МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ Одеський державний екологічний університет

<u>Факультет Комп'ютерних наук,</u> управління та адміністрування

Кафедра Інформаційних технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Дослідження методів інтелектуального аналізу для оцінки <u>ландшафтних та кліматичних характеристик річкових басейнів</u>»

> Виконав студент <u>2 курсу</u> групи <u>MIC-20</u> спеціальності 122 Комп'ютерні науки

Майоров Максим Петрович_____

<u>Керівник: к.т.н., доцент</u> <u>Терещенко Тетяна Михайлівна</u>

Рецензент <u>д.т.н., професор.</u> <u>Мещеряков Володимир Іванович</u>

АНОТАЦІЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

«Дослідження методів інтелектуального аналізу для оцінки ландшафтних та кліматичних характеристик річкових басейнів»,

студента Майорова Максима Петровича

Кваліфікаційна магістерська робота: 77 с., 7 табл., 30 рис., 22 джерел.

Ключові слова: географічні інформаційні системи, інтелектуальний аналіз даних, геообробка даних, водорозділ, цифрова модель рельєфу, класифікація.

Мета дослідження – вдосконалення існуючих геоінформаційних технологій для оцінки ландшафтних та кліматичних характеристик річкових басейнів з метою подальшого аналізу їх впливу на стік рік.

Задачі дослідження: розробити інструменти для проведення геообробки виконання гідрологічного даних, зокрема для аналізу, формування басейнів річок, розрахунку ландшафтних та кліматичних характеристик річкових басейнів; створити проект ГІС для гідрологічного моделювання та аналізу залежності величини поверхневого стоку від ландшафтних та кліматичних характеристик.

Об'єкт дослідження – річкові басейни України.

Предмет дослідження – геоінформаційні технології розрахунку гідрологічних, ландшафтних та кліматичних характеристик річкових басейнів.

Методи дослідження: методі просторового моделювання та ГІСаналізу, математичний апарат теорії нечітких множин.

Результати, їх новизна, теоретичне та практичне значення: створено проєкт ArcGIS, який включає: растрові шари експозиції, ухилу, кривизни. поверхні басейнів, векторний шар басейнів річок, статистичні дані про характеристики та стік річок, за допомогою якого фахівці можуть проводити подальші дослідження поверхневого стоку річок України.

SUMMARY

for a master's degree

"Research into Methods of Data Mining for an Assessment of Landscape and Climatic Characteristics of River Basins", students of Maxim Maiorov

Qualifying master's thesis: 77 pages, 7 tables, 30 figures, 22 sources.

Keywords: geographic information systems, data mining, geoprocessing, watershed, digital terrain model, classification.

The purpose of the study is to improve existing geoinformation technologies to assess the landscape and climatic characteristics of river basins in order to further analyze their impact on river runoff.

The object of research is the river basins of Ukraine.

The subject of research is geoinformation technologies for calculating hydrological, landscape and climatic characteristics of river basins.

Objectives of the research: to develop tools for geoprocessing, in particular for hydrological analysis, formation of river basins, calculation of landscape and climatic characteristics of river basins; create a GIS project for hydrological modeling and analysis of the dependence of surface runoff on landscape and climatic characteristics.

Research methods: methods of spatial modeling and GIS analysis, mathematical apparatus of fuzzy set theory.

Results, their novelty, theoretical and practical significance: the ArcGIS project was created, which includes: raster layers of exposure, slope, curvature. basin surfaces, vector layer of river basins, statistical data on characteristics and river runoff, with the help of which specialists can conduct further research of surface runoff of rivers of Ukraine.

