

УДК 556.3+624.131.1:[910:004.65]:004.942(477.411)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.113.10>

Олексій КОШЛЯКОВ, д-р геол. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0003-3090-4855
e-mail: akoshliakov57@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Оксана ДИНЯК, канд. геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0002-7147-0769
e-mail: dyniak_o_v@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Ірина КОШЛЯКОВА, інж.
ORCID ID: 0000-0002-2293-8441
e-mail: iryna.koshliakova@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЇ НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Вступ. Метою дослідження є розроблення теоретичних концепцій та прикладних підходів до моделювання гідрогеологічних процесів у просторі й часі під впливом природних і антропогенних чинників.

Методи. Гідрогеологічне моделювання є одним із найефективніших і найнадійніших інструментів для вивчення та прогнозування процесів підземного стоку. Серед числових методів найчастіше застосовується метод кінцевих різниць, реалізований у відомому програмному пакеті *Processing MODFLOW*. Точне визначення гідродинамічних тисків на етапі епігнозного моделювання є ключовим для підвищення точності прогнозних розрахунків. Для уточнення геофільтраційних параметрів водонесних порід і інтенсивності інфільтраційного живлення необхідно скоригувати поверхню модельних результатів визначення гідродинамічного напору у вибраних точках підтверджує достовірність і точність отриманих результатів моделювання. Проведені розрахунки доводять ефективність комплексного використання модуля *Darcy Flow* у середовищі *ArcGIS* – для відтворення поверхні напору перед етапом калібрування.

Результати. Запропонований підхід апробовано на прикладі житлового району м. Києва. Напрям і загальна тенденція підземного потоку, визначені на першому етапі в середовищі *ArcGIS* за допомогою модуля *Darcy Flow*, були використані для калібрування геофільтраційних параметрів моделі та інтенсивності інфільтраційного живлення шляхом порівняння розрахованих рівнів ґрунтових вод із фактичними даними спостережень. Високий ступінь збігу польових і модельних результатів визначення гідродинамічного напору у вибраних точках підтверджує достовірність і точність отриманих результатів моделювання. Проведені розрахунки доводять ефективність комплексного використання модуля *Darcy Flow* (*ArcGIS*) та програмного пакета *Processing MODFLOW* для гідрогеологічного аналізу.

Висновки. Обґрунтовано та запропоновано теоретичні й прикладні підходи до моделювання гідрогеологічних процесів в умовах урбанізованих територій. Отримані результати підтверджують доцільність застосування запропонованого інтегрованого підходу для оптимізації практичного використання детермінованого методу кінцевих різниць у моделюванні підземних вод за даними інженерно-геологічних вишукувань. Запропонована методика суттєво підвищує надійність і ефективність детермінованих геофільтраційних моделей.

Ключові слова: підземні води, гідрогеологічне моделювання, інженерно-геологічні вишукування, *Processing MODFLOW*, *Darcy Flow*, *ArcGIS*.

Вступ

Будівництво на території міст, зокрема Києва, нині здебільшого ведеться у складних інженерно-геологічних умовах. Спорудження цивільних, промислових та інфраструктурних об'єктів за існуючої щільної забудови території має ряд особливостей. Активне освоєння підземного міського простору порушує природний гідрогеологічний режим. Штучні перешкоди на шляху руху ґрунтових вод спричиняють підйом їх рівня. В результаті можуть активізуватися існуючі небезпечні інженерно-геологічні процеси та набути розвитку нові. Такі процеси впливають не лише на умови нового будівництва, але й часто призводять до часткового руйнування існуючих будинків, що потрапили у зону впливу об'єкта будівництва (Рудько, & Яковлев, 2020).

Вважається, що гідрогеологічне моделювання є найбільш дієвим і достовірним засобом, що застосовується при вивченні та прогнозуванні гідрогеологічних процесів. Тому для врахування закономірностей формування, розподілу та руху підземних вод на ділянках ущільненої забудови найбільш доцільно проводити моделювання

процесів геофільтрації (Holzbecher, 2013; Vijay, & Singh, 2018; Wang, Pachocka, & Jackson, 2014).

