

**В. Б. Мокін, д. т. н., проф.; Л. М. Скорина; Є. М. Крижановський, к. т. н., доц.;
М. А. Гораш**

ПОБУДОВА ГІС-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ДАНИХ ТА МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ XML-ФОРМАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У РІЧКАХ

Проведено аналіз відомих форматів формалізації математичних моделей та просторових форматів, які є актуальними для оброблення даних і моделювання процесів у річках: PMML, MathML, SBML, GML, WaterML, за системою критеріїв: кількість класів математичних моделей на прикладі задач моделювання процесів у річках; наявність репозиторіїв вже ідентифікованих моделей, інтегрування з мовами програмування; наявність специфічних тегів для роботи з просторовими даними; наявність середовищ для автоматизованої формалізації та імпорту/експорту XML-моделей. Запропоновано інтегральний критерій. Наведено приклади застосування цієї системи критеріїв для вибору оптимального XML-формату для збереження даних і моделей за різних ваг певних критеріїв та умов: якщо основним критерієм є наявність геоприв'язки, тоді оптимальною XML-мовою є WaterML, якщо – можливість формалізації будь-яких аналітичних моделей, особливо гідробіологічних, тоді – SBML, а якщо необхідною є автоматизація алгоритмів штучного інтелекту, тоді – PMML.

Охарактеризовано відомі технології збереження атрибутивних та просторових даних ГІС для їх автоматизованого оброблення: KML, Shapefile, GPX, GeoJSON, SXF, база геоданих ArcGIS, Spatialite (SQLite), MapInfo TAB format. Відзначено, що за критерієм кількості згадувань в документах зі словом «тар», які знаходить пошукова система Google, найбільш популярними у світі є формати KML (22 млн.), GPX (20 млн.) та Shapefile (11,5 млн.).

Вперше запропоновано структуру ГІС-інтегрованої системи даних і моделей на основі XML-формалізації та проілюстровано її працездатність на прикладі прогнозування середньорічних витрат води для 50% забезпеченості за багаторічний період у басейні річки Дністер у середовищі KNIME Analytics Platform.

Отримані результати дозволяють забезпечити швидкість побудови, універсальність та широкий функціонал ГІС-інтегрованих систем баз даних і моделей.

Ключові слова: геоінформаційна система, математична модель, база даних, XML, PMML, MathML, SBML, GML, WaterML, KNIME, моделювання процесів, річка.

Вступ

Аналіз публікацій у журналах зі значним імпакт-фактором із системи SCOPUS свідчить, що проблемою моделювання та оптимізації процесів у складних кібернетичних системах з використанням ГІС займається велика кількість вчених із провідних університетів та наукових установ багатьох країн світу: США, Канада, Німеччина, Франція, Нідерланди, Фінляндія, Іспанія, Норвегія, Тайвань [1 – 9] тощо. Більшість наукових колективів розробляють вузькоспеціалізовані ГІС-інтегровані бази даних і моделей (наприклад, для моделювання стану вод [1] або забруднення повітря над Європою [2]), однак, такий підхід обмежує їх розвиток. Багатьма вченими України, у т. ч. з інститутів НАН України (Стрижак О. Є., Железняк М. Й., Євдін Є. О. та ін.), та багатьма закордонними вченими ведеться робота, переважно, над створенням онтологічних ГІС-інтегрованих баз даних [3, 4], або систем на базі відомих програмних платформ (наприклад, OpenMI, OMS, TIME, KEPLER, FRAMES, MODCOM [5], розподілених об'єктів-обгорток [6]). Однак, такий підхід

ускладнює як проектування подібних систем, так і розвиток їх аналітичних можливостей, а також їх використання для оптимізації параметрів математичних моделей. Натомість, вчені з обробки медичної та біологічної інформації використовують мови XML-розмітки (причому як специфічні для їх галузі – CellML, SED-ML, SBML, так і універсальні – MathML, PMML [7, 8]) для формалізації усіх параметрів моделей, у т. ч. шляхом імпорту цих моделей з відомих обчислювальних пакетів, що дозволяє їм формувати міжнародні репозитарії цих моделей. Однак, в таких системах недостатня увага приділяється формалізації, зберіганню просторової інформації та інтегруванню з нею. Іншим підходом є формування предметно-орієнтованих мов програмування (DSL), але наявні аналоги чи їх прототипи не забезпечують достатню взаємодію та інтероперабельність з різними форматами зберігання даних і моделей.

Для вирішення зазначених проблем доцільно розробити універсальні підходи для формалізації метаданих просторових даних ГІС та засоби інтегрування цих даних з математичними моделями, формалізованими у стандартних мовах розмітки MathML, CellML, SBML тощо, з методами обробки даних (DataMining та ін.), формалізованими у мові розмітки PMML. Таке інтегрування різних форматів та підходів до формалізації даних і моделей забезпечить швидкість побудови, універсальність та широкий функціонал ГІС-інтегрованих систем баз даних і моделей.

