УДК 711.4:725.1

А. В. Балинська
М. С. Улюнджиєв
К. В. Бауман

ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ QGIS ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ БАСЕЙНІВ ВОДОЗБОРУ В УМОВАХ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Розглянуто значення визначення басейнів водозбору для планування та розвитку міських територій. Обґрунтовано необхідність використання цифрових моделей рельєфу та геоінформаційних технологій для аналізу напрямків поверхневого стоку, локалізації зон накопичення води й оцінювання умов відведення дощових і талих вод. Проаналізовано інструменти QGIS для автоматизованого визначення водозбірних басейнів: QCT Watershed Delineation, HidroGIS Watershed Tools, BasinWorks GIS, QSWAT+ та модулі GRASS GIS. Для кожного інструмента розглянуто принцип роботи, послідовність виконання операцій, необхідні вихідні дані та результати обробки. Визначено особливості й обмеження застосування цих інструментів у межах територій із щільною міською забудовою.

Ключові слова: басейн водозбору, поверхневий стік, цифрова модель рельєфу, QGIS, GRASS GIS, гідрологічний аналіз, міська забудова.

Abstract. The paper examines the importance of watershed delineation for urban planning and development. The need to use digital elevation models and geographic information technologies to analyse surface runoff directions, identify water accumulation areas and assess stormwater and snowmelt runoff conditions is substantiated. QGIS tools for automated watershed delineation are analysed, including QCT Watershed Delineation, HidroGIS Watershed Tools, BasinWorks GIS, QSWAT+ and GRASS GIS modules. Their operating principles, workflows, input data requirements and processing outputs are compared. Particular attention is paid to the applicability and limitations of these tools in densely built-up urban areas.

Keywords: watershed, surface runoff, digital elevation model, QGIS, GRASS GIS, hydrological analysis, urban development.

Вступ

Одним із важливих завдань просторового планування міських територій є врахування природних умов формування та переміщення поверхневих вод. Збільшення площ забудови, влаштування дорожньо-транспортної інфраструктури, ущільнення ґрунтів і зменшення площ природних водопроникних поверхонь змінюють умови формування поверхневого стоку. Це може спричиняти перевантаження систем водовідведення, підтоплення окремих ділянок, накопичення води на вулицях і в пониженнях рельєфу.

Для обґрунтованого планування систем відведення дощових і талих вод необхідно встановити, звідки надходить поверхневий стік, якими шляхами він переміщується та в яких точках концентрується. Одним із методів розв’язання цього завдання є визначення басейнів водозбору на основі цифрових моделей рельєфу із застосуванням геоінформаційних систем.

Метою роботи є аналіз інструментів QGIS для автоматизованого визначення басейнів водозбору, порівняння їхніх алгоритмів, вхідних даних і результатів, а також оцінювання можливостей застосування для гідрологічного аналізу міських територій.

Основний текст

Басейн водозбору – це територія, з якої поверхневий стік під дією сили тяжіння спрямовується до визначеного водоприймального пункту: ділянки русла, водотоку, водойми, водопропускної споруди або іншої точки відведення води. Межі басейну формуються вододільними лініями, які розділяють території з різними напрямками стоку. У гідрологічному аналізі розрізняють басейни різного ієрархічного рівня: від великих річкових басейнів до локальних водозбірних ділянок, що формують стік до окремих дощоприймальних споруд.

Визначення басейнів водозбору в міській забудові має практичне значення для аналізу просторової організації поверхневого стоку. На відміну від природних територій, міський рельєф характеризується значною кількістю штучних елементів: будівель, дорожніх насипів, виїмок, бордюрів, підпірних стін, водовідвідних лотків та інженерних мереж. Вони можуть змінювати природні напрямки руху води, створювати локальні бар'єри або формувати штучні шляхи її відведення.

Побудова басейнів водозбору дає змогу:

- визначити площі територій, з яких поверхневий стік надходить до конкретних водоприймальних пунктів;
- встановити основні напрямки та шляхи концентрації поверхневого стоку;
- виявити локальні пониження рельєфу та потенційні зони накопичення води;
- оцінити території, що формують навантаження на окремі ділянки водовідвідної системи;
- обґрунтувати розміщення дощоприймальних споруд, водовідвідних каналів і локальних систем регулювання стоку;
- визначити доцільність заходів із регулювання поверхневого стоку під час реконструкції вулиць і планування нової забудови.

Таким чином, основний сенс побудови водозбірних басейнів полягає не лише у визначенні їхніх меж, а й у встановленні гідрологічних взаємозв'язків між окремими частинами міської території. Це дає змогу перейти від аналізу рельєфу як сукупності висотних відміток до оцінювання території як системи формування та переміщення поверхневого стоку.