Відомі такі методи гідрогеологічного моделювання: натурне, фізичне і математичне (Кошляков, 2003). У свою чергу, методи математичного моделювання включають балансовий, математико-статистичний та детермінований методи. З погляду достовірності прогнозування розвитку гідрогеологічних процесів у просторі і часі під впливом природних та антропогенних чинників найбільший інтерес становить детермінований метод.

Математичне моделювання потоку ґрунтових вод за запропонованою авторами схемою дає змогу, з одного боку, уникнути зайвої схематизації природних гідрогеологічних умов, а з другого – врахувати складнощі і різноманіття граничних умов ґрунтового потоку, дати більш об'єктивну оцінку впливу пов'язаних із будівництвом інженерних заходів на гідрогеологічні умови території. Водночас це забезпечить достовірність інженерних розрахунків захисних споруд та оптимізацію їх можливих варіантів вибору.

© Кошляков Олексій, Диняк Оксана, Кошлякова Ірина, 2026

Методи

По своїй суті детермінований метод гідрогеологічного моделювання зводиться переважно до наближеного розв'язку рівняння математичної фізики параболічного типу, що описує той чи інший гідрогеологічний процес (рух рідини, перенесення речовини або тепла підземними водами тощо) за допомогою одного з чисельних методів (найчастіше використовується метод скінчених різниць). Чисельні методи розв'язку реалізуються за допомогою відповідних спеціально розроблених програмних комплексів. Зокрема, для реалізації методу скінчених різниць при гідрогеологічному моделюванні найчастіше застосовують відомий програмний комплекс Processing Modflow.

Активно досліджуються питання практичної інтеграції спеціалізованих засобів гідрогеологічного моделювання та сучасних ГІС. Вивчаються проблеми переходу від концептуальної гідрогеологічної моделі до числової, створення інструментів для автоматизації побудови обчислювальних сіток тощо. Запропоновано концепцію інтеграції ГІС з числовими моделями підземних вод, що дозволяє зберегти гнучкість обох систем (Alcaraz et al., 2017). Розроблена низка практичних рішень для інтеграції, наприклад панель GIS-PMWIN для зв'язку ArcGIS з Processing Modflow (Lin, & Lin, 2014), плагін FREEWAT для QGIS (Perdikaki et al., 2020).

Прийнято виділяти послідовні стадії детермінованого гідрогеологічного моделювання: створення за наявними фактичними даними гідрогеологічної моделі (переважно в картографічному вигляді), створення на основі гідрогеологічної моделі власне математичної гідрогеологічної моделі, епігнозне математичне моделювання для обґрунтування та коригування математичної моделі (розв'язок так званої оберненої задачі), власне математичне гідрогеологічне моделювання для прогнозування розвитку гідрогеологічних процесів. Найбільші складності при цьому виникають при обґрунтуванні та коригуванні математичної моделі конкретного об'єкта, яка повинна найбільш повно відображати природні і штучні особливості, що притаманні об'єкту.

Обґрунтування та коригування математичної моделі по суті є процесом розв'язання так званої оберненої задачі як її розуміють у гідрогеології. В математиці прийнято розрізняти інверсну (визначення параметрів рівняння), обернену (визначення крайових умов задачі) та індуктивну (визначення рівняння, що описує процес) задачу. Але в гідрогеології такий поділ на інверсні, обернені та індуктивні задачі є досить умовним при практичному застосуванні, тому всі ці задачі разом називають оберненою задачею.