Метою цієї статті є аналіз відомих технологій та форматів формалізації даних і моделей та побудова на їх основі єдиної ГІС-інтегрованої системи даних та моделей на основі XML-формалізації.

Оскільки в загальному вигляді аналіз усього розмаїття даних та моделей на основі XML-формалізації є надто великою задачею, варто звужити задачу лише до задач моделювання процесів у річках, оскільки вона є дуже актуальною для України, що займає останнє місце в Європі по стоку поверхневих вод на 1 людину на рік.

Аналіз відомих мов XML-розмітки математичних моделей та середовищ для їх автоматизованого оброблення

Для досягнення поставленої мети необхідно, перш за все, проаналізувати наявні типові мови XML-розмітки для збереження моделей даних, наявні типові формати збереження атрибутивних та просторових даних геоінформаційних систем (ГІС) та визначити яким чином усі ці види даних і моделей можна автоматизовано та максимально швидко і надійно інтегрувати між собою.

Проведено порівняння наявних типових мов XML-розмітки за такими критеріями:

– X_1 – кількість класів математичних моделей на прикладі задач моделювання процесів у річках: за 1,0 обрано MathML, в якому можна формалізувати будь-який аналітичний вираз, щодо інших оцінено яку кількість типових математичних моделей на прикладі задач моделювання процесів у річках можна у них формалізувати;

– X_2 – чи наявні репозитарії вже ідентифікованих моделей (не тільки шаблонів): якщо наявний повноцінний репозиторій, то $X_2 = 1$, інакше в залежності від частки класів моделей у репозиторіях від загальної кількості класів моделей в задачі моделювання процесів у річках X_2 від 0 до 1;

– X_3 – інтегрування з мовами програмування: якщо існують досить універсальні мови програмування зі спеціальними бібліотеками для прямого оперування інформацією у цьому форматі, що відкриває практично необмежені можливості до керування даними та їх автоматизованої обробки, тоді $X_3 = 1$, інакше – $X_3 = 0$;

– X_4 – наявність специфічних тегів для роботи з просторовими даними (йдеться не просто про можливість запису просторових координат в окремі атрибути, а саме про специфічні для просторового аналізу теги): якщо теги існують, тоді $X_4 = 1$, інакше – $X_4 = 0$;

– X_5 – наявність середовищ для автоматизованої формалізації та імпорту/експорту XML-

моделей (бажано, безкоштовних («open source») середовищ): якщо хоча б одне середовище існує, тоді $X_5 = 1$, інакше – $X_5 = 0$.

Як інтегральний, пропонуємо вибрати такий класичний критерій J_X :

$$J_X = \sum_{i=1}^N w_i X_i, \quad (1)$$

де w_i – вага i -го критерію ($i = 1, \dots, N$), що визначається експертним шляхом і задовольняє умові:

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1. \quad (2)$$

Проаналізовано мови XML-розмітки, які можуть бути корисними для формалізації в них моделей процесів у річках з наявними репозиторіями цих моделей (як універсальні формати, так і специфічні для гідробіологічних та гідрологічних моделей, а також для моделей з геоінформаційною прив'язкою):

- PMML (з англ. «Predictive Model Markup Language») – основна універсальна мова розмітки моделей штучного інтелекту (<http://dmg.org>) [9 – 11];
- MathML (з англ. «Mathematical Markup Language») – універсальна мова розмітки математичних символів та формул (<https://www.w3.org/Math/>);
- SBML (з англ. «Systems Biology Markup Language») – мова розмітки для математичних моделей біологічних процесів (<http://sbml.org>) [7, 8, 12];
- GML (з англ. «Geography Markup Language») – мова розмітки для моделювання географічних (геоінформаційних) систем (<http://www.opengeospatial.org/standards/gml>) [13];
- WaterML (з англ. «Water Markup Language») – мова розмітки для представлення гідрологічних структур (<https://en.wikipedia.org/wiki/WaterML>) [14, 15].

Деякі з них пов'язані між собою, наприклад, WaterML використовує GML для геоприв'язки даних, а SBML – MathML для формалізації моделей.

Загалом існують й інші XML-стандарти, наприклад – для біологічних моделей з аналогічними характеристиками є такі: CellML та SED-ML (з англ. «Simulation Experiment Description Markup Language»). З XML також працюють відомі обчислювальні пакети програм: Matlab, Mathcad, MS Excel тощо, але розгляд їх можливостей – предмет окремого дослідження.