3MICT

Скоро	чення та умовні познаки	8
Вступ		9
1 Огля	ид предметної області та виходних даних 1	.1
1.1	Поняття гідрологічного циклу 1	. 1
1.2	Вихідні дані проекту 1	. 1
1.2	2.1 Цифрова модель рельєфу 1	2
1.2	2.2 Супутникові дані SRTM 1	4
1.2	2.3 Кліматичні бази даних 1	9
2 Опи	с програмних засобів розробки інструментів геообробки 2	2
2.1	Обґрунтування вибору ГІС-пакету 2	22
2.1	1.1 Програмний комплекс ArcGIS Desktop 2	2
2.1	.2 Пакет ГІС MapInfo Professional 2	24
2.1	.3 Пакет QGIS і інші відкриті настільні ГІС 2	.6
2.2 3	Засоби створення інструментів геообробки даних 2	29
2.2	2.1 Створення інструментів за допомогою ModelBuilder 3	60
2.2	2.2 Створення інструментів геообробки за допомогою Python 3	4
3 Розр	обка ГІС-проєкту та інструментів геообробки даних 4	-1
3.1	Розробка моделі обробки геоданих для формування басейнів річок т	ra
побу	дови дренажної системи 4	3
3.2	Обчислення ландшафтних характеристик басейнів річок 5	;2
3.2	2.1 Обчислення експозиції схилів поверхні 5	62
3.2	2.2 Обчислення ухилу місцевості 5	5
3.2	2.3 Обчислення стандартної, профільної та планової кривизн	И
ПО	верхні 5	7
3.3	Обчислення кліматичних характеристик у межах басейнів б	51
3.4	Класифікація геоданих з використанням апарату нечітких множин 6	52
3.5	Додавання даних до проекту ArcGIS	56
Висно	вки	57

Перелік джерел посилання	67
Додаток А Листинг Python скриптів для гідрологічного аналізу	72
Додаток Б Результати моделювання	74
Додаток В Скрипти запитів до кліматичної баз даних Copernicus	75

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

- БГД – база геоданіх ΓΙΟ – географічна інформаційна система ДДЗ - дані дистанційного зондування ПБГД – персональна база геоданих П3 – програмне забезпечення СКБД – система керування базами даних ЦМР - цифрова модель рельєфу DEM – Digital Elevation Model (цифрова модель рельєфу) **ESRI** - Environmental Systems Research Institute - Geographic Resources Analysis Support System GRASS **GRS-80** - Geodetic Reference System, 1980 gvSIG - Generalitat Valenciana, Sistema d'Informació Geogràfica NASA - National Aeronautics and Space Administration OGC - Open Geospatial Consortium OSGeo - Open Source Geospatial Foundation SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses SDTS - Spatial Data Transfer Standard
- SRTM Shuttle Radar Topography Mission
- UTM Universal Transverse Mercator
- WGS-84 World Geodetic System, 1984

ВСТУП

Вивчення стоку рік є важливим завданням дослідження гідрологічного циклу, важливим як з погляду науки (прогнози розвитку водного стану середовища), так і практики для раціонального ведення сільського, лісового господарства, розвитку рекреацій, охорони навколишнього середовища. Водні ресурси і водогосподарський комплекс визначають соціальноекономічну стійкість і напрям розвитку країни. Сучасні умови потребують якісно нові інформаційні інструменти в оперативному управлінні, використанні і охороні водних ресурсів та меліоративних об'єктів України.

На території України розташована велика кількість водних об'єктів і для автоматизації вирішення низки завдань з управління водними ресурсами необхідно використовувати можливості ГІС-аналізу та просторового моделювання. Геоінформаційні системи (ГІС) загального призначення мають широкий набір інструментів геообробки просторової інформації. Але для виконання окремих вузькоспеціалізованих завдань аналізу (наприклад, ландшафтних та кліматичних характеристик річкових басейнів), іноді є необхідним створення власних інструментів, які можуть бути виконані в середовищі ГІС.

Метою даної кваліфікаційної роботи дослідження та вдосконалення існуючих геоінформаційних технологій для оцінки ландшафтних та кліматичних характеристик річкових басейнів з метою подальшого аналізу їх впливу на стік рік. Створення набору інструментів геообробки просторової інформації на мові програмування Python для виконання гідрологічного аналізу територій в пакеті ArcGIS 10.7.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- провести огляд предметної області та вихідних даних моделювання;

– виконати порівняльний аналіз сучасних ГІС пакетів та іх функціональних можливостей для здійснення гідрологічного аналізу; провести огляд сучасного програмного забезпечення для створення інструментів геообробки просторової інформації;

 – розробити інструменти для проведення геообробки даних, зокрема для виконання гідрологічного аналізу, формування басейнів річок, розрахунку ландшафтних та кліматичних характеристик річкових басейнів;

– створити проект ГІС для гідрологічного моделювання та аналізу залежності величини поверхневого стоку від ландшафтних (висота над рівнем моря, експозиція схилів, ухил, кривизна (стандартна, профільна, планова) та кліматичних (середньомісячні температури та опади, середньорічна температура та сума опадів) характеристик.