За визначенням обернена задача завжди є некоректною. Тому ключову роль у підвищенні точності прогнозного гідрогеологічного моделюванні відіграє достовірне визначення шуканої функції на стадії епігнозного моделювання. Наприклад, при моделюванні геофільтрації це означає максимально точне відтворення поверхні гідродинамічного напору потоку підземних вод при епігнозному моделюванні. Корегування поверхні гідродинамічного напору відбувається переважно шляхом варіювання значень геофільтраційних параметрів шарів гірських порід та інтенсивності інфільтраційного живлення або величини перетікання в межах геологічно зумовлених значень таким чином, щоб натурні значення напору (які реально зафіксовані в натурі) збігалися з модельними у тих самих точках із врахуванням існуючої похибки фактичних вимірювань. Отже критерієм точності такого відтворення зазвичай виступає збіг натурних і

модельних результатів визначення гідродинамічного напору в обмеженій кількості точок, що відповідають наявним свердловинам, колодязям або шурфам. Водночас достовірність загального просторового розташування поверхні гідродинамічного напору зазвичай детально не аналізується. Відповідно знижується достовірність обґрунтування прийнятих для подальшого прогнозного моделювання параметрів геофільтрації, що позначається на точності визначення прогнозованої поверхні гідродинамічного напору. (Dyoniak, Koshliakov, & Koshliakova, 2023). Останнім часом це питання набуває актуальності при моделюванні потоків підземних вод на урбанізованих територіях, зокрема у зв'язку з необхідністю визначенням площ можливих ділянок підтоплення території, витрат потоку підземних вод, підвищеними вимогами до точності інженерних розрахунків та оцінкою ризиків (Bailey et al., 2025; Husna et al., 2023; Macdonald et al., 2012; Mirlas et al., 2025).

Саме тому для підвищення достовірності просторового розташування поверхні гідродинамічного напору доцільним є використання іншого, максимально незалежного від власне гідрогеологічного моделювання інструменту для відтворення поверхні напору. Причому такий інструмент повинен бути не "чисто математичним" (як, наприклад, апроксимація), а враховувати уявлення про специфіку процесу руху підземних вод.

У випадку, коли розглядається рух ґрунтових вод (підземних вод з вільною поверхнею або першого від поверхні землі постійного водоносного горизонту), автори рекомендують використовувати відомий стандартний модуль Darcy Flow програмного комплексу ArcGIS. Модуль Darcy Flow реалізує по суті балансовий, а не детермінований метод гідрогеологічного моделювання поверхні гідродинамічного напору на основі аналітичного розрахунку руху потоку підземних вод на основі відомого закону Дарсі. (Кошляков та ін., 2019).

Ідея полягає в тому, щоб спочатку максимально достовірно на основі балансового методу відтворити поверхню ґрунтових вод за допомогою модуля Darcy Flow в середовищі ArcGIS на основі наявних фактичних даних (рівень ґрунтових вод у свердловинах, колодязях тощо). Потім саме цю відтворену поверхню слід використати для корегування значень геофільтраційних параметрів товщі, інтенсивності інфільтраційного живлення потоку ґрунтових вод або величини перетікання при розв'язанні оберненої задачі на стадії епігнозного моделювання (Dyoniak, Koshliakov, & Koshliakova, 2025). Слід підкреслити, що при відтворенні поверхні ґрунтових вод на урбанізованих територіях автори вважають за доцільне використати всі чисельні архівні фактичні дані про стан рівнів на території досліджень за попередні роки, а не лише ті, що отримані в процесі останніх вишукувань. Зрозуміло, що такий підхід вимагає ретельного змістового аналізу якісних та кількісних змін природних та антропогенних чинників (зокрема, водогосподарської обстановки), що формують поверхню ґрунтових вод, точності вимірювань рівнів, похибки висотної і площинної прив'язки точок спостережень тощо.

Результати

Автори застосували саме такий підхід при прогнозуванні змін гідродинаміки потоку ґрунтових вод під впливом будівництва на території м. Києва в межах будівельного майданчика та на прилеглої території з метою подальшої оцінки баражного ефекту, що виникає під дією поля глибоко занурених паль (рис. 1).

ґрунтові води тут містяться у водно-льодовикових відкладах середньо – верхньочетвертинного віку,

представлених пісками, супісками, супісками запискованими, суглинками з прошарками піску. За даними інженерно-геологічних вишукувань водоносні породи можна вважати відносно однорідними у фільтраційному відношенні. Відносно водотривкими породами вважаються еоценові мергелі, частково суглинки. Особливістю є те, що внаслідок розмиву талими водами у час середньочетвертинного дніпровського покривного зледеніння сформувалась складна поверхня водотриву ґрунтових вод, яка за формою повторює поверхню рельєфу (рис. 2). Живлення ґрунтових вод відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів та вод антропогенного походження.