Результат порівняння цих мов розмітки за наведеними вище критеріями представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Результат багатокритеріального аналізу відомих мов XML-розмітки математичних моделей

Критерій X_i	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	J_X
Ваги w_i	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	
WaterML	0,8 – практично будь-які аналітичні моделі процесів у річках	1 – Банк «WaterOneFlow» з великою кількістю моделей [14]	1 – Java, Python	1 (за рахунок використання GML)	1 – HydroDesktop, HEC-DSSVue, GEOSS Water Services	0,96
GML	0,1 – тільки моделі для перетворення просторової інформації	0,2 – у [13] є 6 моделей як приклад, є й інші	1 – Java, C++	1	1 – FME, Document Object Model, OpenGIS	0,74

SBML	1 – будь-які аналітичні моделі, за рахунок використання MathML для формалізації.	1 – Банк моделей «BioModels», який станом на 26.06.2017 р. містив 143 070 моделей [12]	1 – C, C++, Java, Python	0 – не передбачено	1 – BioSPICE Dashboard, iBioSim, JSim, SynBioSS	0,70
MathML	1 – можна записати будь-які аналітичні моделі	0,5 – існують, але, переважно, для простих математичних операцій	1 – JavaScript	0 – не передбачено	1 – MS Word, Apache OpenOffice, MathMagic, MathType, Maple	0,65
PMML	0,25 – тільки моделі штучного інтелекту та інтелектуального аналізу (17-20 класів моделей, в залежності від версії)	1 – існує чимало, наприклад, див. [11]	1 – Java, R, Python, Perl, SQL	0 – не передбачено	1 – існує велика кількість середовищ: KNIME Analytics Platform, WEKA, KXEN [11]	0,55

Аналіз інформації, наведеної у табл. 1, показує, що, якщо основними критеріями є, в першу чергу, наявність геоприв'язки (вага – 0,3), потім – кількість класів математичних моделей, інтегрування з мовами програмування та наявність середовищ для автоматизованої обробки даних (вага – 0,2), тоді оптимальною мовою є WaterML. Якщо ж найбільш важливим є можливість формалізації будь-яких аналітичних моделей, особливо гідробіологічних (вага X_1 – 0,4), а наявність геоприв'язки є зовсім несуттєвою (вага X_4 – 0,05), тоді оптимальною є мова SBML. У той же час, якщо буде необхідно автоматизація алгоритмів штучного інтелекту, особливо тих, які не мають єдиного аналітичного виразу, а містять складний алгоритм для їх застосування (нейронні мережі та різний математичний апарат Data Mining), тоді поза конкуренцією опиняється PMML.

Аналіз технологій збереження атрибутивних та просторових даних ГІС для їх автоматизованого оброблення

Досвід роботи з форматами та технологіями збереження атрибутивних та просторових даних ГІС показує, що для задач їх автоматизованого оброблення оптимальними та найпоширенішими на сьогодні є такі формати (упорядковано за зменшенням кількості документів в Google в контексті зі словом «map») [16]:

– KML (22 млн.) – мова розмітки на основі XML для представлення тривимірних геопросторових даних у популярному сервісі «Google Maps» (www.google.com.ua);

– GPX (20 млн.) – це текстовий формат зберігання та обміну даними GPS, оснований на XML (www.topografix.com);

– Shapefile (11,5 млн.) – популярний векторний формат даних GIS, розроблений компанією «ESRI», який набув статусу універсального стандарту для формалізації просторових векторних даних як для комерційних, так і для безкоштовних пакетів програм;

– GeoJSON (2,4 млн.) – формат на основі JSON з відкритим кодом для кодування різних структур геоданих (www.geojson.org);

– SXF (0,7 млн.) – відкритий формат цифрової інформації про місцевість – призначений для застосування в геоінформаційних системах для зберігання цифрової інформації про місцевість, обміну даними між різними системами, створення цифрових та електронних карт і вирішення прикладних завдань (<https://ru.wikipedia.org/wiki/Sxf>);

– база геоданих ArcGIS (згадувань у Google – 0,65 млн.) – це набір географічних наборів

даних різних типів пакету програм «ArcGIS» (розробник: «ESRI» – «Environmental Systems Research Institute», США), що зберігаються в загальнодоступному місці файлової системи – базі даних (www.esri.com);

– Spatialite (SQLite) (0,3 млн.) – є просторовим розширенням для SQLite, що забезпечує векторну функціональність геоданих (www.sqlite.org). Подібні розширення мають також системи управління базами даних PostGIS, Oracle Spatial та SQL Server з просторовими розширеннями;

– MapInfo TAB format (0,28 млн.) – векторний формат пакету програм «MapInfo» з використанням файлів TAB, DAT, MAP (www.pbinsight.com).