Структура кваліфікаційної роботи складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань на 22 найменування, додатків. Повний обсяг роботи становить 77 сторінок, містить 30 рисунків і 7 таблиць.

1 ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ВИХОДНИХ ДАНИХ

1.1 Поняття гідрологічного циклу

Гідрологічний цикл визначається кліматичними та енергетичними змінними, такими як добова кількість опадів, мінімальна та максимальна температура повітря, сонячна радіація, швидкість вітру, відносна вологість повітря [1].

Водний баланс – співвідношення за будь-який проміжок часу приходу, витрати та акумуляції води для річкового басейну або ділянки території, для озера, болота або іншого об'єкта, що досліджується. Прибуткова частина балансу води в басейні – це опади, конденсат води на ґрунті, вихід ґрунтових вод. Витратна частина водного балансу – це випаровування з ґрунту, випаровування рослинами, поверхневий стік, просочування в підземні води.

Особливості рельєфу, такі як, висота над рівнем моря, крутість схилів, їх експозиція та кривизна, розчленованість рельєфу також визначають особливості гідрологічного циклу, оскільки визначають умови сонячної освітленості, швидкості та напрямки вітрів, мікроклімат окремих частин басейну.

Вивчення стоку рік є важливим завданням вивчення гідрологічного циклу, важливим як з погляду науки (прогнози розвитку стану водного середовища), так і практики для раціонального ведення сільського, лісового господарства, розвитку рекреацій, охорони природного середовища.

1.2 Вихідні дані проекту

Завданням кваліфікаційної роботи є створено проекту географічних даних та інтегрування в нього розроблених інструментів геообробки у вигляді скриптів Python, на основі яких можливий подальший глибинний аналіз стоку рік. Проект повинен включати:

 дані про кліматичні показники (середньомісячні температури (градуси) та кількість опадів (мм); середньорічні температури та сума опадів);

– ландшафтні особливості басейнів (висота над рівнем моря (м), крутість схилів (градуси), експозиція схилів (градуси), кривизна схилів (відносна одиниця), розчленованість рельєфу (горизонтальна та вертикальна (м⁻¹);

– векторний шар басейнів (найменування, ідентифікатор, площа) у форматі shp;

– векторний шар розчленованості рельєфу басейнів (найменування, ідентифікатор), площа (м²), довжина річки (м), горизонтальна розчленованість (м⁻¹), вертикальна розчленованість (м⁻¹).

1.2.1 Цифрова модель рельсфу

Найбільш поширені цифрові дані форми поверхні Землі це цифрові моделі рельєфу на основі комірки (ЦМР). Ці дані використовуються як вхідні для кількісної оцінки характеристик земної поверхні.

Цифрова модель рельєфу – це засіб цифрового представлення тривимірних просторових об'єктів (поверхонь, рельєфів) у вигляді сукупності висотних відміток (відміток глибин) і іншими значеннями аплікат (координат Z) в вузлах регулярної мережі, нерегулярної трикутної мережі або як сукупність записів горизонталей (ізогипс, изобат) або інших ізоліній [2]. ЦМР може бути побудована із застосуванням методів дистанційного зондування або за допомогою картографічних матеріалів.

На основі ЦМР можливе швидке створення серії тематичних карт найважливіших морфометричних показників: гіпсометричної карти, карт крутизни та експозицій схилів, а на їх основі і карт ерозійної небезпеки, напрямків поверхневого стоку, геохімічної міграції елементів, стійкості ландшафтів. ЦМР як один із шарів інформаційного блока ГІС, що містить цифрову інформацію про відмітки топографічної поверхні у вигляді растра або ТІN-моделі. У цьому випадку форма представлення вихідних даних про рельєф і спосіб відновлення значень топографічної поверхні по клітинках растра заданого розміру з використанням методів інтерполяції й екстраполяції складають основу її побудови [3].

Одним з лідерів у сфері створення і використання ЦМР є США. В даний час національної топографо-картографічної службою країни – Геологічної зйомкою США (U.S. Geological Survey) – виробляються п'ять наборів даних, що представляють ЦМР в форматі DEM (Digital Elevation Model) і розрізняються за технологією, вирішенню і просторовому охопленню.

