrometeorological and agri-meteorological forecasting for agriculture is proposed. In addition to the standard meteorological parameters, it allows to save and provide on application the calculated data which is peculiar to this subject matter, for example, temperature and humidity of soil at different depth, etc. The possibility of its integration into the measuring system of the network of the ground-based synoptic meteorological stations and also data of radiosonde measurements conducted by the national hydrometeorological services in accordance with requirements of the World Meteorological Organisation (WMO) is examined. The data of forecasting results and measurements concerning selection of environment for developing a web-system and architecture of its server and customer component are analyzed. As researches result, a number of recommendations for developing specialized web-systems are offered. As an illustration of efficiency of the proposed informational technology, the prototype version of a web-system incorporating the above said recommendations are offered. The capabilities of the prototype version of the system, including an array of the forecasting data and measurement results, and also visualization of results for easier analysis are presented in detail. Meteorological forecasting data is reflected in the digital map and also in the graphs showing change of data dynamics during 108 hour period. For measurement results, the time period for drawing graphs is determined by the user and is limited only by data available in the database. The developed information technology can be implemented for agricultural planning and hydrometeorological monitoring in Ukraine. Overall, the paper may be interesting both for the software developers of the web-applications and hydrometeorological forecasting professionals.*

Keywords: computerized weather forecasting, agriculture, WEB-systems.

1. Вступ

Вплив погоди на соціальну та економічну сфери суспільства носить комплексний характер. Впливу піддаються всі без винятку сфери людської діяльності, так чи інакше пов'язані з зовнішніми метеорологічними умовами. Зокрема, це сільське господарство, енергетика, транспорт (авіація, морський та річковий флот, автомобільний, залізничний, трубопровідний транспорт), будівельні організації тощо. Метеорологічні прогнози погоди стають корисними лише тоді, коли набувають кінцеве цільове призначення. А саме, коли при формуванні прогнозу відома область застосування, тобто географія діяльності споживача, залежність від погоди, можливості захисту та ін.

Так, для сфери сільського господарства метеорологічне прогнозування використовується для планування сільськогосподарських робіт, прогнозування врожаю та інших цілей. Враховуючи специфіку предметної області, крім стандартних метеорологічних параметрів, специфічними параметрами, які необхідно прогнозувати, є такі, як температура і вологість ґрунту та інші. У роботі [1] досліджено прогнозування температури та вологості ґрунту на основі системи гідрометеорологічного прогнозування WRF-Україна [2].

Метою даної роботи є розробка інформаційної веб-технології зберігання та візуалізації даних гідрометеорологічного та агрометеорологічного прогнозування на основі WRF-Україна та результатів вимірювань метеорологічних станцій і радіозондів. Дана робота продовжує попередню роботу [3].

2. Архітектура системи та середовище розробки

Створення веб-додатків із кожним роком набуває все більшої популярності завдяки наданню постійного доступу до потрібних даних. Веб-додаток – це клієнт-серверний додаток, в якому клієнтом виступає браузер, а сервером – веб-сервер. Робота веб-додатку розподіляється між сервером і клієнтом, дані зберігаються, переважно, на сервері, а обмін інформацією між клієнтом і сервером відбувається через мережу. Як правило, веб-додаток складається з трьох основних складових: серверної і клієнтської частин та бази даних.

Серверна частина веб-додатку – це програма на сервері, що відповідає за обробку запитів від браузерів користувачів. Сервер опрацьовує відповідні запити, і результати відсилає клієнтам через мережу.

Клієнтська частина веб-додатку – це графічний інтерфейс користувача, який відображається у браузері і дозволяє користувачеві взаємодіяти з серверною частиною веб-додатку [4].

У результаті проведених досліджень визначено набір переваг, які доцільно враховувати при проектуванні та розробці веб-систем зберігання і візуалізації даних гідрометеорологічного прогнозування й моніторингу:

- використовувати вільне програмне забезпечення;
- мови програмування Java, PHP, HTML, JavaScript;
- СУБД PostgreSQL з додатком PostGIS;
- як картографічну основу використовувати, наприклад, OpenStreetMap [5], що є відкритим проектом зі створення загальнодоступних карт світу;
- для відображення на карті геометричних об'єктів, що створюються на основі розрахункових даних метеопрогнозу, використовувати JavaScript-бібліотеку Leaflet та додаткові плагіни для реалізації необхідних функціональних можливостей;
- веб-браузер – Google Chrome, як найбільш поширений у використанні;
- як серверну платформу доцільно використовувати сервер застосовувань Apache Tomcat [6]. Серед сильних сторін середовища Apache Tomcat, актуальних при розробці веб-систем, можна відзначити забезпечення цілісної і повнофункціональної підтримки роботи на різних платформах (підтримка платформ Windows; Mac OS X; BSD; Linux; Solaris; VMS);
- клієнтську частину доцільно розробляти відповідно до класифікації [7] як фізично дволанкову та вертикально розподілену з тонким клієнтом;
- схему веб-карти (Web map layout) створювати близькою до fluid map layouts [8], однієї із двох найбільш популярних у веб-картографії, при якій карта займає всю сторінку, а всі інші елементи карти розміщуються на картографічній області;
- як розширення функціональності в системах доцільно використовувати картографічну анімацію [9] типу «карти динаміки площинних контурів явищ на різні дати»;
- оскільки на карту необхідно додавати значну кількість просторових об'єктів для забезпечення швидкодії даного процесу, необхідно використовувати векторні тайли [10].