Аналіз структури цих форматів показує, що кожен з них містить елементи, які забезпечують збереження просторових даних у вигляді координат об'єктів, а також їх атрибутивних даних. З точки зору використання ГІС-форматів для інтегрування з даними і моделями, а також на етапі візуалізації результатів моделювання, важливими є такі функціональні можливості [16, 17]:

- 1) збереження результатів моделювання у вигляді атрибутів програмним шляхом;
- 2) асоціювання (встановлення зв'язку) між результатами моделювання та певними просторовими об'єктами;
- 3) програмне зчитування як атрибутивних даних, так і просторових;
- 4) підтримка окремими з них специфічних геоінформаційних моделей (геометричні мережі з інформацією про їх топологію (для моделювання річкових систем), TIN-моделі (для моделей водозбірних басейнів річок), інтерполювання поверхонь ізолініями (для моделей карт стоку басейнів річок) тощо).

Кожен з перерахованих вище ГІС-форматів у достатній мірі забезпечує ці функціональні можливості, а отже, може бути використаним під час реалізації ГІС-інтегрованої системи даних та моделей, що дасть можливість значно підвищити рівень універсальності системи та автоматизації її ідентифікації та використання для розв'язання багатьох прикладних задач. Перейдемо до питання максимально автоматизованого інтегрування усіх цих складових в єдине ціле.

Побудова структури ГІС-інтегрованої системи даних та моделей

Пропонуємо структуру ГІС-інтегрованої системи даних та моделей на основі XML-формалізації у вигляді, наведеному на рис. 1.

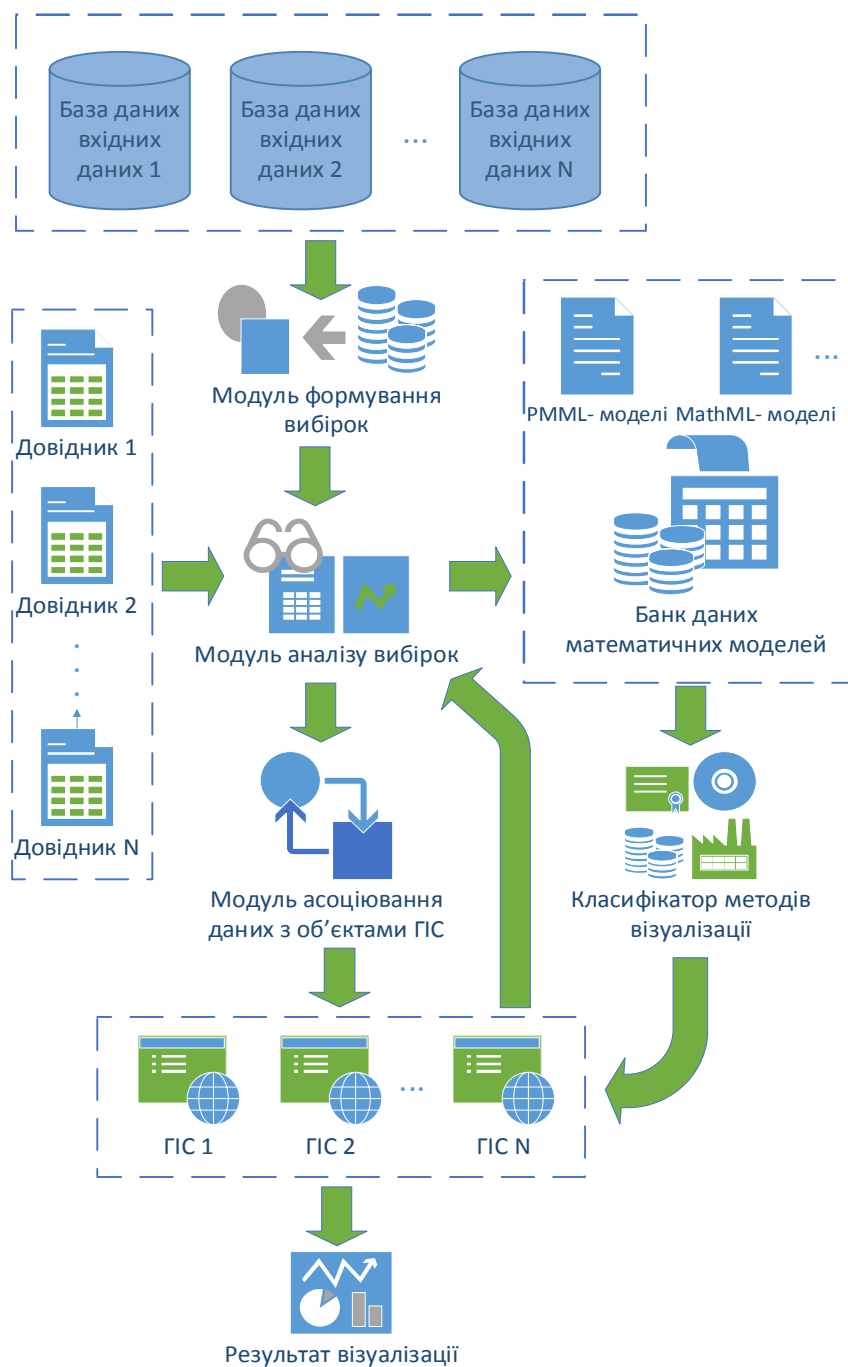


Рис. 1. Структура ГІС-інтегрованої системи даних та моделей на основі XML-формалізації