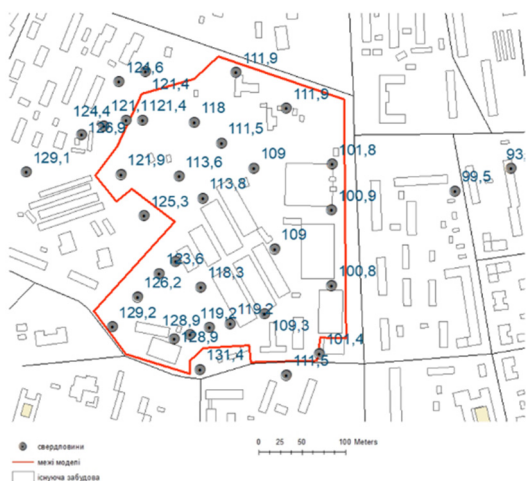


Рис. 1. Схема будівельного майданчика

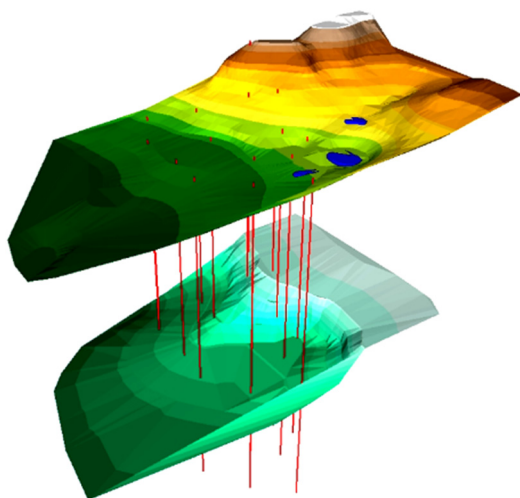


Рис. 2. Тримірне зображення поверхонь рельєфу та водотриву ґрунтових вод

На першому етапі, використовуючи дані інженерно-геологічних вишукувань (відмітки рівня ґрунтових вод, геометрія шарів ґрунту, лабораторні визначення на зразках пористості ґрунту, коефіцієнту фільтрації, коефіцієнта водовіддачі), у середовищі ArcGis за допомогою модуля Darcy Flow та використання локально-детермінованих методів інтерполяції було отримано поверхню рівня ґрунтових вод (рис. 3).

Далі було проаналізовано параметри пористості та водопроникності ґрунтової товщі, визначено баланс ґрунтових вод, отримано картосхему напрямку потоку ґрунтових вод та визначено його загальний тренд (рис. 4).