До розгляду пропонується приклад прототипної версії веб-системи для зберігання та візуалізації даних гідрометеорологічного прогнозування та моніторингу, спроектованої та розробленої з використанням перерахованих вище переваг. Дана веб-система надає користувачу можливості отримання оперативного прогнозу погоди з використанням сучасних web-технологій на базі системи чисельного прогнозу погоди WRF-Україна та вимірів метеорологічних станцій та радіозондів. Прогнозна інформація й дані вимірів зберігаються у БД та надаються користувачеві за запитами.

3. Інтеграція даних вимірів до веб-системи та їх візуалізація у веб-інтерфейсі

Серед багатьох видів метеорологічних вимірів особливе значення мають виміри мережі наземних синоптичних метеостанцій та даних радіозондування, які проводяться національними гідрометеослужбами у відповідності з вимогами Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) [11]. В Україні діє мережа приблизно з 180 наземних метеостанцій. Дані меншої частини станцій (розташованих переважно в обласних центрах) та дані радіозондування потрапляють до міжнародних баз даних ВМО і доступні для завантаження (наприклад, <http://weather.uwyo.edu>). Дані вимірювань наземних станцій ВМО містять у собі вимірювання за «стандартні» терміни 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 год наступних змінних: швид-

кість і напрям вітру, температура точки роси, тиск, хмарність, опади за минулі 24, 12, 6, або 3 год. Дані наземних метеостанцій передаються у форматі і кодах SYNOP [12].

Наразі в Україні виконується запуск двох радіозондів із переліку існуючих двічі на добу: в 0 та 12 годин UTC.

Дані радіозондів містять вимірювання на рівнях тиску 1000 Мб, 950 мб, 900 мб і наступних змінних: висота рівня в м над рівнем моря, швидкість і напрям вітру, температура, температура точки роси. Дані передаються у кодах та форматі КН-04 [11].

Для інтеграції даних вимірів у базу даних системи була розроблена компонента обробки вимірів, що декодує дані вимірів у форматах SYNOP та КН-04 і завантажує результати у базу даних. Для забезпечення зазначеної функції було розроблено ряд скриптів. А саме:

- для підключення до бази даних та виконання операцій insert, count, update, delete, select;

- для виконання команд на віддаленому сервері через мережевий протокол SSH, таких, як копіювання файлів за вказаний період (за замовчанням за минулі 60 хв), видалення файлів із тимчасової папки, отримання файлів із віддаленого сервера через протокол SFTP;

- для роботи з вмістом файла. Виконання таких операцій, як вибір метеостанції, декодування даних вимірів за типами (хмарність, швидкість та напрямок вітру, температура повітря, тиск повітря, кількість опадів за період, дефіцит точки роси на стандартних ізобаричних поверхнях, швидкість і напрямок вітру на стандартних ізобаричних поверхнях);

- для обчислення деяких показників, наприклад, відносної вологості та тиску на рівні моря.

У системі передбачено перегляд результатів вимірювань метеорологічних станцій та радіозондів.

Перелік типів вимірів метеорологічних станцій:

- температура повітря на висоті 2 м [C°];

- швидкість вітру на висоті 10 м [м/с];

- напрям вітру на висоті 10 м [°];

- точка роси [C°];

- опади [мм] за період [год];

- тиск [гПа];

- тиск на рівні моря [гПа];

- хмарність [бали];

- відносна вологість [%].

Перелік типів вимірів радіозондів для набору значень тиску (гПа, 100, 150, 200, ..., 1000):

- температура повітря [C°];

- швидкість вітру [м/с];

- напрям вітру [°];

- відносна вологість [%];

- точка роси [C°].

Для перегляду результатів вимірювань за метеостанціями необхідно вибрати метеорологічну станцію за назвою або кодом ВМО та період проведення вимірювань (рис. 1 – рис. 4).