DEM-дані розглядаються як складова частина Національної цифрової картографічної бази даних NDCDB. Довідки про наявність ЦМР всіх типів для кожного блоку, організовані у вигляді бази метаданих для штатів США, Пуерто-Ріко і деяких інших територій, можна знайти в Інтернет [4-6]. Для більшої доступності цих даних Геологічною зйомкою США зараз здійснюється їх конвертування в стандартний формат SDTS. Також слід зазначити, що дані DEM лежать в основі цифрових моделей рельєфу, що використана в популярній пошуковій системі Google Earth (рис. 1.1) [7].

Останнім виробництва ЦМР часом для в США широко використовуються дані радіолокаційної зйомки з космічних кораблів багаторазового використання Shuttle в рамках проекту Національного агентства з аеронавтики і космічних досліджень (NASA) під назвою SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) [8]. Метою цього проекту є виробництво цифрових топографічних карт на всю територію суші між 60 ° пн.ш. і 56 ° пд.ш. (Тобто на 80% всієї суші Землі) з просторовим дозволом 1 кутова секунда (25-30 м) і вертикальною точністю 16 м. Дані SRTM отримали велику популярність при створенні віртуальних геозображень.



Рисунок 1.1 – Вигляд прибережної частині Одеського регіону в пошуковій системі Google Earth

Як показує досвід створення ЦМР США, мінімальний масштаб карт, використовуваних для найбільш грубої «одноградусної» ЦМР (1-degree DEM), не виходить за межі 1: 250 000, тобто масштаби дрібніше 1: 250 000 як джерела даних для ЦМР не використовуються. Джерелом ЦМР більш низької роздільної здатності повинні бути не більш мелкомасштабні картографічні джерела, а цифрова модель більш високої роздільної здатності, що генералізується до потрібного рівня детальності [9].

1.2.2 Супутникові дані SRTM

В даний час для створення ЦМР для досить великих територій практично використовуються два метода: на основі оцифровування топографічних карт або за даними супутникової радіолокаційної зйомки (SRTM), виконаної Національним агентством з аеронавтики і космічних досліджень США (NASA) [8].

SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) – глобальна радіолокаційна багаторазова топографічна зйомка – була проведена для більшої частини території земної кулі, за винятком самих північних (понад 60 °) і південних (понад 54°) широт, а також океанів (рис. 1.2). Зйомка SRTM виконувалася впродовж 11 днів в лютому 2000 р двома сенсорами SIR-C і X-SAR, змонтованими на космічному кораблі багаторазового використання «Shuttle». Основна база даних перебуває у вільному доступі через глобальну мережу Інтернет за адресою: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/ у вигляді растрових файлів, представлених як квадратні області розміром $1 \times 1^{\circ}$ з просторовою роздільною здатністю 1 арксекунди (~ 30 м) або 3 арксекунди (~ 90 м). Це є достатнім для оціночних досліджень в масштабі області або адміністративного району.



Рисунок 1.2 – Схема покриття території Землі зйомкою SRTM

Квадрат даних SRTM – просте 16-бітове растрове зображення без заголовка. Висота над рівнем моря – значення амплітуди (яскравості) пікселя в цій точці. У разі відсутності даних у відповідному пікселі записується число -32768, Яке відповідає значенню «no data »(відсутність даних про висоту).

Проектна точність даних SRTM різна для різних континентів і територій земної поверхні, що пов'язано, перш за все, з кратністю зйомки і характером поведінки рельєфу місцевості (табл.1.2). Основним недоліком цих даних є відображення сигналу не тільки від поверхні землі, а й від верхівок рослинності, що створює на підсумковій ЦМР значний «висотний шум».

Помилка	Африка	Австралія	Євразія	Острова	Північна	Південна
					Америка	Америка
Абсолютна	11,9	7,2	8,8	9,0	12,6	9,0
в плані, м						
Абсолютна	5,6	6,0	6,2	8,0	9,0	6,2
за висотою,						
М						
Відносна за	9,8	4,7,	8,7	6,2	7,0	5,5
висотою, %						

Таблиця 1.2 – Проектна точність даних SRTM [8]

За час, що минув після проведення вимірювань, топогеодезична база SRTM уточнювалася і коректувалася іншими топогеодезичними дослідженнями, в тому числі наземними, що дозволило істотно поліпшити її характеристики.

