

УДК 532.576

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА ДИНАМІКИ ПРИТОКУ ДО СІМФЕРОПОЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА \*

---

Є.А. ДУНАЄВА

Кримський науково-дослідний центр  
Інституту водних проблем і меліорації НААН

\* Роботу виконано під керівництвом доктора технічних наук,  
академіка НААН П.І. КОВАЛЕНКА

*Розглянуто алгоритм використання програмного комплексу MWSWAT для розрахунку притоку до Сімферопольського водосховища та можливості подальшого застосування цього відкритого програмного продукту для аналізу доступності водних ресурсів.*

**Ключові слова:** агрогідрологічне моделювання, ГХО, водосховище, MWSWAT

Аналіз та моделювання стоку р. Салгір стає більш актуальним у зв'язку з перерозподілом стоку Аянського водосховища переважно на потреби питного водопостачання та обводнення Добровської долини (через її інтенсивну забудову). При цьому вода Аянського водосховища буде повністю використовуватися тільки на питне водопостачання населених пунктів долини і відповідно перестане надходити у м. Сімферополь.

© Є.А. Дунаєва, 2011

Меліорація і водне господарство. 2011. Вип. 99

Крім того, водні ресурси, які місто отримує з інших джерел, будуть також частково направлені на її водозабезпечення. Це призведе до необхідності збільшення водозбору із Сімферопольського водосховища, що у свою чергу негативно вплине на доступність водних ресурсів для цілей зрошення, тобто для водоспоживачів, які отримували воду по двох магістральних водоводах Салгирського МУВГ.

Добровська сільська рада розташована у долині р. Салгір вище Сімферопольського водосховища. Верхів'я Салгіра (площа водозбору 307 км<sup>2</sup>) утворюють річки Ангара та Кізіл-Коба, а біля с. Зарічне впадає велика притока р. Аян, що збирає підземні води майже зі всього масиву Чатир-Дагу. Межі водозбірної площі наведено на *рис. 1*.

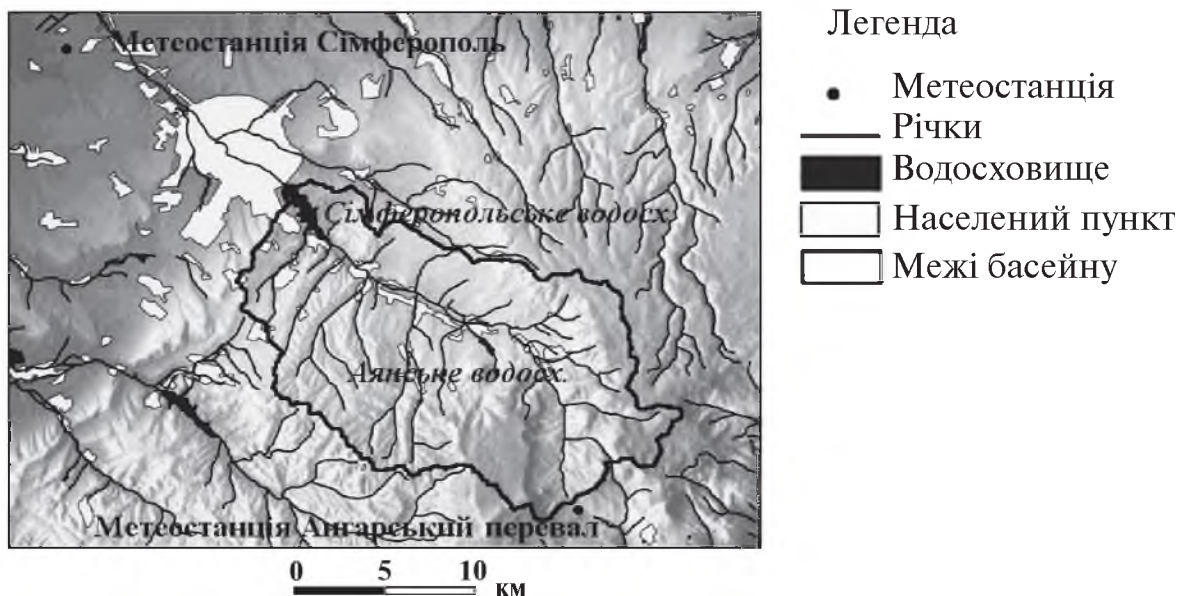


Рис. 1. Басейн р. Салгір вище Сімферопольського водосховища (Добровська долина)

Верхів'я Салгіра і його приток розташовані на північних схилах головної гряди Кримських гір, у середині течії вони мають характер гірських потоків з великими швидкостями. Долини річок вузькі, схили їх зливаються зі схилами прилеглої місцевості.