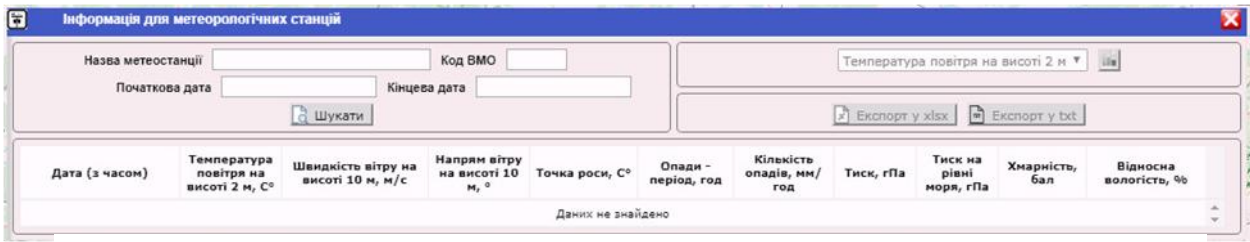


Рисунок 1 – Вікно пошуку результатів вимірювань за метеостанціями

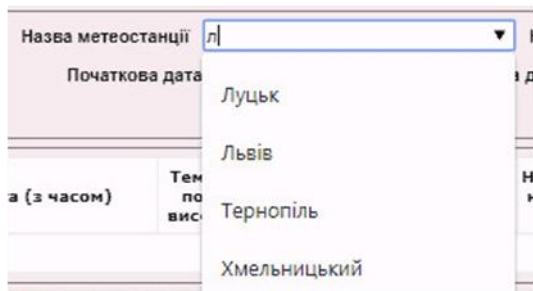


Рисунок 2 – Пошук метеостанції за назвою

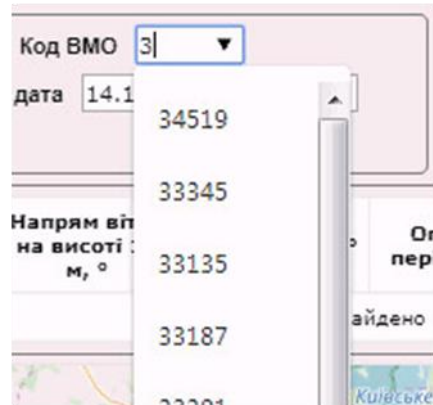


Рисунок 3 – Пошук метеостанції за кодом ВМО

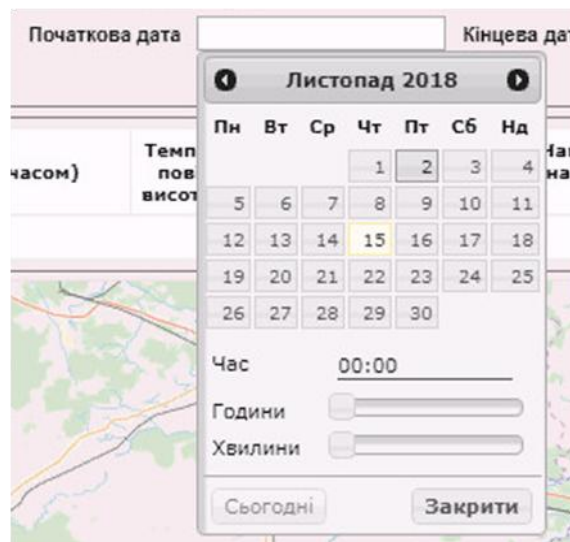


Рисунок 4 – Вибір періоду вимірювань

Якщо для обраної метеостанції та інтервалу часу у базі даних наявні виміри, то вони будуть виведені у табл. (рис. 5).

Інформація для метеорологічних станцій

Назва метеостанції: Луцьк Код ВМО:

Початкова дата: 09.11.2018, 00:00 Кінцева дата: 14.11.2018, 00:00

Шукати

Температура повітря на висоті 2 м

Експорт у xlsx Експорт у txt

Дата (з часом)	Температура повітря на висоті 2 м, С°	Швидкість вітру на висоті 10 м, м/с	Напряв вітру на висоті 10 м, °	Точка роси, С°	Опади - період, год	Кількість опадів, мм/год	Тиск, гПа	Тиск на рівні моря, гПа	Хмарність, бал	Відносна вологість, %
11.11.2018, 04:00	0.10000	4.00000	100.00000	2.60000	24	100.00000	996.10000	1020.40000	7.50000	119.67334
11.11.2018, 07:00	10.00000	3.00000	100.00000	0.90000	18	100.00000	996.70000	1021.20000	7.50000	53.14895
11.11.2018, 10:00	1.80000	3.00000	110.00000	1.00000			997.60000	1022.20000	0.00000	94.41737

Рисунок 5 – Результат вибору даних з БД за вказаними параметрами

Результати вибору даних із БД за заданими користувачем умовами можна переглянути у вигляді графіків для обраного типу виміру. Наприклад, для перегляду даних вимірювань температури повітря на висоті 2 м (рис. 6) або експортувати дані таблиці у файли формату xlsx або txt. Дані, для яких було побудовано графік, також можуть бути експортовані у файли формату xlsx або txt.