Як видно з рис. 1, структура ГІС-інтегрованої системи даних та моделей містить такі складові: бази даних – містять вхідну інформацію, на основі якої має здійснюватися моделювання; модуль формування вибірок – забезпечує створення вихідних масивів даних на основі їх вибору із баз даних вхідної інформації за певними критеріями; модуль аналізу вибірок – забезпечує постоброблення вибраних даних із можливістю залучення даних із різноманітних довідників, з урахуванням просторових закономірностей цих даних і їх специфічних геоінформаційних моделей; банк даних математичних моделей – містить класичні та спеціалізовані моделі, формалізовані у різних форматах (див. табл. 1); модуль асоціювання даних з об'єктами ГІС – забезпечує прив'язку даних до об'єктів шарів ГІС; класифікатор методів візуалізації даних – містить перелік методів ГІС-візуалізації, які можуть бути застосовані для наочного представлення результатів моделювання, з урахуванням специфіки моделей; комплекс ГІС – містить просторову та пов'язану з нею атрибутивну

інформацію про об'єкти, що моделюються, у різних ГІС; результат візуалізації – може бути представлений у вигляді тематичних карт, картограм, поверхонь, графіків тощо.

Проілюструємо працездатність цієї структури на прикладі.

Приклад моделювання процесів у річках з використанням ГІС-інтегрованої системи даних та моделей

Задачу прогнозування середньорічних витрат води для 50% забезпеченості за багаторічний період по 17-ти гідропостах на водогосподарських ділянках басейну річки Дністер можна використати для побудови водного балансу цього басейну. Для розв'язання такої задачі, як відомо з роботи [18], та з веб-системи, розташованої за адресою <http://vb.dniester-basin.org/>, створеної в межах проекту ОБСЄ, за участі співавторів цієї статті, є необхідною така інформація:

- середньомісячні витрати води за багаторічний період по 17-ти гідропостах р. Дністер;
- координати 17-ти гідропостів на водогосподарських ділянках басейну річки Дністер;
- моделі регресійного аналізу кривих забезпеченості.

Для формалізації регресійного аналізу у середовищі KNIME Analytics Platform використано формат PMML (див. табл. 1), оскільки, як було зазначено вище, він є оптимальним для задач статистичного аналізу та штучного інтелекту. Відповідно до структури на рис. 1, побудовано ГІС-інтегровану систему даних та моделей у вигляді, як на рис. 2.

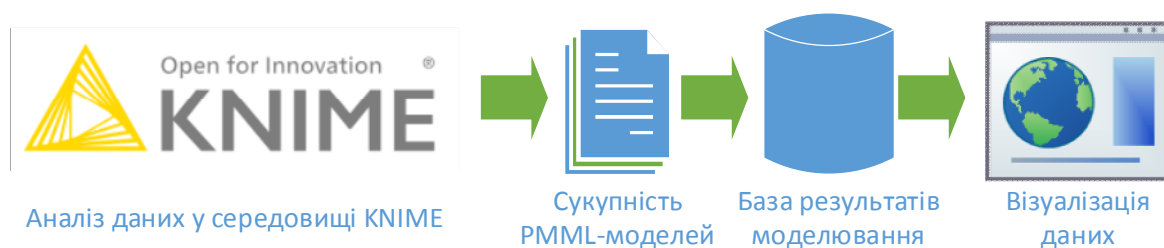


Рис. 2. Структура ГІС-інтегрованої системи даних та моделей для прогнозування забезпеченості водного стоку у басейні річки на основі формату PMML у середовищі KNIME Analytics Platform

Розв'язання поставленої задачі здійснювалось за такими етапами (рис. 3):

1. Підключити базу даних про середньомісячні витрати води за багаторічний період по гідропостах на водогосподарських ділянках басейну річки Дністер з пакету MS Excel (саме в цей формат зберігає результат розрахунку вищезгадана веб-система ОБСЄ по Дністру).
2. Сформувати вибірку даних середньорічних витрат по усіх 17-ти гідропостах для різних рівнів забезпеченості та проаналізувати її.
3. Сформувати окремі вибірки середньорічних витрат для різних рівнів забезпеченості для кожного гідропоста р. Дністер.