Слід зазначити, що територія України знаходиться в одному з найбільш освітлених SRTM-зйомкою поясів планети. Як видно з схеми освітленості (рис. 1.2), основна частина покрита триразовою зйомкою, а її центральна і північна частини – чотирикратною. Така кратність спостережень дозволяє вважати, що помилки топографічної зйомки SRTM в межах території України, і особливо в її рівнинних ділянках, можуть бути значно меншими, ніж в цілому по Євразії, а точність визначення висот рельєфу – вище.

Точність висот заявлена не нижче 16 м, але тип оцінки цієї величини – середня, максимальна, середня квадратична помилка (СКО) – не пояснений, що й не дивно, оскільки для оцінки точності необхідні або еталонні значення висот приблизно цього же ступенем охоплення, або строгий теоретичний

аналіз процесу отримання і обробки даних. У зв'язку з цим, аналіз точності матриці висот SRTM проводився не одним колективом вчених різних країн світу. За їх оцінками висоти SRTM мають помилку, яка для рівнинній місцевості в середньому становить 2,9 м, а для горбистої – 5,4 м. Причому значна частина цих помилок включає систематичну складову. Відповідно до їхніх висновків, матриця висот SRTM підходить для побудови горизонталей на топографічних картах масштабу 1: 50000. Але на деяких територіях висоти SRTM за своєю точністю приблизно відповідають висотам, отриманим з топографічної карти масштабу 1: 100000 [8].

Дані SRTM можуть використовуватися в різні прикладні завдання, різного ступеня складності. Цей вид даних є універсальним джерелом для моделювання земної поверхні, головним чином для побудови цифрових моделей рельєфу і цифрових моделей місцевості, але питання застосовності радарних висотних даних SRTM в якості альтернативи стандартним методам побудови цифрової моделі місцевості і рельєфу, на наш погляд, має вирішуватися в кожному випадку індивідуально, залежно від поставленого завдання, характеристик рельєфу і необхідної точності висотної прив'язки [8].

Для проєкту, що розроблювався в кваліфікаційній роботі, робота з ЦМР проводилася у всесвітній системі геодезичних параметрів Землі 1984 (WGS84). Шар рельєфу створювався із файлів цифрової моделі рельєфу формату SRTM 3 arcsec. Кожен файл має формат TIFF, і охоплює територію України. Дані взяті із сайту USGS [4].

Деякі річки розташовані на території, де дані ЦМР SRT відсутні. У цих випадках використовувалась модель ASTER Global Digital Elevation (GDEM), яка охоплювала північні широти.

ASTER GDEM (ASTGTM) охоплює поверхню Землі між 83° північної широти та 83° південної широти та складається з 22,702 плитки. Плити, які містять щонайменше 0,01% площі Землі. ASTER GDEM поширюється у форматі GeoTIFF файлів із географічними координатами (широта довгота).

У разі коли річка охоплює кілька сцен ЦМР, було зроблено об'єднання в мозаїку в пакеті ГІС.

Взагалі, дані SRTM можуть бути закачані з декількох Інтернет джерел. Головним є сайт http://srtm.csi.cgiar.org/, але дуже зручним виявляється доступ до даних з сайту http://dwtkns.com/srtm/ (рис.1.3).



Рисунок 1.3 – Головне вікно сайту http://dwtkns.com/srtm/

Дані мають формат GeoTIFF, який підтримується пакетом ArcGIS і відображуються в географічній системі координат GCS WGS 84. В географічних системах координат довжини, площі і кути в різних ділянках спотворюються, тому слід перепроектувати ці дані у проектовану систему координат, щоб вони краще виглядали.

Оскільки обидві системи координат знаходяться в одному датумі, то не потрібно задавати додаткові параметри перетворення. Далі необхідно змінити кольорову гаму і задати спосіб класифікації.

На рис.1.4 представлений ЦМР отримана за даними STRM. ЦМР України представлена на рис.Б.1.