Методика визначення басейнів водозбору засобами QGIS

Основою автоматизованого визначення басейнів водозбору є цифрова модель рельєфу (ЦМР, DEM), яка відображає просторовий розподіл висот земної поверхні у вигляді растрової матриці. Загальна послідовність гідрологічного аналізу включає підготовку цифрової моделі рельєфу, усунення небажаних замкнутих понижень, розрахунок напрямків стоку, визначення накопичення стоку, виділення водотоків, встановлення водоприймальних точок та окреслення водозбірних басейнів.

На першому етапі здійснюється гідрологічна корекція ЦМР. Її мета – усунути артефакти моделі, які можуть переривати розрахункові шляхи стоку. Далі визначаються напрямки переміщення води від кожної комірки растра до сусідніх комірок. На основі напрямків стоку розраховується накопичення – кількість комірок, води з яких проходять через певну комірку. За заданим порогом накопичення виділяється умовна мережа водотоків. Після визначення водоприймальної точки виконується простеження території в напрямку, протилежному стоку, та формується полігон басейну.

Для виконання цих операцій у QGIS доступні спеціалізовані плагіни та інструменти зовнішніх гідрологічних програмних середовищ.

QCT Watershed Delineation

QCT Watershed Delineation – плагін QGIS для автоматизованого визначення басейнів і підбасейнів водозбору. Підтримує обчислювальні механізми WhiteboxTools, TauDEM та

GRASS GIS. Робочий процес організовано у два етапи, що дає змогу перевірити проміжні результати перед остаточним визначенням басейнів [1].

На першому етапі виконується попередня обробка ЦМР: заповнення небажаних понижень, розрахунок напрямків стоку за алгоритмом D8, визначення накопичення стоку, виділення водотоків і перетворення їх у векторний формат. На другому етапі задаються водоприймальні точки, виконується їх прив'язка до розрахункової мережі водотоків, визначаються межі басейнів і підбасейнів, а також найдовші шляхи стоку.

Необхідні вихідні дані: цифрова модель рельєфу у растровому форматі, точки водоприймачів, параметри порогового значення для виділення водотоків. Для роботи плагіна необхідно забезпечити доступність відповідного обчислювального середовища – WhiteboxTools, TauDEM або GRASS GIS.

Результатами є растрові та векторні шари напрямків і накопичення стоку, мережа водотоків, полігони басейнів і підбасейнів, розрахункові лінії найдовшого шляху стоку та інформація про підбасейни. Важливою перевагою є можливість перевірки проміжних результатів і вибору водоприймальних точок безпосередньо на карті QGIS.

HidroGIS Watershed Tools

HidroGIS Watershed Tools – спеціалізований плагін QGIS для визначення водозбірних басейнів, виділення дренажної мережі та розрахунку морфометричних характеристик басейнів. В основу його роботи покладено метод D8, за яким кожна комірка цифрової моделі рельєфу передає стік до одного з восьми сусідніх напрямків відповідно до найбільшого перепаду висот [2].

Алгоритм передбачає підготовку цифрової моделі рельєфу, визначення напрямків руху води, побудову мережі стоку та окреслення басейну за заданою водоприймальною точкою. Додатково інструмент дає змогу визначати морфометричні характеристики, будувати гіпсометричні криві та розраховувати час концентрації стоку. Передбачено також роботу з підбасейнами для використання в гідрологічному моделюванні, зокрема у зв'язку з HEC-HMS.

Вихідними даними є цифрова модель рельєфу та задані параметри гідрологічного аналізу; для визначення конкретного водозбору необхідна інформація про водоприймальну точку або відповідну ділянку дренажної мережі. Результатами є межі водозбірних басейнів, мережа стоку, морфометричні показники та гіпсометричні характеристики.

Особливістю інструмента є розширений морфометричний аналіз, що виходить за межі простого визначення меж водозбору. Це робить його корисним для порівняння басейнів за геометричними та рельєфними характеристиками. Водночас використання алгоритму D8 передбачає однозначне призначення напрямку стоку для кожної комірки, що може спрощувати моделювання розподіленого стоку на пологих поверхнях.

BasinWorks GIS

BasinWorks GIS – плагін QGIS для гідрологічного аналізу рельєфу, який має вбудований механізм маршрутизації стоку D8. До його складу входять інструменти виділення водотоків (Stream Delineation), прив'язки водоприймальних точок до мережі стоку (Snap Pour Point) та визначення водозбірних басейнів (Catchment Delineation) [3].

