

УДК 004.4

А. Г. Батурінець, С. В. Антоненко

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

## **ОГЛЯД ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ГІДРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ**

Розглянуто програмні засоби для аналізу, моделювання та візуалізації гідрологічних даних. Представлено огляд основних можливостей комерційних програмних продуктів та програмних засобів з відкритим вихідним кодом. Визначено особливості використання проектів з відкритим вихідним кодом при створенні програмних засобів.

**Ключові слова:** *візуалізація даних, аналіз гідрологічних даних, ГИС, GRASS, QGIS, SAGA, ESRI.*

Рассмотрены программные средства для анализа, моделирования и визуализации гидрологических данных. Представлен обзор основных возможностей коммерческих программных продуктов и программных продуктов с открытым исходным кодом. Определены возможности использования проектов с открытым исходным кодом при создании программных средств.

**Ключевые слова:** *визуализация данных, анализ гидрологических данных, ГИС, GRASS, QGIS, SAGA, ESRI.*

The use of various software tools, including geoinformation technologies, in modern hydrological research is due to the large volumes of spatial information used, the complexity, specifics of its processing, analysis and visualization. The main goal of the work is to review the software tools and their capabilities in conducting hydrological studies. Not only commercial software tools are considered in this paper, but also so-called OpenSource projects, which in one way or another provide solutions to hydrological tasks. In the analysis of literature, the authors of the article are considering works on application of existing software tools in hydrological research, as well as new, modern developments in this direction. The following commercial software products were considered: ESRI's product line (ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox), ESRI and Aquaveo's joint campaign development software package (Arc Hydro Groundwater, which includes Groundwater Analyst, Subsurface Analyst and MODFLOW Analyst), as well as company products MIKE powered by DHI (MIKE Hydro Basin, MIKE Hydro River, MIKE She, MIKE 21C). The following OpenSource projects are also considered: SAGA, GRASS, ILWIS, QGIS, GvSIG, MAPWINDOW, Hydro Desktop. In addition to

reviewing the main features of the listed software, the authors provide some comments on the features of the work of these tools. On the basis of the results of the review, conclusions were made about the disadvantages and advantages of using both commercial and OpenSource projects. The main variants of using the existing GIS for research are proposed, as well as a list of the main aspects that should be taken into account when choosing software tools distributed under a general public license. An assumption is made about the possibility of using GIS when creating a system for analyzing hydrological monitoring data.

**Keywords:** *data visualization, analysis of hydrological data, GIS, GRASS, QGIS, SAGA, ESRI.*

**Вступ.** Моніторинг та аналіз даних водних ресурсів є гострим питанням не тільки для України, а і загалом для світу. Питаннями розробки нових моделей та інструментальних засобів дослідження гідрологічних даних та процесів займається велика кількість компаній та дослідницьких інститутів у світі.

Зважаючи на кількість даних, що збираються відповідними установами для аналізу, та кількість чинників, що впливають на водні об'єкти, викликає необхідність використання профільного програмного забезпечення для моніторингу та аналізу отриманих даних. Зазвичай, розробляються вузькоспеціалізовані програмні засоби для розв'язання певної задачі, поставленої спеціалістами предметної області.

Окремим різновидом прикладного програмного забезпечення для аналізу та візуалізації даних для гідрогеологічних досліджень є так звані геоінформаційні системи (ГІС).

**Аналіз літературних даних.** Використання сучасних ГІС для аналізу гідрологічних даних та візуалізації отриманих результатів у контексті розв'язання різних задач було розглянуто, наприклад, у задачі визначення особливостей територіального розподілу річного стоку [1], побудови геостатистичних моделей оцінювання якості води у вигляді баз статистичних даних моніторингу поверхневих вод з використанням ArcGIS 9.2 [2], аналізу умов руслоформування з використанням ArcView 9.3 [3], використання ГІС технологій для побудови прогнозу повіні [4], використання SAGA для картографічного представлення чутливих до затоплення районів [5] та при визначенні гідрологічної шорсткості за допомогою дистанційного зондування ближнього діапазону [6].

Сучасні дослідження та розвиток ГІС інструментарію для розв'язання гідрологічних задач можна побачити в роботах [7–17].

Створення та впровадження українськими розробниками веб-

сервісу GIS DATA є одним з підтверджень актуальності теми розробки ГІС в Україні [18].