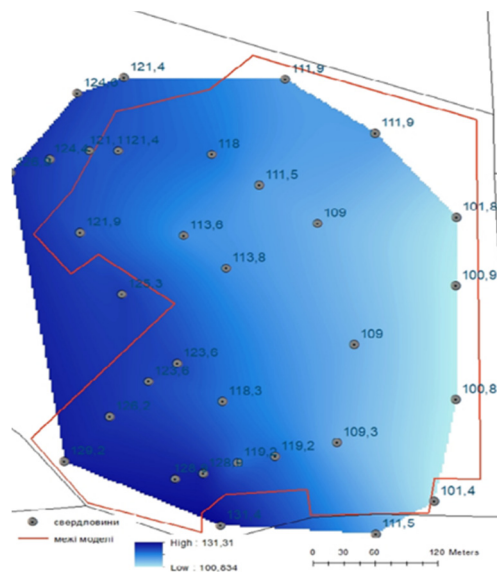


Рис. 3. Поверхня рівня ґрунтових вод у середовищі ArcGis

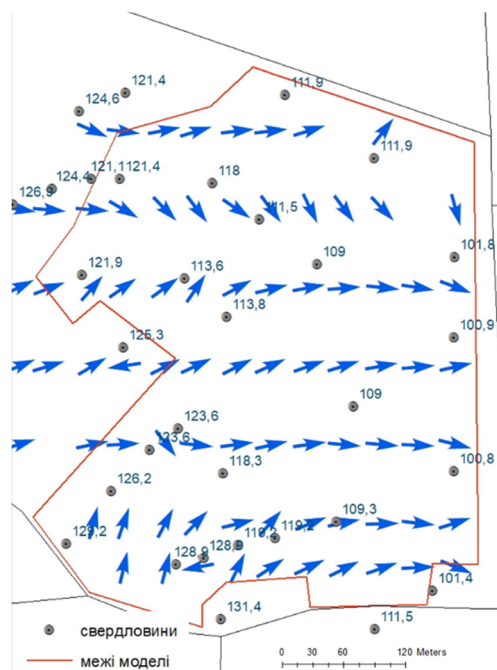


Рис. 4. Картосхема напрямку потоку ґрунтових вод

На другому етапі отриману інформацію було використано як еталонну при створенні та коригуванні геофільтраційної детермінованої моделі, що реалізує метод скінчених різниць (на стадії епігнозного моделювання) за допомогою програмного комплексу Processing Modflow. Для відображення гідрогеологічних умов з найменшим ступенем схематизації розміри розрахункових блоків моделі приймалися 10x10 м. Така модель, на думку авторів, дала змогу достатньо точно охарактеризувати умови формування і руху ґрунтових вод. Коригування геофільтраційних параметрів моделі та інтенсивності інфільтраційного живлення виконувалось таким чином, щоб розрахункові значення рівня ґрунтових вод максимально збігались з фактичними, які фіксувались в інженерно-геологічних свердловинах, а напрямку потоку та його загальний тренд відповідали даним, отриманим на першому етапі в середовищі ArcGis за допомогою модуля Darcy Flow.

Далі було виконано порівняння отриманої за допомогою комплексу Processing Modflow поверхні рівня ґрунтових вод з результатом, отриманим раніше в середовищі

ArcGis за допомогою модуля Darcy Flow. Результати порівняння наведено на рис. 5.

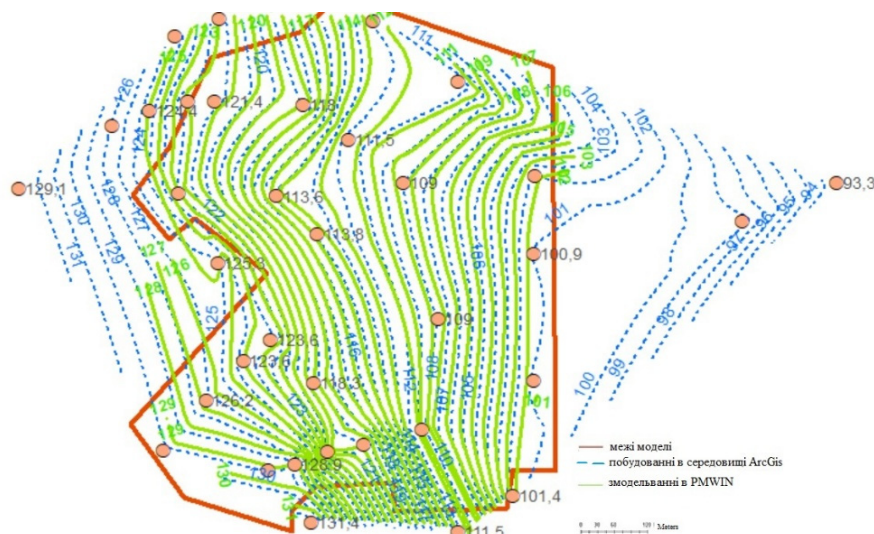


Рис. 5. Порівняння ізолінійних поверхонь рівня ґрунтових вод, отриманих за допомогою модуля Darcy Flow в середовищі ArcGis та комплексу Processing Modflow

Дискусія і висновки

В результаті можна зробити такі висновки.