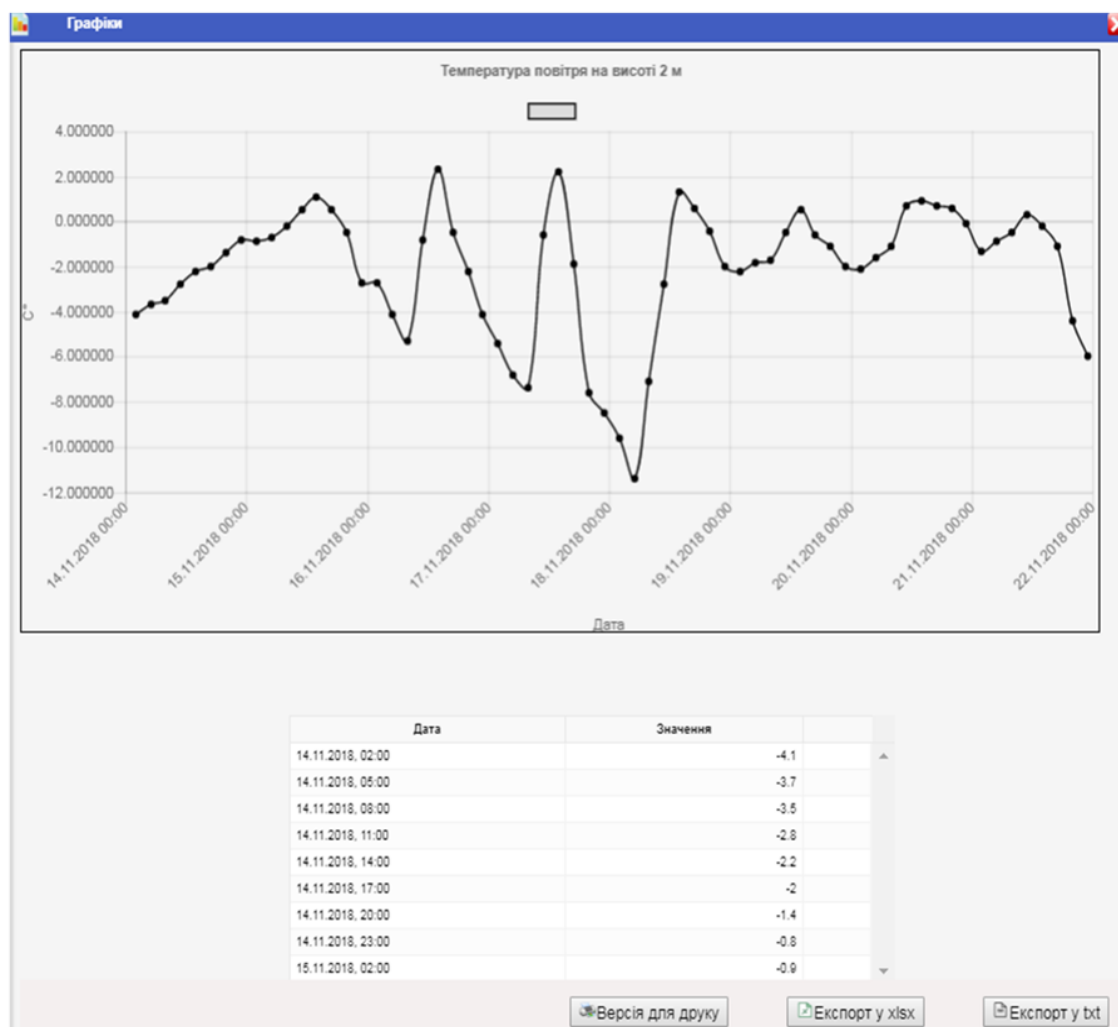


Рисунок 6 – Графік динаміки зміни температури повітря на висоті 2 м

Для перегляду результатів вимірювань радіозондів виконуються аналогічні дії, так як радіозонди запускаються в місцях розміщення наземних метеорологічних станцій (за

деяким винятком). Оскільки виконується запуск тільки двох радіозондів двічі на добу, спочатку необхідно вказати період вимірювань для формування переліку саме тих радіозондів, які проводили вимірювання в даний час. У випадку, якщо користувач має інформацію стосовно того, що конкретний радіозонд проводив вимірювання в інтервал, який його цікавить, можна спочатку вказати метеостанцію за кодом ВМО або назвою, а потім вказувати інтервал часу. Виміри радіозонду будуть виведені у табл. (рис. 7).

Дата (з часом)	Тиск, гПа	Температура повітря, С°	Швидкість вітру, м/с	Напряв вітру, °	Відносна вологість, %	Точка роси, С°
11.11.2018, 04:00	1000.00000		0.00000			
11.11.2018, 04:00	925.00000	6.40000	1.00000	180.00000	77.74518	2.80000
11.11.2018, 04:00	850.00000	7.00000	0.00000	165.00000	30.92339	-9.00000
11.11.2018, 04:00	700.00000	-1.10000	0.00000	245.00000	20.14814	-21.10000
11.11.2018, 04:00	500.00000	-19.50000	0.00000	270.00000	69.12633	-23.70000
11.11.2018, 04:00	400.00000	-32.90000	1.00000	285.00000	81.24816	-35.00000
11.11.2018, 04:00	300.00000	-46.30000	1.00000	300.00000		
11.11.2018, 04:00	250.00000	-54.50000	1.00000	325.00000		
11.11.2018, 04:00	200.00000	-61.50000	1.00000	315.00000		
11.11.2018, 04:00	150.00000	-60.30000	1.00000	300.00000		
11.11.2018, 04:00	100.00000	-60.90000	1.00000	295.00000		
12.11.2018, 04:00	1000.00000		0.00000		78.40000	
12.11.2018, 04:00	925.00000	2.40000	1.00000	180.00000	67.74518	2.80000
12.11.2018, 04:00	850.00000	9.80000	0.00000	165.00000	41.92339	-9.00000
12.11.2018, 04:00	700.00000	-1.10000	0.00000	245.00000	39.14814	-21.10000
12.11.2018, 04:00	500.00000	-23.50000	0.00000	270.00000	54.12633	-23.70000
12.11.2018, 04:00	400.00000	-39.90000	1.00000	285.00000	71.24816	-35.00000
12.11.2018, 04:00	300.00000	-40.30000	1.00000	300.00000		
12.11.2018, 04:00	250.00000	-50.50000	1.00000	325.00000		
12.11.2018, 04:00	200.00000	-54.50000	1.00000	315.00000		

Рисунок 7 – Дані вимірювань температури повітря

Для обраних параметрів можна побудувати вертикальні розподіли у вигляді графіків залежності значення обраного типу виміру від тиску. Наприклад, для температури повітря (рис. 8).