**Постановка цілей статті.** Основна мета роботи – здійснити аналітичний огляд існуючих програмних засобів для аналізу та візуалізації гідрологічних даних, виявити їх основні можливості та недоліки. Крім того, потрібно визначити основні аспекти використання існуючих програмних рішень у гідрологічних дослідженнях, зокрема проєктів з відкритим вихідним кодом.

**Основний матеріал.** Загальноприйнятими способами візуалізації результатів аналізу будь-яких даних є: графіки, діаграми, таблиці тощо. Проте, зважаючи на специфіку досліджень у різних прикладних областях, зокрема в гідрологічних, не завжди зазначені способи опису результатів дають змогу швидко та якісно оцінити отримані результати.

Перелік типових задач гідрології досить великий, серед них можна виділити пошук річок-аналогів, розрахунок кривих забезпеченості та основних характеристик гідрологічних об'єктів, прогнозування показників та моделювання поведінки водних об'єктів тощо.

Все частіше в різних прикладних областях для аналізу та візуалізації результатів використовують ГІС технології.

ГІС призначені для збору та зберігання, обробки та аналізу, відображення і розповсюдження просторово-координованої інформації. Найбільш складні рішення включають в себе експертну підтримку і дозволяють отримувати обґрунтовані висновки, що необхідні для прийняття рішень відповідно до поставленої задачі. Кінцевим результатом роботи ГІС є відображення даних у вигляді карти чи графіка.

Використання програмних продуктів ГІС дає можливість у картографічному вигляді відображати дані спостережень та результати аналізу даних, моделювати технологічні та природні процеси тощо.

Слід також зазначити, що поряд з програмними засобами, що розповсюджуються на комерційній основі, є засоби з відкритим вихідним кодом, що є більш використовуваними завдяки як можливості використання вже готового рішення, так і розширення можливостей відповідно до поставленого завдання.

Розглянемо найбільш відомі програмні засоби, що забезпечують роботу з гідрологічними даними.

SAGA (Systemfor Automated Geoscientific Analyses) – переважними сторонами даної системи є наявність блоків для проведення розрахунків форм поверхні, освітлення, міграції речовин та енергії, а також наявність можливостей гідрологічного аналізу. В програмній

системі наявні бібліотеки геостатистичного аналізу, наприклад, Geostatistics-Regression для оцінювання взаємозв'язків з використанням регресійного аналізу, а також для гідрологічного моделювання – бібліотека Simulation-Hydrology, яка надає можливості симуляції поверхневого стоку, оцінки складу ґрунтової вологи, вивчення особливостей перерозподілу стоку в невеликих басейнах [19].

Окрім простих загальноприйнятих операцій обробки даних, програмна система SAGA включає актуальні підходи до аналізу даних, та частина модулів поєднує сучасні аналітичні алгоритми. Завдяки відкритості вихідного коду розширення системи можливе з використанням мови програмування Python та консольних скриптів.

Аналогами SAGA вважаються системи GRASS та ILWIS, оскільки саме вони вміщують більшість алгоритмів та функціональних можливостей просторового аналізу.

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) – підтримує велику кількість форматів даних. Основними можливостями є управління даними, обробка зображень, аналітична та картографічна візуалізація, просторове моделювання. Має можливості гідрологічного аналізу, а для проведення геостатистичного аналізу можливе використання мови програмування R. Мови програмування для розширення можливостей – Shell, Bash, Python, Perl [21].

ILWIS (Integrated Land and Water Information System) має дуже потужні модулі растрового аналізу, інструменти класифікації, може поєднувати різні джерела даних, має можливості геостатистичного аналізу з використанням кригінгу для поліпшення результатів інтерполяції, розширені можливості моделювання та аналізу просторових даних, а також можливості інтерактивної візуалізації просторових часових даних. Мови програмування для розширення можливостей – власна скриптова мова ILWIS [21].

В ILWIS не підтримується робота з базами даних та відсутні можливості читання або створення табличних даних, тобто система працює з растровими зображеннями та векторними даними, що дещо звужує можливості даної системи при вирішенні гідрологічних задач. З іншого боку, з розвитком технологій набирає популярності обробка супутникових знімків для вирішення задач не лише гідрології, а й інших прикладних областей. Суттєвим недоліком, на думку авторів, є також застосування власної мови програмування ILWIS ScriptingLanguage.