Верхів'я басейну складені карстом, що підстиляється глинистими сланцями та є акумулятором і регулятором вологи; на схилах у середній частині – ліси та виходи джерел [1]. Для

річок північного схилу, таких як Салгір, снігове живлення має велике значення. Стік формується завдяки сніготаненню та дощовим опадам.

Згідно з аналізом статистичних даних щодо притоку у Сімферопольське водосховище виявлено, що середній багаторічний стік зменшився за останнє 10-річчя (рис. 2), що має зв'язок з тенденцією збільшення середньорічної температури повітря. Цей фактор суттєво впливає на водозабезпеченість як верхів'їв долини Салгіра, так і на наповнення Сімферопольського водосховища.

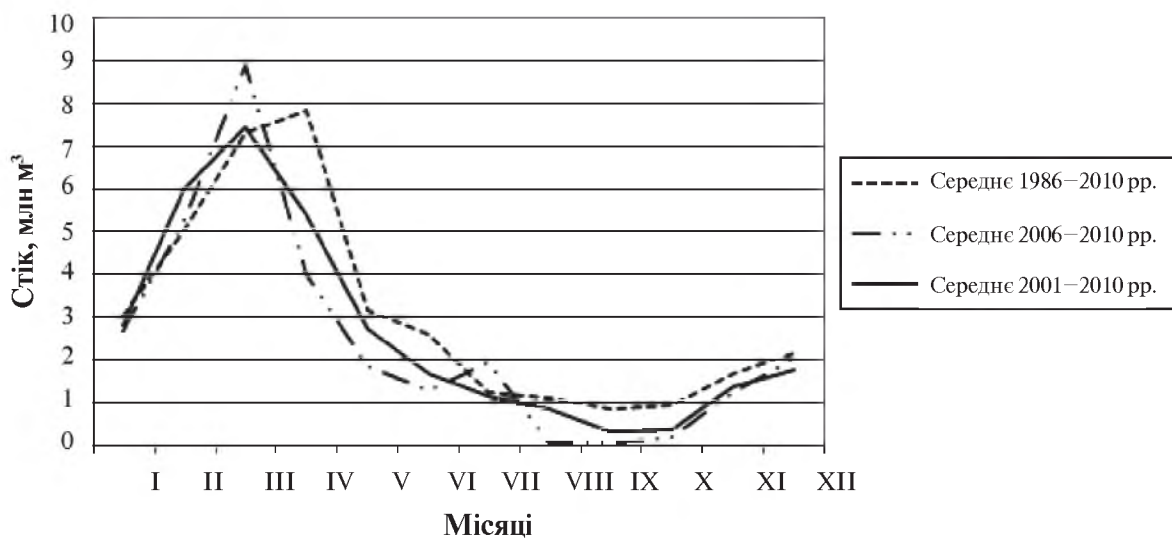


Рис. 2. Середній багаторічний стік р. Салгір (у створі вище Сімферопольського водосховища)

Для оцінки динаміки притоку до Сімферопольського водосховища в даній роботі використано можливості програмного комплексу MWSWAT, який розроблено для застосування безпосередньо у середовищі відкритої геоінформаційної системи MapWindow [2]. Для проведення розрахунків моделювання стоку необхідно мати дані щодо DEM (digital elevation model – електронна або цифрова модель рельєфу), землекористування та ґрунтів, метеорологічних показників, кількості та якості води на водозборі [3, 4]. Процедура моделювання складається з послідовних етапів, основними з яких є:

- а) підготовчий етап (створення БД землекористування, ґрунтів, метеорологічних даних тощо);
- б) створення проекту MWSWAT та проведення розрахунків.