1. Відмінність між отриманими поверхнями для розглянутого об'єкта дорівнює 0,2 м, що становить приблизно 10 % від можливої очікуваної максимальної похибки фактичного визначення рівня ґрунтових вод у свердловинах.

2. Створена таким шляхом геофільтраційна детермінована модель, що реалізує метод скінчених різниць, достатньо точно відповідає реальним умовам, тому може бути використана при прогнозуванні потоку ґрунтових вод у межах будівельного майданчика та на прилеглий території, зокрема з метою подальшої оцінки баражного ефекту.

3. Спільне застосування модулю Darcy Flow в середовищі ArcGis і програмного комплексу Processing Modflow дозволяє суттєво оптимізувати процес практичного застосування детермінованого методу скінчених різниць при моделюванні потоків ґрунтових вод із використанням даних інженерно-геологічних вишукувань та підвищити достовірність геофільтраційної детермінованої моделі.

4. У випадку, коли практична задача зводиться лише до відтворення фактичної поверхні ґрунтових вод, а не для прогнозування її змін під впливом природних і антропогенних чинників, з погляду витрат часу і фінансових ресурсів, перевагу слід надати модулю Darcy Flow та використанню локально-детермінованих методів інтерполяції в середовищі ArcGis порівняно з реалізацією детермінованого методу скінчених різниць.

Внесок авторів: Олексій Кошляков – концептуалізація, методологія, написання (оригінальна чернетка). Оксана Диняк – створення моделей, написання (перегляд і редагування). Ірина Кошлякова – формальний аналіз, валідація даних.

Джерела фінансування. Роботу виконано в рамках науково-дослідної роботи № 25КП049-03.

Список використаних джерел

Кошляков, О. С. (2003). *Гідрогеологічне моделювання*. ВПЦ "Київський університет".

Кошляков, О., Диняк, О., Чомко, Д., & Кошлякова, І. (2019). Врахування закономірностей формування, розподілу та впливу підземних вод з метою обґрунтування прогнозової гідрогеологічної моделі на ділянках

ущільненої міської забудови. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(87), 96–99. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.87.14>

Рудько, Г. І., & Яковлев, Є. О. (2020). Сучасні чинники регіональних граничних змін інженерно-геологічних умов України. *Мінеральні ресурси України*, 1, 15–26. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.15-26>

Alcaraz, M., Vázquez-Suñé, E., Velasco, V., & Criollo, R. (2017). A loosely coupled GIS and hydrogeological modeling framework. *Environmental Earth Sciences*, 76(10), 382. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6688-2>

Bailey, R., Abbas, S., Arnold, J., & White, M. (2025). SWAT+MODFLOW: a new hydrologic model for simulating surface-subsurface flow in managed watersheds. *Geoscientific Model Development*, 18, 5681–5697. <https://doi.org/10.5194/gmd-18-5681-2025>

Dyniak, O., Koshliakov, O., & Koshliakova, I. (2023). Application of spatial analysis and modeling in GIS in the implementation of the water balance method in the hydrogeological monitoring system. *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 2023, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520152>

Dyniak, O., Koshliakov, O., & Koshliakova, I. (2025). Experience in Optimizing the Process of Practical Application of Mathematical Modeling of Groundwater Flows. *18th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 2025, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510137>

Holzbecher, E. (2013). *Aquifer Physics Modes for Hydrogeological Modeling. Application of the COMSOL Physics Builder*. COMSOL Conference, Rotterdam.