QGIS (QuantumGIS) – кросплатформна ГІС. QGIS пропонує

розширені можливості створення, перегляду та редагування карт, дослідження просторових геоданих, створення та редагування shape-файлів та векторних шарів GRASS, обробку шарів PostGIS, візуалізацію та редагування даних OpenStreetMap, використання інструментів аналізу, геопроецюінгу, управління базами даних, можливості аналізувати векторні просторові дані, використовуючи модуль fTools [22].

Можливість використання інтегрованих інструментів GRASS, що включають функціональність більше ніж трьохсот модулів, робить QGIS потужним інструментом розв'язання гідрогеологічних задач. Завдяки розширюваній архітектурі QGIS та наявності бібліотек, що можуть використовуватися для створення модулів, є можливість адаптувати QGIS відповідно до потреб дослідження. Наявна можливість створення окремих застосунків з використанням мови програмування C++ або Python.

GvSIG – програмний засіб з можливостями використання локальних (файли, бази даних) та віддалених даних, роботи із шарами, що надає можливість відображення необхідних об'єктів, функції масштабування карти, автоматичний розрахунок відстаней, розміщення об'єктів на карті, можливість розширення функціональності з використанням мови програмування Python тощо [23].

Програмні продукти QGIS та gvSIG реалізують свій аналітичний потенціал через додаткові надбудови та вбирають у себе функціонал програмних систем GRASS/ SAGA/ ILWIS.

MAPWINDOW – безкоштовна ГІС, що включає декілька взаємопов'язаних проектів: MapWindow 4, MapWindow 5 та MapWinGIS, кожен з проектів розробляється окремою командою [24].

Hydro Desktop – безкоштовне програмне забезпечення для завантаження, візуалізації, редагування та інтеграції гідрологічних даних з іншими інструментами моделювання [25]. Використовує бібліотеку DotSpatial, написану мовою програмування C# для проведення аналізу даних. Взаємодіє з іншими проектами MAPWINDOW.

Використання перелічених програмних продуктів хоча і допомагає в розв'язанні певної кількості гідрологічних задач, проте, наприклад, для вирішення задач прогнозування певних характеристик водних об'єктів (окремих хімічних показників, рівнів води тощо) необхідно розширювати функціональні можливості, зазвичай з використанням мов програмування, що містять відповідні пакети для аналізу (наприклад, Python та R).

Достатньо популярним та потужним інструментом для гідрологічних досліджень є лінія програмних продуктів від компанії ESRI під загальною назвою ArcGIS [26].

Однією з програмних систем компанії ESRI є ArcGISDesktop. ArcGISDesktop – повнофункціональна, масштабована система, розроблена для широкого кола користувачів. Включає три взаємопов'язані базові застосунки: ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox.

ArcMap – базовий застосунок ArcGISDesktop. Використовується для всіх картографічних задач та включає створення та аналіз карт, редагування даних. В ArcMap наявні два способи відображення та роботи з картами: 1) у вигляді географічних даних та 2) у вигляді компоновки, що дає можливості розв'язання різноманітних ГІС задач. ArcCatalog призначений для структурування та управління даними, пошуку та перегляду географічних даних, створення та перегляду метаданих, тощо. Arc Toolbox – простий застосунок, що має інструменти обробки геоданих.

Програмні компоненти системи ArcGIS Desktop наявні у вигляді трьох програмних продуктів: ArcView, ArcEditor, ArcInfo, що надають можливість картографування та аналізу, інструменти простого редагування та геообробки. Завдяки взаємопов'язаності зазначених продуктів та спільній архітектурі є можливим обмін результатами роботи між будь-якими із вказаних продуктів. Можливості кожного з перелічених застосунків розширюються використанням додаткових модулів.

Комплекс перелічених продуктів компанії ESRI забезпечує розв'язання гідрологічних задач, здебільшого з використанням морфологічних (наприклад, довжина річки, коефіцієнт звивистості, коефіцієнт густоти річкової сітки) та морфометричних (наприклад, для водного перерізу річки – площа водного перерізу, ширина річки, середня і максимальна глибини тощо) характеристик водних об'єктів. Проте без додаткових модулів їх можливості обмежені, наприклад, щодо аналізу числових послідовностей даних, що відображають динаміку деяких процесів.