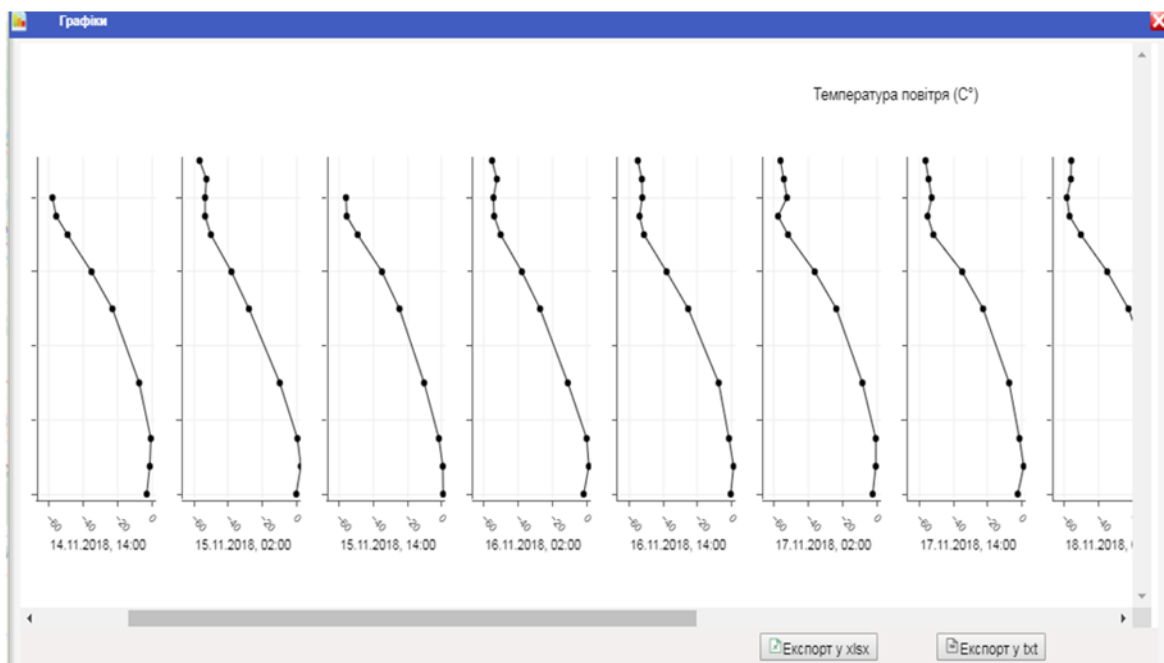


Рисунок 8 – Вертикальний розподіл температури повітря за даними радіозондування

4. Інтеграція даних прогнозування до веб-системи та їх візуалізація у веб-інтерфейсі

Метеорологічні прогнози формуються з використанням системи «WRF-Україна» на 0, 6, 12, 18 годин UTC на період 108 годин для трьох прогнозних областей:

- вся Україна (lat_1=14,4744, lon_1=41,4747; lat_2=45,5256, lon_2=60,5253);
- північно-західна частина (lat_1=24,2244, lon_1=49,1247; lat_2=31,8757, lon_2=52,4253);
- південно-східна частина (lat_1=29,6243, lon_1=46,4247; lat_2=36,3756, lon_2=48,9753).

Тут lat_1, lon_1 – широта та довгота нижнього західно-південного кута, а lat_2, lon_2 – широта та довгота верхнього північно-східного кута відповідної області.

Прогнози заносяться до БД веб-системи та стають доступними користувачу для аналізу, оскільки для збереження прогнозної інформації у БД необхідний значний ресурс одночасно зберігається лише 3–4 останні прогнози для кожної прогнозної області. Так, база даних для одного розрахунку однієї прогнозної області складає близько 30 Мб. Звідси, наприклад, для 100 розрахунків необхідно близько 3 Гб. Оновлення БД виконується в нічний час.

Для перегляду даних для конкретних областей прогнозування наявна інформація стосовно чотирьох типів прогнозних показників:

- температура повітря на висоті 2 м [C°];
- швидкість та напрям вітру на висоті [м/с, °];
- приземний тиск [Па];
- конвективні та неконвективні опади [мм/год].

Із використанням даних прогнозів надається метеорологічна інформація у вигляді графіків для сільськогосподарських полів. Вибір інформації з БД щодо конкретного сільськогосподарського поля виконується за координатами для відповідної комірки прогнозної сітки. Типи можливих показників:

- температура повітря на висоті 2 м [C°];
- напрямок вітру на висоті 10 м [°];
- швидкість вітру на висоті 10 м [м/с];
- відносна вологість;
- опади [мм/год];
- приземний тиск [Па];
- температура ґрунту на глибині (0,0, 0,05, 0,2, 0,4 [м]) [C°];

- відносна вологість ґрунту на глибині (0,0, 0,05, 0,2, 0,4 [м]).

При необхідності переглянути загальні прогнози для однієї з трьох прогнозних областей необхідно вибрати потрібний прогноз з переліку доступних прогнозів (рис. 9).

Після вибору потрібного прогнозу на екрані з'являється вікно для перегляду результатів прогнозу (рис. 10).

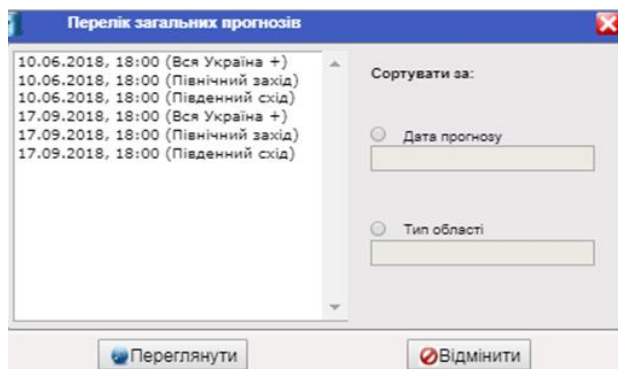


Рисунок 9 – Перелік наявних прогнозів

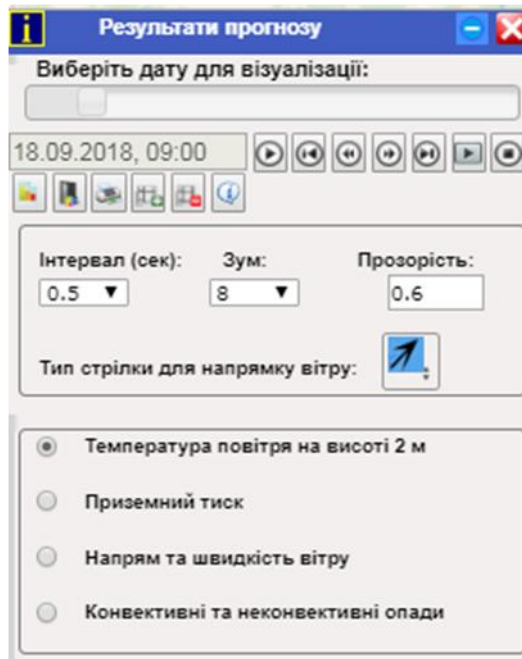


Рисунок 10 – Вікно для перегляду результатів загального прогнозу

Користувачу необхідно вибрати дату, тип показника та ініціювати відображення результатів на карту (рис. 11). Додатково наявна можливість побудови графіка для вибраної комірки.