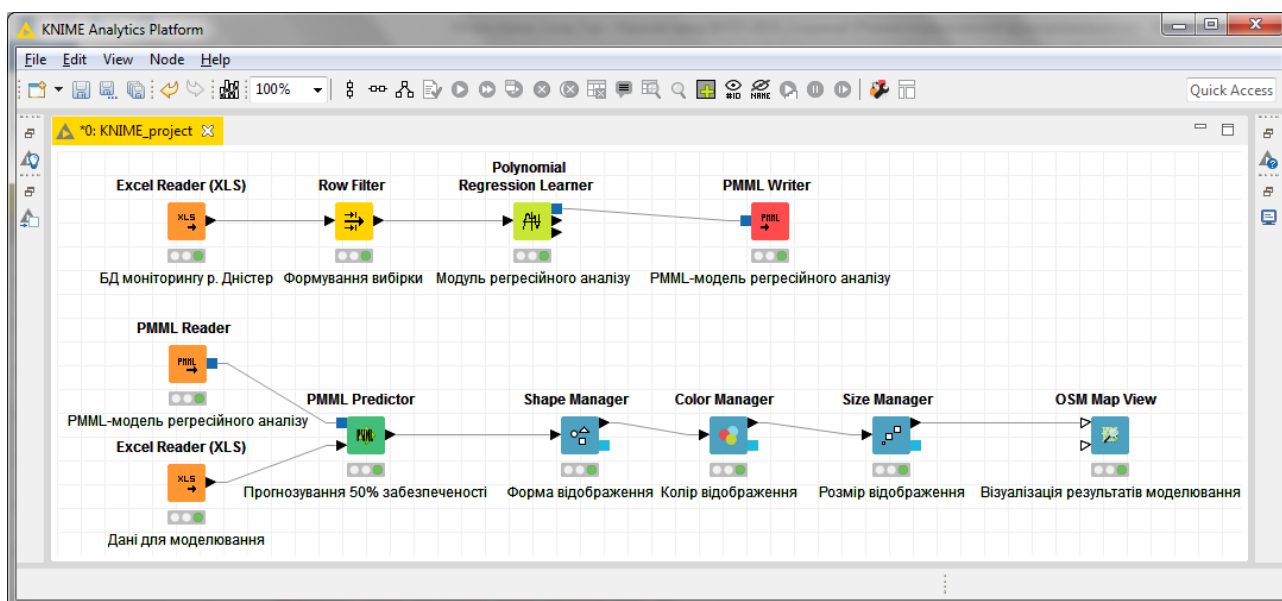


Рис. 3. Реалізація системи у середовищі KNIME Analytics Platform

- Застосувати модель регресійного аналізу кривих забезпеченості для кожного гідропоста окремо (результати моделювання на прикладі гідропоста «Роздол» басейну р. Дністер наведено на рис. 4).

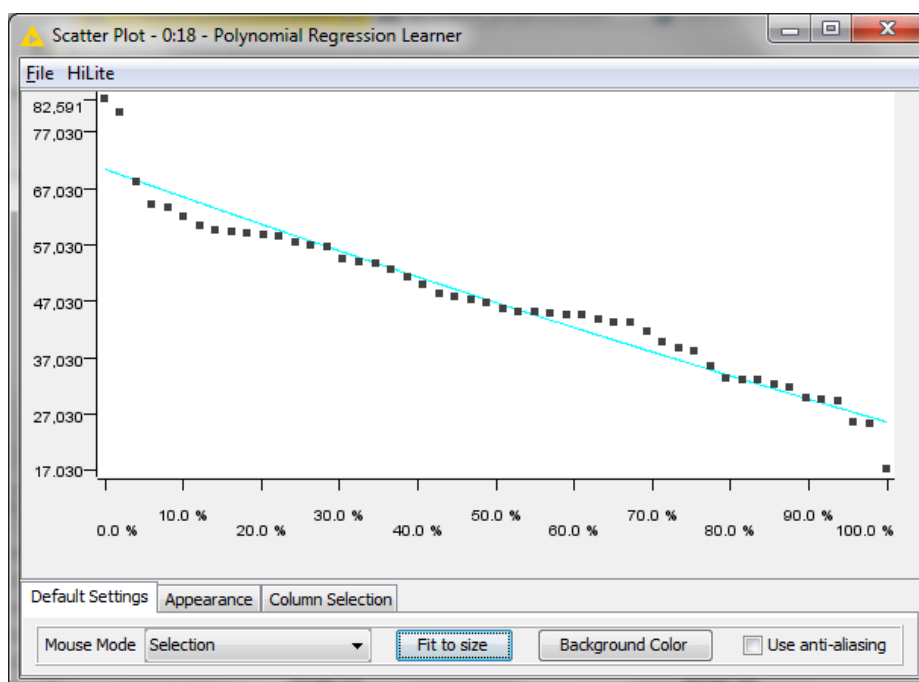


Рис. 4. Результат регресійного аналізу – крива забезпеченості гідропосту Роздол

- Отримані моделі регресійного аналізу кривих забезпеченості, формалізовані з використанням PMML, записати у 17-ть окремих PMML-файлів, сформувавши базу даних PMML-моделей.
- На основі знайденої сукупності PMML-моделей спрогнозувати середньорічні витрати води для 50% забезпеченості за багаторічний період по 17-ти гідропостах на водогосподарських ділянках басейну річки Дністер.
- Результат моделювання вивести на OpenStreetMap (рис. 5).