Arc Hydro Groundwater – спільна розробка компаній ESRI та Aquaveo. Arc Hydro Groundwater складається з трьох програмних застосунків: Groundwater Analyst, Subsurface Analyst та MODFLOW Analyst.

Groundwater Analyst – програмний застосунок з такими можливостями: імпорт різноманітних наборів даних (часові ряди, перерізи, об'єми тощо), візуалізація даних у вигляді карт чи графіків

часових рядів, карт рівнів або якості води, напрямків потоків, містить можливості обчислення статистичних показників часових рядів [27].

SubsurfaceAnalyst – застосунок, за допомогою якого реалізується створення та візуалізація тривимірних гідрологічних моделей, включає інструменти редагування даних про свердловини, засоби імпорту, створення й редагування тривимірних розрізів та об'ємів водних об'єктів [28].

MODFLOW Analyst – застосунок для створення, зберігання та відображення різних моделей водотоків у середовищі ArcGIS. Робота програмного модуля побудована на основі моделі даних MODFLOW. Включає можливості не лише візуалізації моделей, проведення аналізу вхідних та вихідних даних разом із іншими наборами даних, але й створення нових моделей з ГІС об'єктів [29].

Модуль Arc Hydro Groundwater Tools засновано на моделі даних ArcHydroGroundwater та створено для ефективної роботи з даними підземних вод у середовищі ArcGIS. Модель є логічним доповненням родинної моделі даних про поверхневі води.

Basic Toolkit – набір інструментальних засобів для імпорту даних у базу геоданих Arc Hydro, містить можливості управління ключовими атрибутами та візуалізації даних. Серед типів даних: джерела, часові ряди, розрізи, об'єми води тощо. Підтримує побудову карт та графіків, що включають дані з рівнями, показниками якості водних ресурсів та візуалізацію водних потоків. Набір інструментів BasicToolkit допомагає при роботі з даними підземних вод, при створенні карт рівнів та якості води, направлення її руху у водоносних пластах.

Arc Hydro Groundwater забезпечує роботу з часовими рядами, проте включає розв'язання далеко не всіх важливих гідрологічних задач, наприклад, визначення об'єктів-аналогів або прогнозування показників об'єктів не закладено в програмний комплекс тощо.

DHI (Dansk HYDRAULISK Institut, Інститут води та навколишнього середовища) є міжнародним консультантом фірм розробників програмного забезпечення гідравлічного та гідрологічного моделювання.

Temporal Analyst, розроблений DHI, є розширенням для зберігання, обробки, аналізу даних, забезпечує управління часовими рядами безпосередньо в ArcGis та динамічну обробку даних, моделювання та моніторинг.

Компанія MIKE при підтримці DHI розробляє спеціалізовані програмні продукти для аналізу гідрологічних даних та включає моделювання різноманітних процесів. Лінія програмних продуктів та

їх модулів забезпечує розв'язання великої кількості гідрологічних та гідрогеологічних задач. Серед програмних засобів компанії розглянуто такі: MIKE Hydro Basin, MIKE Hydro River, MIKE She, MIKE 21C.

MIKE Hydro Basin – програмний продукт на основі ГІС, призначений для аналізу, планування та управління водними ресурсами річних басейнів у рамках одного або декількох басейнів [30]. Серед основних можливостей – гідрологічне моделювання, включаючи метеорологічні умови та ґрунтові води, формування стоку водозборів, представлення результатів у графічному та табличному вигляді, експорт даних в інші застосунки тощо.

MIKE Hydro River – застосовується для розрахунків поверхневого стоку та аналізу систем річок різної складності [31]. Завдяки різноманітності модулів MIKE Hydro River є можливим розв'язання великої кількості гідрологічних задач, наприклад, прогнозування підтоплень, моделювання переносу та розповсюдження забруднюючих речовин та їх компонентів, розрахунки формування стоку, побудова різноманітних гідрологічних моделей тощо.

MIKE She (European hydrological system) – система моделювання поверхневих та ґрунтових вод [32]. Застосовується для аналізу, прогнозування та управління водними ресурсами, а також для рішення екологічних проблем при сумісному аналізі гідрологічних процесів підземних та поверхневих вод.

MIKE 21C застосовується у складних річних динаміках з упором на перенесення наносів та морфологію річок [33]. Серед задач, що підлягають розв'язанню з використанням програмного забезпечення, є аналіз стоків та динаміки паводків, проектування мереж моніторингу на основі морфологічного прогнозування тощо.