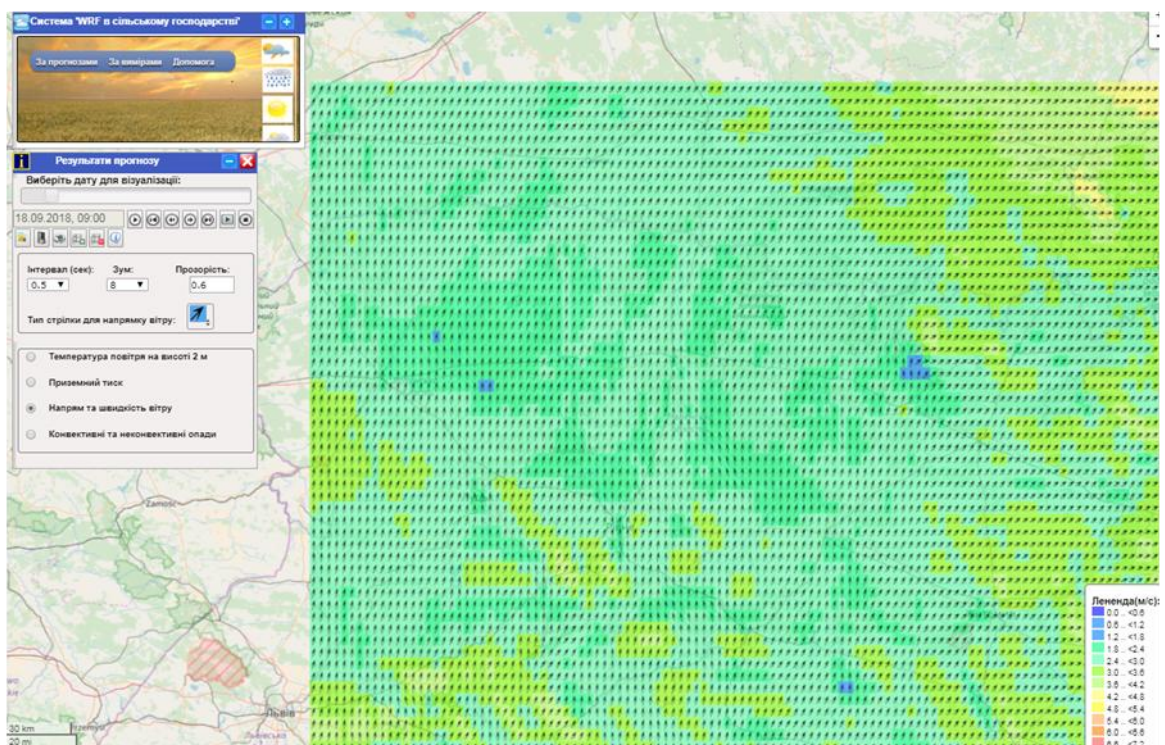


Рисунок 11 – Результат прогнозу швидкості та напрямку вітру

Для візуалізації результатів прогнозів для сільськогосподарських (с/г) полів необхідно вибрати конкретне поле за координатами, потрібні наявний прогноз та тип прогнозного показника (рис. 12):