Принцип роботи базується на визначенні напрямків стоку за цифровою моделлю рельєфу. Перед розрахунком виконується обробка замкнутих понижень і плоских ділянок, що має зменшити кількість розривів у розрахункових шляхах стоку. Після визначення напрямків стоку розраховується накопичення, виділяється мережа водотоків за заданим порогом кількості комірок водозбору, а водоприймальна точка прив'язується до найближчого розрахункового водотоку. На завершальному етапі формується полігон водозбору.

Основними вихідними даними є цифрова модель рельєфу та параметри виділення водотоків і водоприймальних точок. За потреби для формування узгодженої моделі використовуються інструменти GDAL для об'єднання растрових даних, перепроєктування та заповнення пропусків.

Результатами роботи є розрахункова мережа стоку, прив'язані водоприймальні точки та полігони водозбірних басейнів. Перевагою є наявність основних гідрологічних операцій в одному інструменті без обов'язкової залежності від SAGA. Водночас на момент аналізу в репозитарії QGIS для цього плагіна зазначено експериментальну версію, тому результати його роботи доцільно перевіряти на контрольних ділянках і порівнювати з іншими алгоритмами.

QSWAT+

QSWAT+ є плагіном QGIS, призначеним для підготовки просторових даних і побудови моделі водозбору в межах гідрологічної моделі SWAT+. На відміну від попередніх інструментів, він орієнтований не лише на геометричне визначення меж басейнів, а й на подальше моделювання гідрологічних процесів [4].

Процес визначення водозбору передбачає завантаження ЦМР, заповнення замкнутих понижень, розрахунок напрямків і накопичення стоку, побудову мережі водотоків за заданим порогом площі водозбору та поділ території на підбасейни у вузлах злиття водотоків. Водоприймальна точка прив'язується до розрахункової мережі. На наступному етапі модель може бути доповнена даними про ґрунти, землекористування, ухили та кліматичні умови для формування гідрологічних одиниць HRU.

Вихідні дані для побудови водозбору включають цифрову модель рельєфу та точки водоприймачів. Для повноцінного подальшого моделювання SWAT+ додатково потрібні карти ґрунтів і землекористування, дані про кліматичні характеристики та відповідні таблиці параметрів.

Результатами етапу визначення водозбору є полігони підбасейнів і лінійні об'єкти водотоків. Після наступних етапів підготовки моделі формуються HRU та файли гідрологічних зв'язків. Перевагою QSWAT+ є можливість перейти від картографічного визначення басейнів до моделювання водного балансу та інших гідрологічних процесів. Недоліком для завдань міського планування є складніша процедура підготовки даних і надмірність функціоналу, якщо метою є лише визначення локальних водозбірних територій.

Модулі GRASS GIS у середовищі QGIS

GRASS GIS є окремим геоінформаційним програмним середовищем, інструменти якого інтегровані в QGIS через Processing Toolbox. Для визначення басейнів водозбору доцільно використовувати модулі r.watershed та r.water.outlet [5; 6].

Модуль r.watershed виконує комплексний гідрологічний аналіз цифрової моделі рельєфу. Він дає змогу розрахувати накопичення стоку, напрямки дренажу, мережу водотоків і межі водозбірних басейнів. За замовчуванням застосовується алгоритм множинного напрямку стоку MFD, який розподіляє потік між кількома сусідніми комірками. За потреби можна примусово застосувати односторонню модель D8. Порогове значення визначає умови виділення водотоків і поділу території на басейни.

Модуль r.water.outlet використовується для виділення конкретного водозбірного басейну за попередньо розрахованою картою напрямків стоку та координатами водоприймальної точки. Він визначає всі комірки, з яких вода спрямовується до заданої точки.

Необхідними вихідними даними є цифрова модель рельєфу, координати водоприймальної точки та параметри розрахунку. Для r.water.outlet обов'язково потрібна попередньо сформована карта напрямків стоку, отримана, зокрема, за допомогою r.watershed.

Результатами роботи є растрові карти накопичення стоку, напрямків дренажу, мережі водотоків і басейнів. За допомогою подальшої векторизації можна отримати полігональні межі водозборів та лінійні об'єкти водотоків. Перевагою GRASS GIS є гнучкість налаштування алгоритмів, можливість використання MFD та D8, а також контроль проміжних результатів. Це робить його придатним для методично обґрунтованого гідрологічного аналізу територій різного масштабу.

Особливості застосування для міських територій

Результати автоматизованого визначення басейнів водозбору безпосередньо залежать від якості цифрової моделі рельєфу та її відповідності фактичним умовам території. У межах міської забудови використання лише базової ЦМР може призвести до помилкового визначення напрямків стоку, оскільки така модель не завжди відображає бордюри, водовідвідні лотки, підземні водопропускні споруди, дорожні насипи, штучні перепади висот та інші елементи інженерного облаштування.