Процедура може бути призупинена по завершенні будь-якого з трьох етапів. Одним з найбільш важливих моментів у методології є створення так званих гідрологічно-характерних одиниць (ГХО – hydrologic response units, HRU), які є базовими просторовими одиницями для моделювання. Внесення змін на етапі створення ГХО практично дорівнює створенню нового проекту;

в) внесення змін у параметри моделювання та повторне проведення розрахунків.

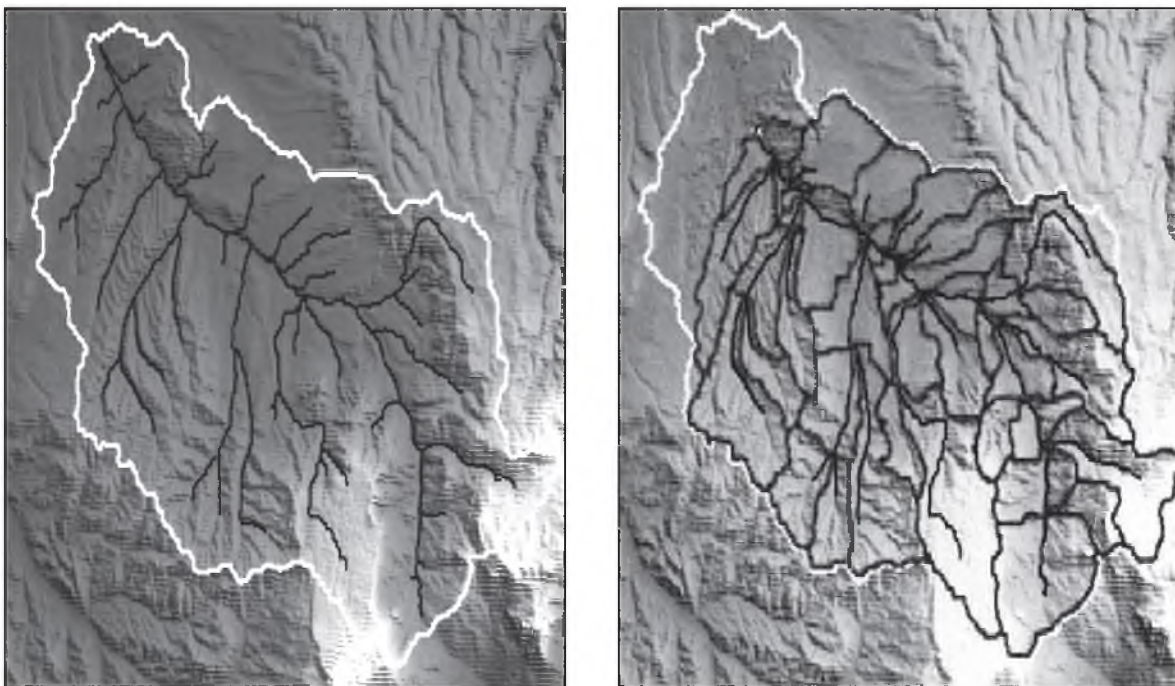
Перший крок при моделюванні водозбірного басейну – це виділення меж басейну та розділення його на суббасейни. Це може бути зроблено як з використанням окремої процедури оконтурювання басейнів MapWindow [2], так і за допомогою MWSWAT безпосередньо.

MWSWAT дає змогу виокремити декілька субодиноць у межах водного басейну: ГХО, резервуари, водно-болотні угіддя, русло, водосховища та точкові джерела. Основними вхідними даними для запуску цієї процедури є електронна модель рельєфу (DEM) та дані про землекористування і ґрунти (для визначення території та гідрологічних параметрів для кожної земельно-ґрунтової категорії, що моделюється всередині кожного субводозбірного басейну) [2].