Husna, A., Akmalia, R., Wira Rohmat, F., Wira Rohmat, I., Rohmat, D., Wijayasari, W., Alvando, P., & Wijaya, A. (2023). Groundwater Sustainability Assessment against the Population Growth Using a MODFLOW Groundwater Model (Bima City, Indonesia). *Water*, 15(24), 1–16. <https://doi.org/10.3390/w15244262>

Lin, H. T., & Lin, L. (2014). The development of GIS-PMWIN and its application for mine-water modelling in the Far West Rand, South Africa. *Water SA*, 40(2), 313–322. <https://doi.org/10.4314/wsa.v40i2.13>

Macdonald, D., Dixon, A., Newell, A., & Hallaways, A. (2012). Groundwater flooding within an urbanised flood plain. *Journal of Flood Risk Management*, 5(1), 68–80. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2011.01127.x>

Mirlas, V., Zhakyp, A., Auelkhan, Ye., & AnkerMirlas, Ya. (2025). Assessment of urbanization-related groundwater flooding process via Visual MODFLOW modeling: A case study for the northern part of Almaty city, Kazakhstan. *Journal of Flood Risk Management*, 18, 1–20. <https://doi.org/10.1111/jfr3.13029>

Perdikaki, M., Criollo Manjarrez, R., Pouliaris, C., Rossetto, R., & Kallioras, A. (2020). Free and open-source GIS-integrated hydrogeological analysis tool: an application. *Environmental Earth Sciences*, 79(348). <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09092-2>

Vijay, P., & Singh, V. (2018). Hydrologic modeling: progress and future directions. *Geoscience Letters*, 5(15). <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0113-z>

Wang, L., Pachocka, M., & Jackson, C. R. (2014). *User's manual for BGS GISGroundwater: a numerical model to simulate groundwater levels for ArcGIS10.0*. British Geological Survey Open Report, OR/12/063. <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/19875/>

References

- Alcaraz, M., Vázquez-Suñé, E., Velasco, V., & Criollo, R. (2017). A loosely coupled GIS and hydrogeological modeling framework. *Environmental Earth Sciences*, 76(10), 382. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6688-2>
- Bailey, R., Abbas, S., Arnold, J., & White, M. (2025). SWAT+MODFLOW: a new hydrologic model for simulating surface-subsurface flow in managed watersheds. *Geoscientific Model Development*, 18, 5681–5697. <https://doi.org/10.5194/gmd-18-5681-2025>
- Dyniak, O., Koshliakov, O., & Koshliakova, I. (2023). Application of spatial analysis and modeling in GIS in the implementation of the water balance method in the hydrogeological monitoring system. *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 2023, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520152>
- Dyniak, O., Koshliakov, O., & Koshliakova, I. (2025). Experience in Optimizing the Process of Practical Application of Mathematical Modeling of Groundwater Flows. *18th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, 2025, 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510137>
- Holzbecher, E. (2013). *Aquifer Physics Modes for Hydrogeological Modeling. Application of the COMSOL Physics Builder*. COMSOL Conference, Rotterdam.
- Husna, A., Akmalia, R., Wira Rohmat, F., Wira Rohmat, I., Rohmat, D., Wijayasari, W., Alvando, P., & Wijaya, A. (2023). Groundwater Sustainability Assessment against the Population Growth Using a MODFLOW Groundwater Model (Bima City, Indonesia). *Water*, 15(24), 1–16. <https://doi.org/10.3390/w15244262>
- Koshliakov, O. (2003). *Hydrogeological modeling*. "Kyiv University" [in Ukrainian].
- Koshliakov, O., Dyniak, O., Chomko, D., & Koshliakova, I. (2019). The study of the laws of formation, distribution, and influence of groundwater to justify substantiate the predicted hydrogeological model at the urban compacted area. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv*.
- Geology*, 4(87), 96–99 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.87.14>
- Lin, H. T., & Lin, L. (2014). The development of GIS-PMWIN and its application for mine-water modelling in the Far West Rand, South Africa. *Water SA*, 40(2), 313–322. <https://doi.org/10.4314/wsa.v40i2.13>
- Macdonald, D., Dixon, A., Newell, A., & Hallaways, A. (2012). Groundwater flooding within an urbanised flood plain. *Journal of Flood Risk Management*, 5(1), 68–80. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2011.01127.x>
- Mirlas, V., Zhakyp, A., Auelkhan, Ye., & AnkerMirlas, Ya. (2025). Assessment of urbanization-related groundwater flooding process via Visual MODFLOW modeling: A case study for the northern part of Almaty city, Kazakhstan. *Journal of Flood Risk Management*, 18, 1–20. <https://doi.org/10.1111/jfr3.13029>
- Perdikaki, M., Criollo Manjarrez, R., Pouliaris, C., Rossetto, R., & Kallioras, A. (2020). Free and open-source GIS-integrated hydrogeological analysis tool: an application. *Environmental Earth Sciences*, 79(348). <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09092-2>
- Rudko, H. I., & Yakovlev, Y. O. (2020). Modern factories of regional engineering-geological conditions of Ukraine changes. *Mineral Resources of Ukraine*, 1, 15–26 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.15-26>
- Vijay, P., & Singh, V. (2018). Hydrologic modeling: progress and future directions. *Geoscience Letters*, 5(15). <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0113-z>
- Wang, L., Pachocka, M., & Jackson, C. R. (2014). *User's manual for BGS GISGroundwater: a numerical model to simulate groundwater levels for ArcGIS10.0*. British Geological Survey Open Report, OR/12/063. <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/19875/>