1.2.3 Кліматичні бази даних

Дані про кліматичні показники можуть бути взяті з ресурсу http://www.cru.uea.ac.uk [10]. Група Climatic Research (CRU) була створена у Школі наук про довкіллю (ENV) в Університеті Східної Англії (UEA) в Норіджі в 1972 році, засновником є професор Hubert H. Lamb.

Climatic Research Unit (CRU) – кліматична дослідницька група, широко відома, як одна з провідних світових установ, що займається вивченням природної та антропогенної зміни клімату. Група розробила ряд наборів даних, які широко використовуються в дослідженнях клімату, включаючи глобальний запис температури, що використовується для моніторингу стану кліматичної системи, а також статистичні пакети програмного забезпечення та кліматичних моделей.

Метою CRU є покращення наукового розуміння:

– про минуле кліматичної історії та його вплив на людство;

- про хід та причини зміни клімату протягом інструментального періоду;
- про перспективи зміни у майбутньому.

Іншою великою базою кліматичних даних є Служба зміни клімату

Сорегпісиз (скорочено C3S) – одна з шести тематичних служб, що надаються програмою Європейського Союзу Сорегпісиз. Програма Сорегпісиз знаходиться під управлінням Європейської комісії, а C3S реалізується Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) і діє з 2018 році.

Завдання служби Copernicus Climate Change Service – створити базу знань ЄС на підтримку політики пом'якшення наслідків та адаптації до зміни клімату та глобального потепління. Метою оперативної служби зміни клімату є надання надійної інформації про поточний та минулий стан клімату, прогнози в сезонному часовому масштабі та найбільш ймовірні прогнози на найближчі десятиліття для різних сценаріїв викидів парникових газів та інших кліматичних змін.

База даних містить велику кількість кліматичних даних і моделей клімату. Вони охоплюють як історічні дані спостережень так і прогнозні дані. Система має CDS API доступ до якого можливий або за допомогою Toolbox Editor, який дозволяє виконати он-лайн запит до бази даних, сформований у вигляді Python коду, або за допомогою дистрибутиву мови Python, наприклад Anaconda.

В першому випадку можна отримати карту розподілу характеристики прямо на веб-сторінці служби Copernicus (рис.1.5). В другому – може бути завантажено файл формату netCDF, що містить кліматичні дані. Далі його можна візуалізувати у середовищі ГІС.



Рисунок 1.5 – Вікно Toolbox Editor

Для роботи були завантажені дані бази даних ERA5 служби Copernicus про опади та температуру з 1971 по 2021 рік, представлені у растровому форматі (netCDF), з географічною прив'язкою WGS84. Дані наочно показують динаміку зміни цих показників і скомпоновані на основі інтерполяції.

2 ОПИС ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ ІНСТРУМЕНТІВ ГЕООБРОБКИ 2.1 Обґрунтування вибору ГІС-пакету 2.1.1 Програмний комплекс ArcGIS Desktop

Серед універсальних векторних ГІС особливе місце займає лінійка ГІС компанії ESRI (США).

Платформа ArcGIS 10 є оптимальним рішенням для побудови корпоративної ГІС. Вона побудована на основі стандартів комп'ютерної галузі, включаючи об'єктну архітектуру СОМ, .NET, Java, XML, SOAP, що забезпечує підтримку загальноприйнятих стандартів, гнучкість пропонуємих рішень, широкі можливості взаємодії. Фундаментальна архітектура ArcGIS забезпечує її використання у багатьох прикладних сферах і на різних рівнях організації роботи користувачів ГІС.

ArcGIS є інтегрованим набором програмних продуктів ГІС для розробки повнофункціональної ГІС. ArcGIS дозволяє користувачам розгортати функціональність ГІС в тому місці де вона потрібна в настільному варіанті, серверному або у вигляді спеціально створеного додатки; для Web або для роботи в польових умовах (рис.2.1).

Настільна ГІС є основною платформою для ГІС професіоналів, які об'єднують, створюють і використовують географічну інформацію і знання.

Серверна ГІС дозволяє програмному забезпеченню ГІС бути централізованим на серверах додатках, надаючи ГІС можливості великому числу користувачів через мережі.

Мобільна ГІС дозволяє польовому персоналу компанії збирати, зберігати, оновлювати, обробляти, аналізувати та відображати географічну інформацію. [11].

ArcGIS for Desktop – настільна ГІС, сімейство програм з єдиним інтерфейсом і загальними принципами роботи, але таких, що розрізняються за доступною функціональністю.