Комплекс програмних засобів, розроблених компанією MIKE при підтримці ДНІ, є дійсно потужним інструментом у рішенні гідрологічних задач, оскільки, окрім отримання базової комплектації відповідного програмного продукту, можлива інтеграція з іншими пакетами, розробленими компанією.

Незважаючи на велику функціональність зазначених програмних продуктів та можливість їх поєднання завдяки відкритості вихідного коду проектів, все ж для вирішення великої кількості гідрологічних задач необхідно доопрацювання, що, у свою чергу, вимагає спеціальних знань не тільки предметної області, а й навичок програмування.



Відповідно до зазначеного вище, розв'язання гідрологічних задач із залученням геоінформаційних технологій є можливим за такими схемами:

1. Використання готових ГІС, що мають можливості для розв'язання поставленої задачі та візуалізації результатів.

2. Використання програмних засобів для аналізу даних у поєднанні з ГІС для візуалізації результатів. Основною проблемою даного підходу, з якою може зіштовхнутися дослідник, є формати даних, що будуть створені в результаті використання програмних засобів для аналізу даних, та формати, необхідні для роботи з ГІС.

3. Використання можливостей існуючих проєктів ГІС з відкритим вихідним кодом з метою розширення їх функціональних можливостей. Основною проблемою даного підходу є необхідність знань предметної області в поєднанні з навичками програмування.

При використанні програм або їх складових з метою створення програмного забезпечення для досліджень (будь-якої предметної області), що розповсюджуються під загальною публічною ліцензією, необхідно звернути увагу на таке:

- підтримувальність операційних систем та мов програмування;
- характеристики технічної бази;
- володіння навичками програмування підтримуваною мовою проєкту;
- наявність, доступність та зрозумілість документаційної бази;
- наявність готових бібліотек, сумісних з обраним проєктом, що надало б можливість спростити реалізацію;
- користувачі всіх похідних від неї програм теж отримують права загальної публічної ліцензії, тобто використання програм і компонентів з відкритим вихідним кодом для проєктів, призначених для комерційного розповсюдження, ліцензія не допускає.

Основною проблемою комерційних ГІС є велика залежність від розробників, що в порівнянні з OpenSource проєктами сповільнює їх розвиток, а також висока вартість ліцензій на використання. З іншого боку, комерційні ГІС мають більш стабільну підтримку програмного забезпечення, на відміну від OpenSource проєктів.

У той же час основною перевагою OpenSource проєктів можна назвати можливість повної їх модифікації, а до недоліків віднести можливі недоробки розробниками та слабку підтримку вихідного коду.

**Висновки та перспективи подальшої роботи.** Проведений аналіз літературних даних підтверджує доцільність використання

спеціалізованих програмних засобів та ГІС технологій в гідрологічних дослідженнях, а також актуальність розробок даного напрямку.

Проведений огляд існуючих програмних рішень показав, що хоча ринок програмного забезпечення і дозволяє знайти необхідні інструменти, проте їх вузька орієнтованість та висока вартість підштовхують до використання деяких можливостей OpenSource проєктів при реалізації програмної системи гідрологічного моніторингу.

### Бібліографічні посилання

1. Ободовський О. Г., Лук'янець О. І., Коноваленко О. С., Корнієнко В. О. Середній річний водний стік річок Українських Карпат та особливості його територіального розподілу. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. № 4. С. 25–32.

2. Зацерковний В. І., Плічко Л. В. Аналіз підходів щодо створення бази геоданих ГІС моніторингу якості поверхневих вод. *Наукоємні технології*. 2018. № 37.1. С. 114–124.

3. Пасічник М. Д. Аналіз місцевих умов руслоформування річки Черемош із застосуванням ГІС-інструментарію. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2011. Т. 4. С. 75–84.

4. Zelentsov V. A., Potryasaev S. A., Pimanov I. Y., Ponomarenko, M. R. Integrated use of gis, remote sensing data and a set of models for operational flood forecasting. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. Vol.: XLII-3/W8. 2019. P. 477–483.

5. Garcia-Rivero A. E., Olivera J., Salinas E., Yuli R. A., Bulege W. Use of Hydrogeomorphic Indexes in SAGA-GIS for the Characterization of Flooded Areas in Madre de Dios, Peru. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. 12(19). P. 9078–9086.