Отримано редакцією журналу / Received: 26.01.26
 Прорецензовано / Revised: 27.04.26
 Схвалено до друку / Accepted: 13.05.26
 Опубліковано / Published: 29.05.26

Oleksii KOSHLIAKOV, DSc (Geol.), Prof.
 ORCID ID: 0000-0003-3090-4855
 e-mail: akoshliakov57@knu.ua
 Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Oksana DYNIAK, PhD (Geol.), Assoc. Prof.
 ORCID ID: 0000-0002-7147-0769
 e-mail: dyniak_o_v@knu.ua
 Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Iryna KOSHLIAKOVA, Engineer
 ORCID ID: 0000-0002-2293-8441
 e-mail: iryna.koshliakova@knu.ua
 Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

CURRENT APPROACHES TO MODELING GEOFILTRATION IN URBAN AREAS

Background. The purpose of the study is to develop theoretical concepts and applied approaches to modeling hydrogeological processes in space and time under the influence of natural and anthropogenic factors.

Methods. Hydrogeological modeling is one of the most effective and reliable tools for studying and predicting underground flow processes. Among numerical methods, the finite difference method, implemented in the well-known Processing MODFLOW software package, is most often used. Accurate determination of hydrodynamic pressures at the epignosis modeling stage is key to improving the accuracy of predictive calculations. To refine the geofiltration parameters of aquifers and the intensity of infiltration recharge, it is necessary to adjust the surface of the hydrodynamic head. Accuracy of parameters can be achieved when the model head values agree with actual measurements within the acceptable error range. To improve the reliability of the spatial position of the hydrodynamic head surface, it is proposed to use a tool independent of hydrogeological modeling – the Darcy Flow module in ArcGIS – to reproduce the head surface before the calibration stage.

Results. The proposed approach was tested on the example of a residential area in Kyiv. The direction and general trend of the underground flow, determined at the first stage in ArcGIS using the Darcy Flow module, were used to calibrate the geofiltration parameters of the model and the intensity of infiltration recharge by comparing the calculated groundwater levels with actual observation data. The high degree of agreement between the field and model results for determining the hydrodynamic head at selected points confirms the reliability and accuracy of the modeling results. The calculations prove the effectiveness of the combined use of the Darcy Flow module (ArcGIS) and the Processing MODFLOW software package for hydrogeological analysis.

Conclusions. Theoretical and applied approaches to modeling hydrogeological processes in urbanized areas have been substantiated and proposed. The results confirm the feasibility of applying the proposed integrated approach to optimize the practical use of the deterministic finite difference method in groundwater modeling based on engineering and geological survey data. The proposed methodology significantly improves the reliability and efficiency of deterministic geofiltration models.

Keywords: groundwater, hydrogeological modeling, engineering-geological surveys, Processing MODFLOW, Darcy Flow, ArcGIS.

Олексій Кошляков є членом редколегії видання, тому не брав участі у рецензуванні та прийнятті рішення щодо публікації цієї статті.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

Oleksii Koshliakov is a member of the journal editorial board, therefore did not take part in the peer-review process or in the decision to publish of this article.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.