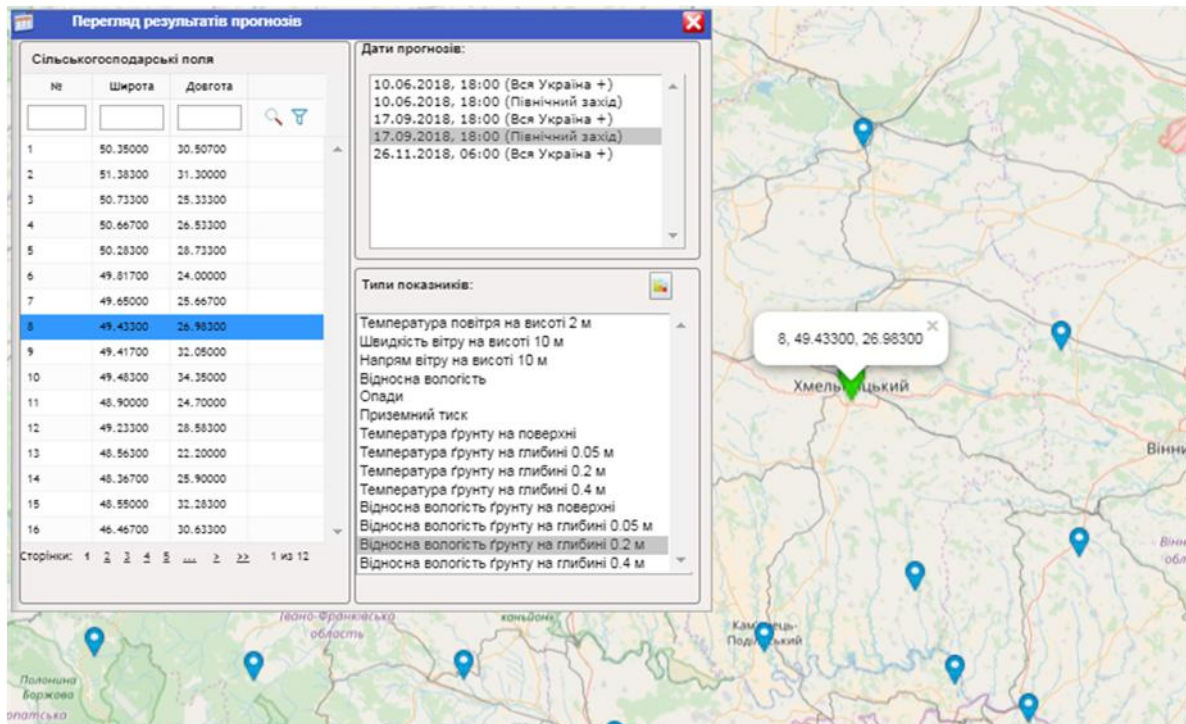


Рисунок 12 – Відображення с/г полів та вибір параметрів для побудови графіка

Для с/г полів прогнозуються як стандартні метеорологічні показники такі, як температура повітря, опади, вологість, вітер, так і спеціалізовані агрометеорологічні показники, а саме: температура та вологість ґрунту на різних глибинах. Після вибору вказаних параметрів та ініціалізації побудови графіка можна переглянути результат (рис. 13, 14) або виконати експорт даних, для яких побудовано графік у файл формату xlsx та txt за необхідністю.