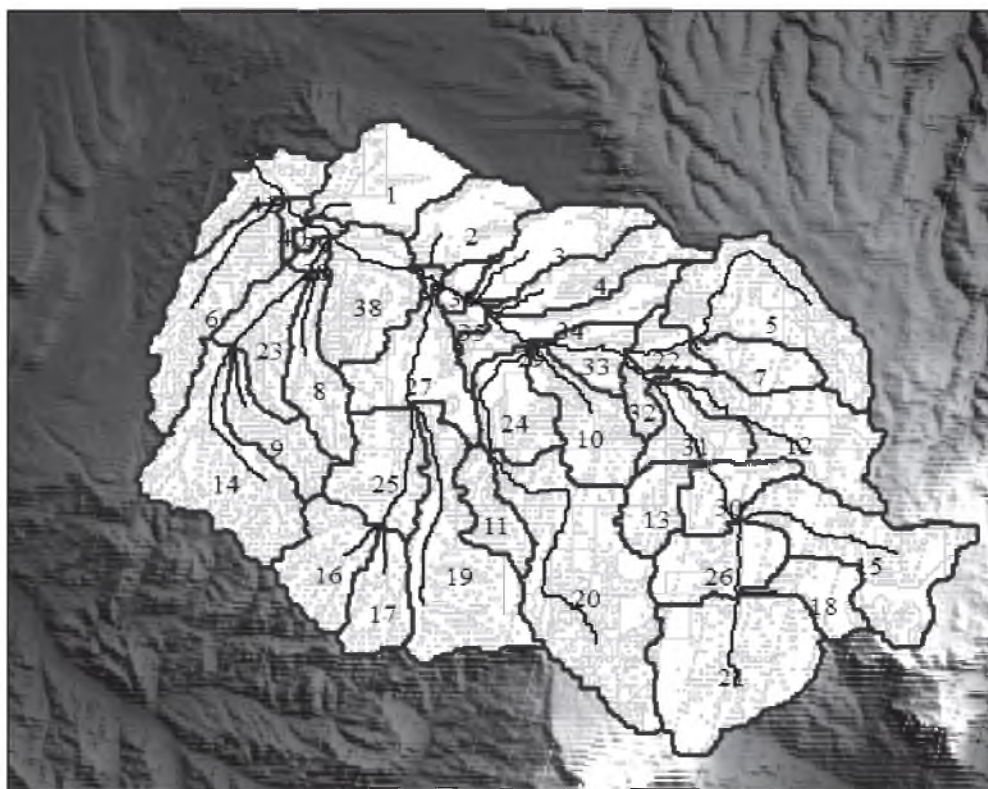
За наявності DEM з більшим просторовим розподіленням програмний комплекс створює більш детальну модель басейну з виділенням уточнених меж водозбору в цілому та меж суббасейнів, які гідрологічно взаємозв'язані між собою та основним руслом річки (*див. рис. 3*).

Виділення ГХО, тобто територій, що мають унікальні комбінації землекористування та ґрунтів, дає змогу моделі врахувати різницю у випаровуванні та інших гідрологічних умовах для різних типів землекористування (населених пунктів, сільськогосподарських угідь). Приклад результатів створення ГХО у верхів'ях р. Салгір наведено на *рис. 4*. Поверхневий стік моделюється окремо для кожної з гідрологічно-характерних одиниць і накопичується для отримання загального стоку водозбірного басейну. Це прискорює роботу алгоритму розрахунку та поліпшує сприйняття фізичного змісту процесів, що відбуваються, включаючи оцінку припустимих навантажень.

Дані по кожній ГХО записуються до шейп-файла, в атрибу-



**Рис. 3. Виділення меж водозбірної басейну, основного русла водотоку та суббасейнів (MWSWAT, 2009 р.)**



**Рис. 4. Вигляд водозбірної площі Сімферопольського водосховища, поділеної на суббасейни з виділенням гідрологічно-характерних одиниць (MWSWAT, 2009 р.)**

тивній таблиці якого зберігається інформація щодо типу землекористування, ґрунту, схилу, та відсоток цієї території на водозборі. Програмний комплекс MWSWAT дає можливість отримати звіти про виконання окремих етапів моделювання, які містять інформацію, корисну для подальшого аналізу, наприклад таку, як топографічний звіт та звіт щодо ГХО.

Топографічний звіт надає інформацію для водозбору в цілому та по кожному суббасейну щодо мінімальної, максимальної, середньої та стандартного відхилення висотної позначки, а також відсоток території з такими параметрами у водозбірному басейні. Звіт по водозбору забезпечує детальний опис розподілення землекористування – ґрунтів – схилів на водозбірному басейні та в усіх суббасейнах.