Для підвищення достовірності результатів доцільно використовувати високоточні моделі рельєфу, дані геодезичних знімань, топографічні плани, інформацію про водовідвідні споруди та фактичні напрямки організованого поверхневого стоку. Особливо важливо враховувати водопропускні труби під дорогами, оскільки без їх урахування дорожнє полотно може інтерпретуватися алгоритмом як суцільна перешкода для стоку.

Окремої уваги потребує вибір алгоритму визначення напрямків стоку. Метод D8 спрямовує потік однією коміркою в напрямку найбільшого перепаду висот, що дає змогу отримати чіткі лінії концентрації стоку. Метод MFD допускає розподіл потоку між кількома сусідніми комірками, що може бути доцільним для аналізу розосередженого стоку на пологих поверхнях. Тому для міських територій із незначними ухилами результати різних алгоритмів варто порівнювати, а не приймати один із них як безумовно правильний.

Визначені басейни водозбору можуть використовуватися як просторова основа для оцінювання площ водозбору до окремих дощоприймальних споруд, аналізу потенційних напрямків поверхневого стоку, виділення ділянок його концентрації та обґрунтування заходів із водовідведення. Водночас саме визначення меж басейну не є розрахунком витрат дощових вод або гідравлічним розрахунком каналізаційної мережі. Для таких завдань необхідно додатково враховувати опади, характеристики поверхонь, коефіцієнти стоку, параметри водовідвідної системи та розрахункові умови.

Висновки

Визначення басейнів водозбору є важливим елементом просторового та інженерно-гідрологічного аналізу міських територій. Побудова таких басейнів дає змогу встановити територіальні межі формування поверхневого стоку, визначити напрямки його переміщення та локалізувати ділянки концентрації води. Отримані результати можуть використовуватися для обґрунтування планувальних рішень, розміщення водоприймальних споруд і розроблення заходів із регулювання поверхневого стоку.

Порівняння інструментів показало, що QCT Watershed Delineation забезпечує комплексну двоетапну процедуру визначення басейнів і підбасейнів; HidroGIS Watershed Tools додатково орієнтований на морфометричний аналіз; BasinWorks GIS поєднує базові операції гідрологічного моделювання в одному інструменті; QSWAT+ доцільний для комплексного моделювання водозборів; GRASS GIS забезпечує гнучке налаштування алгоритмів і контроль проміжних результатів.

Для завдань міського планування доцільно застосовувати GRASS GIS або QCT Watershed Delineation як базові інструменти побудови водозбірних басейнів, а результати перевіряти за даними топографічного та геодезичного знімання. Використання кількох алгоритмів дає змогу оцінити чутливість результатів до способу розрахунку напрямків стоку. Водночас достовірність моделі в умовах міської забудови визначається не лише обраним програмним інструментом, а насамперед якістю вихідної цифрової моделі рельєфу та повнотою врахування штучних елементів міської інфраструктури.

Список використаної літератури

1. QCT Watershed Delineation. QGIS Python Plugins Repository. URL: https://plugins.qgis.org/plugins/qct_watershed/ (дата звернення: 17.11.2026).
2. HidroGIS Watershed Tools. QGIS Python Plugins Repository. URL: https://plugins.qgis.org/plugins/hidrogis_tools/ (дата звернення: 17.11.2026).
3. BasinWorks GIS. QGIS Python Plugins Repository. URL: https://plugins.qgis.org/plugins/hydrology/ (дата звернення: 17.11.2026).
4. Your first watershed. SWAT+ Documentation. URL: https://docs.swat.tamu.edu/62.0.1/getting-started/first-watershed/ (дата звернення: 17.11.2026).
5. r.watershed. GRASS GIS 8.5 Manual. URL: https://grass.osgeo.org/grass-stable/manuals/r.watershed.html (дата звернення: 17.11.2026).
6. r.water.outlet. GRASS GIS 8.5 Manual. URL: https://grass.osgeo.org/grass-stable/manuals/r.water.outlet.html (дата звернення: 17.11.2026).

Балинська Анастасія Володимирівна – здобувачка групи БМ-23б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:

Улюнджиєв Мирослав Сергійович – здобувач групи БМ-23б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:

Бауман Катерина Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, bauman@vntu.edu.ua

Anastasia Balynska - student of the BM-23b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nastiabalynska@gmail.com

Uliundzhiiev Myroslav – student of the BM-23b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Bauman Kateryna - Ph.D. (Candidate of Technical Sciences), PhD,senior lecturer of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, bauman@vntu.edu.ua

Вінницький національний