6. Kaiser A., Neugirg F., Haas, F., Schmidt J., Becht M., Schindewolf M. Determination of hydrological roughness by means of close range remote sensing. *Soil*. 2015. 1(2). P. 613–620.

7. Ng G. H., Wickert A. D., Somers L. D., Saberi L., Cronkite-Ratcliff C., Niswonger R. G., McKenzie J. M. GSFLOW–GRASS v1.0.0: GIS-enabled hydrologic modeling of coupled groundwater–surface-water systems. *Geoscientific Model Development*. 2018. 11(12). P. 4755–4777.

8. Агапова О. Картографічне моделювання гідроенергетичного потенціалу малих річок Харківської області з використанням ГІС-технологій. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2016. 23. С. 3–10.

9. Criollo R., Velasco V., Vazquez-Sune E., Serrano-Juan A., Alcaraz M., García-Gil A. An integrated GIS-based tool for aquifer test analysis *Environmental Earth Sciences*. 2016. 75(5). P. 391.
10. Slater L. J., Thirel G., Harrigan S., Delaigue O., Hurley A., Khouakhi A., Prosdocimi I., Vitolo C., Smith, K. Using R in hydrology: a review of recent developments and future directions. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2019. 23(7). P. 2939–2963.
11. Schürz C. Development of tools and interfaces for the implementation, pre-processing, and sensitivity analysis of the SWAT model in an R programming environment. 2019.
12. Bakker M., Post V., Langevin C. D., Hughes J. D., White J. T., Starn J. J., Fienen M. N. Scripting MODFLOW model development using python and FloPy. *Groundwater*. 2016. 54(5). P. 733–739.
13. Foglia L., Borsi I., Mehl S., De Filippis G., Cannata M., Vasquez-Sune E., Criollo R., Rossetto R. FREEWAT, a free and open source, GIS-integrated, hydrological modeling platform. *Groundwater*. 2018. 6(4). P. 521–523.
14. Haas J. C., Switanek M., Birk S. Analysis of hydrological data with correlation matrices: technical implementation and possible applications. *Environmental earth sciences*. 2018. 77(8). 310 p.
15. Cannata M., Neumann, J., Rossetto R. Open source GIS platform for water resource modelling: FREEWAT approach in the Lugano Lake. *Spatial Information Research*. 2018. 26(3). P. 241–251.
16. Tarboton D. G., Idaszak R., Horsburgh J. S., Ames D. P., Goodall J. L., Couch A., Yi, H. A Platform for Collaborative Data and Model Sharing in Hydrology. *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 2018. Vol. 20. P. 9834.
17. Roberts W., Williams G., Jackson E., Nelson E., Ames D. Hydrostats: A Python Package for Characterizing Errors between Observed and Predicted Time Series. *Hydrology*. 2018. 5(66).
18. GISDATA. URL: <https://cid.center/gisdata/>.
19. SAGA. System of automated geoscientific analyses. URL: <http://saga-gis.org/>.
20. GRASS GIS. URL: <http://grass.osgeo.org/>.
21. ILWIS. URL: <http://52north.org/communities/ilwis/>.
22. QGIS. URL: <http://www.qgis.org/>.
23. gvSIGDesktop. URL: <http://www.gvsig.com/en/products/gvsig-desktop>.
24. MAPWINDOWGIS. URL: <https://www.mapwindow.org>.

25. Ames D.P., Horsburgh J.S., Cao Y., Kadlec J., Whiteaker T., Valentine D. HydroDesktop: Web Services-Based Software for Hydrologic Data Discovery, Download, Visualization, and Analysis. *Environmental Modelling & Software*. 2012. Vol. 37. P. 146–156.

26. ESRI. URL: <http://www.esri.com>.

27. GroundwaterAnalyst. URL: <https://www.aquaveo.com/software/ahgw-groundwater-analyst>.

28. MODFLOW Analyst. URL: <https://www.aquaveo.com/software/ahgw-modflow-analyst>.

29. SubsurfaceAnalyst. URL: <https://www.aquaveo.com/software/ahgw-subsurface-analyst>.

30. MIKE HYDRO BASIN. URL: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-hydro-basin>.

31. MIKE HYDRO RIVER. URL: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-hydro-river>.

32. MIKE SHE. URL: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-she>.

33. MIKE 21C. URL: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21c>.

*Надійшла до редколегії 15.11.2019.*