ГХО у суббасейні можна виділити за двома способами: за домінуючим типом землекористування – ґрунтів – схилів на цій території або за складеним визначенням. Останній варіант оснований на ігноруванні домінантного землекористування та визначення ГХО формується з пропорціональним розподіленням параметрів й урахуванням обраного граничного відсотка території з певними ознаками.

Користувач має можливість як виділити додатковий тип землекористування в межах попередньо визначених типів, так і вилучити окреме землекористування, що в обох випадках вплине на формування ГХО. Ця опція дає змогу зробити більш детальнішу специфікацію використання земель на території (наприклад, аналізувати різні варіанти впливу змін землекористування на об'єм та динаміку стоку або його якість).

Звіт по ГХО містить у собі інформацію по кожній гідрологічно-характерній одиниці у водозбірному басейні. Він генерується протягом процесу визначення ГХО та надає детальний опис розподілення землекористування – ґрунтів – схилів після визначення меж водозбірного басейну і всіх суббасейнів. Кількість ГХО з класами землекористування – ґрунтів – схилів і їхню протяжність визначено для кожного суббасейну.

Третім кроком у процедурі моделювання є запуск програмного комплексу з попереднім визначенням періоду розрахунків та джерела метеорологічних параметрів. Для цього необхідно мати дані щодо максимальної та мінімальної температури та опадів, та файл генератора погодних умов, який

використовується програмним комплексом MWSWAT для розрахунку інших параметрів, таких як сонячна радіація, швидкість вітру та відносна вологість повітря (якщо ці дані відсутні у таблицях вхідних параметрів). Вхідні дані метеорологічних параметрів повинні відповідати вимогам специфікації моделі [5], при цьому для розрахунків може бути використана практично необмежена кількість даних метеостанцій, що знаходяться на території водозбору або найближчих до нього.

Додатковим етапом у процесі моделювання водозбірного басейну за допомогою MWSWAT є візуалізація отриманих результатів зі збереженням створених карт у шейп-файлах та їхнім статистичним або динамічним відображенням.

На *рис. 5* наведено результати моделювання притоку до Сімферопольського водосховища порівняно з фактичними даними притоку та опадами за період 1986–2010 рр.

Коефіцієнт кореляції між статистичними даними та змодельованими значеннями притоку за наведений вище розра-