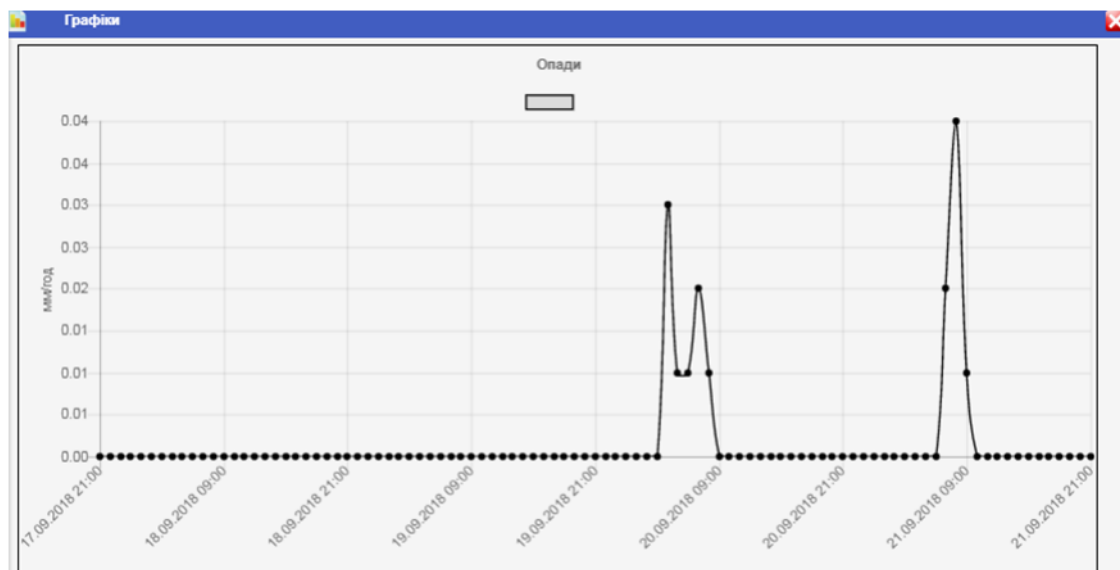


Рисунок 13 – Прогноз опадів за обраний період для обраного с/г поля

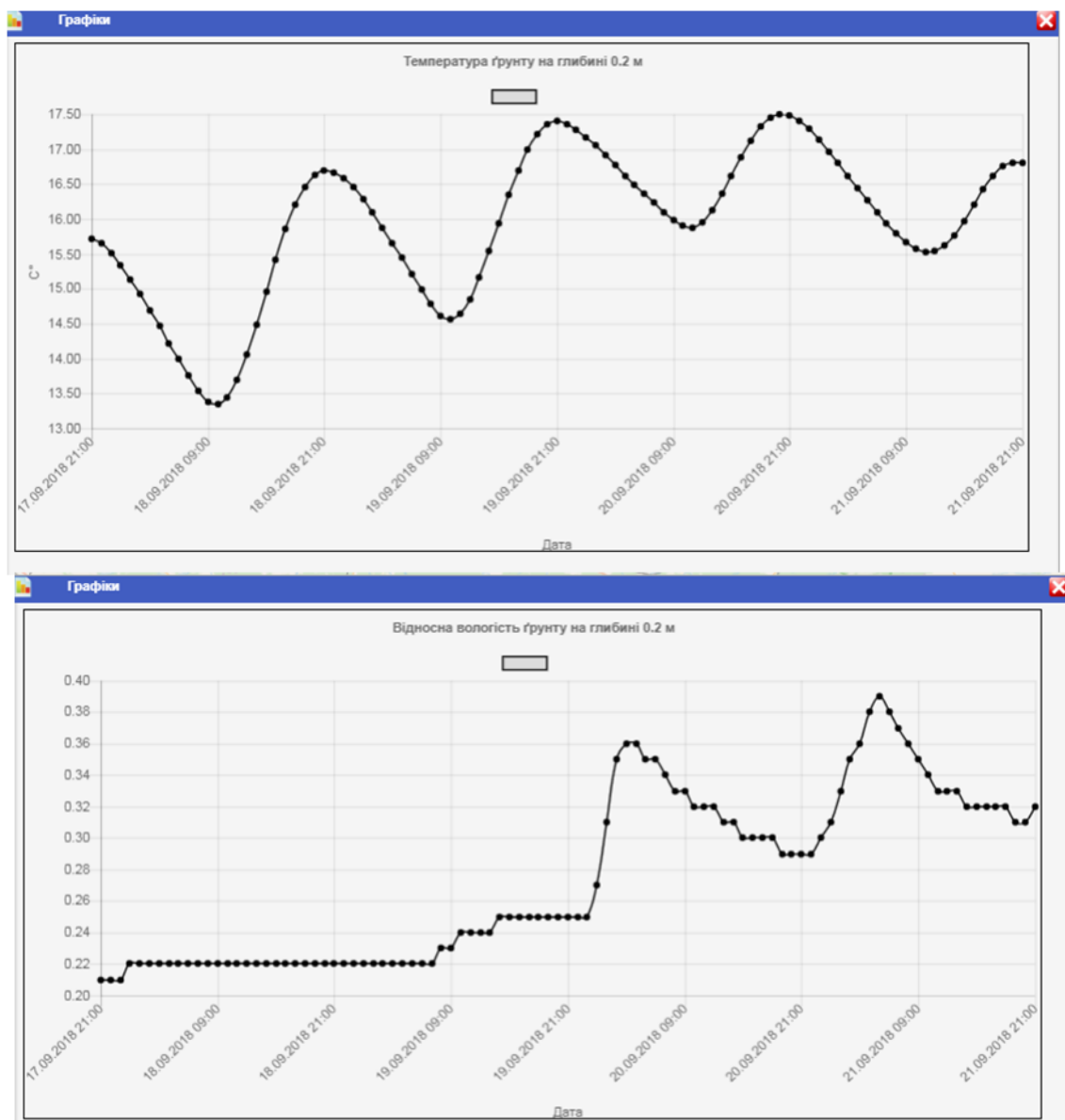


Рисунок 14 – Прогноз температури та вологості ґрунту за обраний період для обраного с/г поля

5. Висновки

У результаті проведених досліджень запропоновано архітектуру та перелік переваг, які доцільно враховувати при проектуванні та розробці веб-систем зберігання та візуалізації даних гідрометеорологічного прогнозування та моніторингу.

Розроблено інформаційні технології збереження агрометеорологічних прогнозів та даних вимірів у базі даних, а також візуалізації відповідних даних прогнозування та вимірів через веб-інтерфейс. Створена система надає можливість відображення не тільки стандартних метеорологічних параметрів, але й агрометеорологічних параметрів, які прогноуються для сільськогосподарських ділянок, а саме: температури та вологості ґрунту на різних глибинах від поверхні Землі (0, 5, 20, 40 см). У систему автоматично потрапляють дані вимірів наземних синоптичних метеостанцій та радіозондів, які вільно розповсюджуються в Інтернеті через Всесвітню метеорологічну організацію. Дані усіх вимірів, включаючи дані вертикального зондування атмосфери, можуть бути візуалізовані у системі, що полегшує роботу над аналізом результатів метеорологічного прогнозування.

Практичне значення представлених результатів полягає в тому, що розроблені інформаційні технології гідрометеорологічного прогнозування можуть бути впроваджені для планування с/г діяльності та агрометеорологічного моніторингу в Україні. Результати можуть бути використані як приватними підприємствами, так і державними організаціями; Українським гідрометцентром, відповідальними за агрометеорологічне прогнозування та здійснення агрометеорологічного моніторингу.

ПОДЯКА

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом № Ф76/34278.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Ковалець І.В., Халченков О.В., Полонський О.О. Використання системи WRF-Україна для прогнозування агрометеорологічних умов. *Математичні машини і системи*. 2019. № 1. С. 36–48.
2. Ковалець І.В., Халченков О.В., Ануліч С.М., Удовенко О.І. Оперативне прогнозування метеорологічних полів для систем попередження про паводки у Карпатах. *Математичні машини і системи*. 2015. № 3. С. 118–125.
3. Ковалець І.В., Майстренко С.Я., Донцов-Загреба Т.О., Ануліч С.М., Халченков О.В., Хурцилава К.В., Полонський О.О. Web-система прогнозування метеорологічних умов для довільної території на детальних сітках. *Математичні машини і системи*. 2018. № 1. С. 78–89.
4. Майстренко С.Я., Загреба Т.О., Хурцилава К.В. Приклад архітектури web-додатку з використанням вільного програмного забезпечення та специфічні аспекти реалізації його геоінформаційної компоненти. *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика: матеріали наук.-практ. конф. з міжнар. участю* (Київ, червень 2017 р.). Київ, 2017. С. 95–98.
5. OpenStreetMap. URL: <https://uk.wikipedia.org>.
6. Apache Tomcat. URL: <http://tomcat.apache.org>.
7. Таненбаум Э., Стеен ван М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. СПб.: Питер, 2003. 877 с.
8. Muehlenhaus I. Web Cartography Map Design for Interactive and Mobile Devices. Boca Raton: CRC Press, 2014. 240 p.
9. Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С., Глазырин В.В. Геоинформатика: учебник для студ. вузов / под ред. В.С. Тикунова. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 480 с.
10. Rubalcava R. Introducing ArcGIS API 4 for JavaScript Turn Awesome Maps into Awesome Apps. New York: Apress, 2017. 136 p.
11. Code SYNOP. URL: http://www.weather.org.uk/resource/syn_code.htm.
12. Upper Air Data Codes. URL: <http://tornado.sfsu.edu/Geosciences/classes/m400/Lab2/files/RadiosondeCode.html>.

Стаття надійшла до редакції 20.12.2018