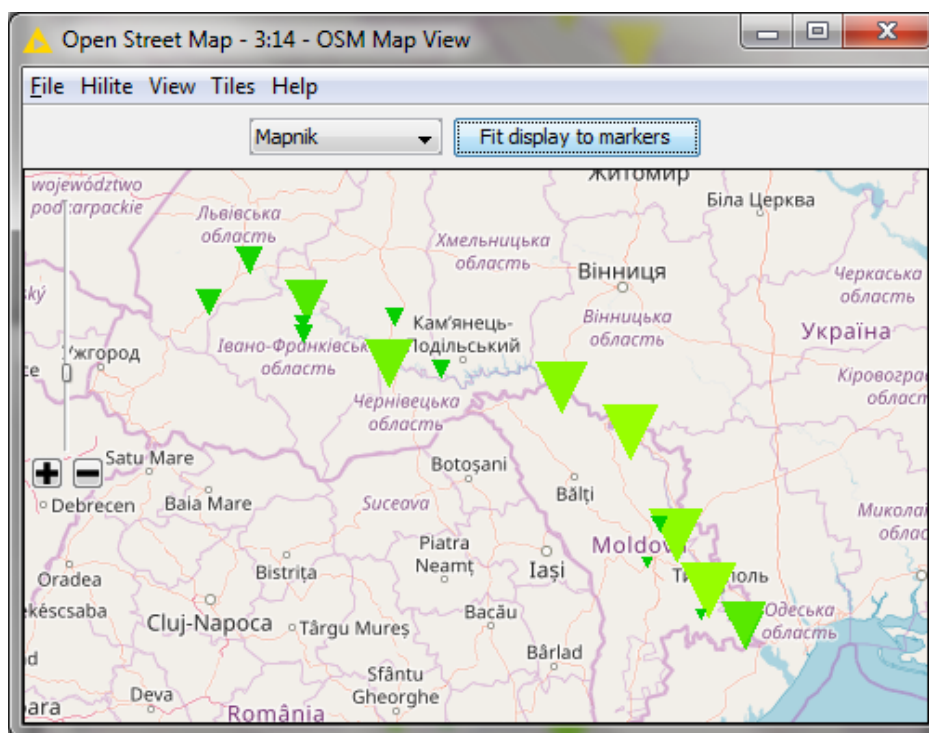


Рис. 5. Результат прогнозування середньорічних витрат води для 50% забезпеченості басейну річки Дністер на OpenStreetMap

Наведений приклад ілюструє результат роботи структури ГІС-інтегрованої системи даних та моделей у пакеті KNIME Analytics Platform, запропонованої на рис. 1. Однак, аналіз показав, що потужний, як на перший погляд, для цієї задачі пакет програм «KNIME Analytics Platform» має такі недоліки: 1) неможливо застосування моделі регресійного аналізу для усіх гідропостів одночасно; 2) неможливо записати результати регресійного аналізу для усіх гідропостів в один файл чи таблицю та застосувати їх одночасно для розрахунку; 3) неможливо побудувати карту для декількох показників одночасно; 4) існують суттєві обмеження властивостей способів візуалізації. Хоча ці проблеми можна усунути, використовуючи мови програмування Java, Python, Perl, R, SQL. Особливо суттєво задача ускладниться, якщо замість даних по гідропостах буде використовуватись карта стоку басейну, але тоді баланс та карту, подібну до рис. 5, можливо буде будувати для будь-якої річки басейну.