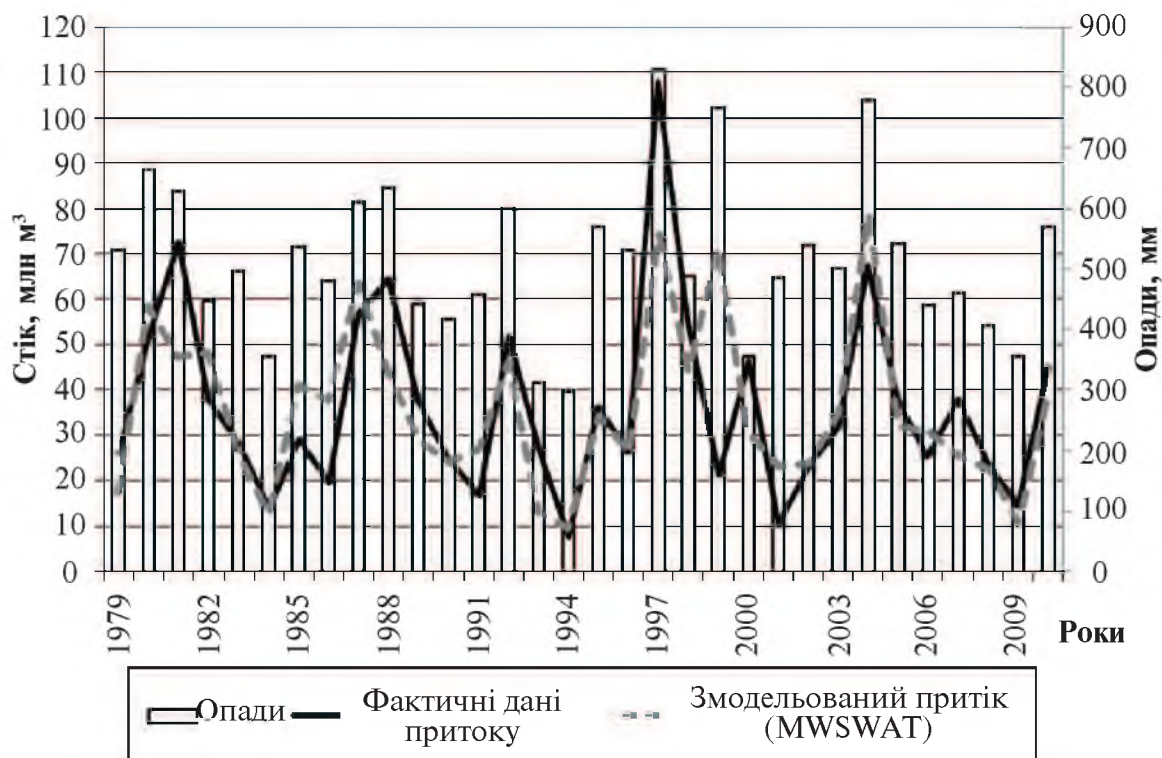


Рис. 5. Динаміка стоку р. Салгір (створ Сімферопольського водосховища)

хунковий період дорівнює 0,73, що дає змогу водночас з використанням комерційних версій програмних продуктів [3] розглядати відкрите програмне забезпечення MWSWAT як один з можливих інструментів моделювання стоку та оцінки прогнозу можливих змін притоку до водосховища.

**Висновки.** Моделювання агрогідрологічних процесів з використанням програмного комплексу MWSWAT, як показали дослідження, є одним з ефективних можливих інструментів оцінки та прогнозу зміни стану водогосподарських систем. Проведені результати аналізу річного стоку показують існування зв'язку між фактичними даними стоку та змодельованими з коефіцієнтом детермінації 0,53. При цьому в окремі роки спостерігається суттєве відхилення результатів моделювання від фактичного стоку, що свідчить про необхідність уточнення вхідних параметрів моделювання, особливо стосовно до даних щодо землекористування та структури ґрунтів на території водозбору.

Використання відкритих програмних продуктів, таких як MapWindow, та вбудованих процедур (наприклад, MWSWAT), створює підґрунтя для більш ефективного аналізу використання та управління водними ресурсами території.

### *Література*

1. *Кочерин Д.И.* Речной сток в верховьях Салгира до Симферополя (главные выводы) // Материалы по водному хозяйству Крыма. — Вып. 2. — Симферополь: Наркозем Крыма, 1922. — 12 с.
2. *Luis F. Leon.* MapWindow Interface for SWAT (MWSWAT). Version 1.5. — 2009. — 70 pp. Доступно за URL: <http://www.waterbase.org/documents.html>
3. *Hoffmann M., Zhovtonog O., Popovich V., Bolkina O. and Mikhaylenko S.* (2009). Use of GIS and GIS-based Models for River Basin Management Tasks and Water Management within Rural Areas. ICID conference. — Lviv. Доступно за URL: <http://europeicid2009.org/media/trudy/Hoffmann-Ukraine.pdf>
4. *Лычак А.И.* Прогнозное моделирование геоэкологических ситуаций в Крыму с использованием SWAT-модели /А.И. Лычак, Т.В. Бобра, В.О. Ященко // Учёные записки Тавр. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер.: География. — 2011. — Т. 24 (63). — № 3. — С. 116 — 121.
5. *Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Srinivasan R.* Soil and Water Assessment Tool. Input/Output File Documentation. Version 2009. Texas Water Resources Institute Technical report. — 2010. — № 365. — 620 pp. Доступно за URL: <http://www.waterbase.org/documents.html>



*Рассмотрены алгоритм использования программного комплекса MWSWAT для расчета притока в Симферопольское водохранилище и возможности дальнейшего применения этого открытого программного продукта для анализа доступности водных ресурсов.*

*Presented the algorithm of MWSWAT program using for calculation of the inflow to the Simferopol reservoir and possibilities of the further usage of this free open software for the analysis of water recourses availability.*