Висновки

Проведено аналіз відомих форматів формалізації математичних моделей та просторових форматів, які є актуальними для оброблення даних і моделей процесів у річках, відповідно. Запропоновано систему критеріїв та наведено приклад її застосування для вибору оптимального XML-формату для збереження даних і моделей. Вперше запропоновано структуру ГІС-інтегрованої системи даних і моделей на основі XML-формалізації та проілюстровано її працездатність на прикладі прогнозування середньорічних витрат води для 50% забезпеченості за багаторічний період у басейні річки Дністер у середовищі KNIME Analytics Platform. Отримані результати дозволяють забезпечити швидкість побудови, універсальність та широкий функціонал ГІС-інтегрованих систем баз даних і моделей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. An integrated GIS-based tool for aquifer test analysis / R. Criollo, V. Velasco, E. Vázquez-Suñé [et al.] // Environmental Earth Sciences. – February 2016. – № 75:391. – P. 1 – 11. – DOI:10.1007/s12665-016-5292-3.
2. A regional air quality forecasting system over Europe: the MACC-II daily ensemble production / M. Sofiev, V. Marecal, V.-H. Peuch [et al.] // Geoscientific Model Development. – 2015. – № 8. – P. 2777 – 2813.
3. Стрижак О. Є. Засоби онтологічної інтеграції і супроводу розподілених просторових та семантичних інформаційних ресурсів / О. Є. Стрижак // Екологічна безпека та природокористування. – 2013. – № 12. – С. 166 – 177.
4. Chiao-Ling Kuo Interoperable cross-domain semantic and geospatial framework for automatic change detection / Chiao-Ling Kuo, Jung-Hong Hong // Journal Computers & Geosciences. – January 2016. – Volume 86, Issue C. – P. 109 – 119. – DOI 10.1016/j.cageo.2015.10.011.
5. Evaluating OpenMI as a model integration platform across disciplines / M. J. R. Knapen, S. J. C. Janssen [et al.] // Environmental Modelling & Software. – 2013. – № 39. – P. 274 – 282.
6. Євдін Є. О. Розробка кросплатформеної версії системи підтримки прийняття рішень при радіаційних аваріях JRODOS / Є. О. Євдін, Д. М. Трибушний, М. Й. Железняк // Математичні машини і системи. – 2012. – № 1. – P. 45 – 59.
7. SBML Level 3 package: Hierarchical Model Composition, Version 1 Release 3 / L. P. Smith, M. Hucka [et al.] // Journal of Integrative Bioinformatics. – 2015. – № 12 (2):268. – P. 1 – 56. – DOI:10.2390/biecoll-jib-2015-268.
8. Methodological challenges and analytic opportunities for modeling and interpreting Big Healthcare Data / Ivo D. Dinov // GigaScience. – 25 February 2016. – № 5:12. – P. 1 – 15. – DOI 10.1186/s13742-016-0117-6.
9. Ensembles and PMML in KNIME / A. Fillbrunn, I. Adä, T. R. Gabriel [et al.] // PMML Workshop. Chicago. – Aug 10, 2013. – P. 1 – 6. – ISBN 978-1-4503-2573-8.
10. PMML Sample Files [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу : http://dmg.org/pmml/pmml_examples/index.html.
11. PMML Powered [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу : <http://dmg.org/pmml/products.html>.
12. BioModels Database [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу : <http://biomodels.caltech.edu/>.
13. 6 Worked Examples of Application Schemas (Non-Normative) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://etutorials.org/Mobile+devices/mobile+location+services/Appendix+B.+Geography+Markup+Language/6+Worked+Examples+of+Application+Schemas+Non-Normative/>.
14. WaterOneFlow Web Services & WaterML [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу : <http://his.cuahsi.org/wofws.html#waterml>.
15. Web Based Access to Water Related Data Using OGC WaterML 2.0 / A. Almoradie, A. Jonoski, I. Popescu [et al.] // International Journal of Advanced Computer Science and Applications, EnviroGRIDS Special Issue on «Building a Regional Observation System in the Black Sea Catchment». – 2013. – P. 83 – 89.
16. Системний аналіз та проектування ГІС. – Електронний навчальний посібник / Є. М. Крижановський, В. Б. Мокін, А. Р. Яцолт, Л. М. Скорина. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 127 с. – Режим доступу: [http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/8960/Posibnik_2015_3%20\(1\).pdf?sequence=1](http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/8960/Posibnik_2015_3%20(1).pdf?sequence=1).
17. Наукові засади раціонального використання водних ресурсів України за басейновим принципом : монографія / [В. А. Шашук, В. Б. Мокін, В. В. Гребінь, О. В. Чунарьов] ; за редакцією В. А. Шашука. – Херсон : Грінь Д. С., 2014. – 320 с.
18. Автоматизація розрахунку водогосподарського балансу ділянок басейнів річок / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, А. Р. Яцолт [та ін.] // Водне господарство України. – 2017. – № 3 (129). – С. 25 – 30.

Стаття надійшла до редакції 30.03.2018 р.

Стаття пройшла рецензування 03.04.2018 р.

Мокін Віталій Борисович – д. т. н., професор, завідувач кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки.

Скорина Любов Миколаївна – асистент та аспірант кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки.

Крижановський Євгеній Миколайович – к. т. н., доцент кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки.

Вінницький національний технічний університет.

Гораиш Микола Анатолійович – інженер-програміст.

ТОВ «Софт Генерація», м. Вінниця.

Наукові праці ВНТУ, 2018, № 2