Рисунок 2.1 – Структура взаємодії основних програмних продуктів фірми ESRI

У ArcGIS for Desktop є чотири основні застосунки, які можна використовувати для картографування і візуалізації [12]:

1) ArcMap – основний застосунок геоінформаційної системи ArcGIS для картографування, редагування, аналізу даних і управління ними. Він використовується для роботи з двовимірними об'єктами.

2) ArcGlobe – застосунок для візуалізації геоданих в тривимірному вигляді, призначений для роботи з великими наборами даних, які повинні відображатися з різним рівнем деталізації. ArcGlobe є опціональною частиною додаткового модуля ArcGIS 3D Analyst.

 ArcScene – додаток для тривимірної візуалізації сцен і ділянок з можливістю навігації. ArcScene є частиною додаткового модуля ArcGIS 3D Analyst.

4) ArcCatalog – каталог, який використовується для організації та управління різними типами географічної інформації: базами геоданих, файлами растрів, документами карт, глобусами, 3D-сценами, наборами інструментів геообробки, моделями, скриптами Python, ГІС-сервісами, метаданими тощо. Інформація представляється у вигляді дерева і дозволяє вибрати ГІС-елемент, переглянути його властивості та отримати доступ до інструментів.

Середовище ArcGIS містить багатий набір вбудованих засобів програмування. Починаючи з випуску ArcInfo 8.1, розробники ΓІС використовують COM-технологію розробки ArcObjects SDK for .NET для таких модулів ArcGIS, як ArcMap, ArcCatalog i ArcScene. ArcObjects є бібліотекою СОМ-компонентів, написаних на мові програмування C++. ArcGIS повністю побудована на Оскільки ArcObjects, то можна використовувати СОМ, щоб повністю налаштувати і розширити платформу ArcGIS-meaning. Розширення моделі даних ArcObjects можна зробити практично на усіх COM і .NET сумісних мовах програмування (Visual Basic, C #, Visual Basic.NET, Java i Python).

Починаючі з версії 9.0 у ArcGIS з'явився Python [13], який зараз є основною мовою програмування для написання скриптів геообробки в ArcGIS і область його застосування продовжує розширюватися. Функціональність геообробки доступна при використанні бібліотеки ArcPy, яка забезпечує доступ до додаткових функцій, класів і модулів, що дозволяють швидко створювати як прості, так і складні робочі процеси.

2.1.2 Пакет ГІС MapInfo Professional

Універсальна ГІС MapInfo Professional розроблена компанією MapInfo Corp. (США) і орієнтована на широке коло користувачів. Система має великий набір функцій для роботи з не топологічними просторовими даними [14].

Для збереження даних можна використовувати СУБД ORACLE і MS SQL Server. ГІС MapInfo Professional має розвинуті засоби візуалізації і редагування картографічних даних (рис. 2.2), засоби тематичного картування (діапазони, діаграми, розмірні символи, щільність точок, індивідуальні значення).



Рисунок 2.2 – Засоби візуалізації у ГІС MapInfo Professional

Для роботи з растровими зображеннями в системі передбачено два режима: з реєстрацією і без неї. Перший використовується для сумісництва координатно-прив'язаних растрів з векторними даними, а другий – тільки для їх перегляду.

МарІпfo Professional підтримує велику кількість графічних форматів, у тому числі тих, що використовуються для збереження даних ДЗЗ. У системі є розвинуті засоби ділової графіки, що дозволяють формувати різні графіки (лінійні, стовбчасті, кругові, площадні, тривимірні). Всі графіки будуються за даними, що зберегаються у таблицях. Всі сформовані в ГІС данні (картографічні, табличні, ділова графіка і ін.) можуть бути виведені на друк. Для цього в системі є механізм створення макету друку.

Для розширення можливостей цієї системи використовується спеціальна мова програмування MapBasic. За допомогою цієї мови можна модифікувати інтерфейс користувача, додавати до ГІС нові функції, керувати картами. У мові також є можливість підключення динамічних бібліотек (DLL). Компанія також пропанує додаткові модулі, що призначені для вирішення різних прикладних завдань [14].

2.1.3 Пакет QGIS і інші відкриті настільні ГІС

Визначення відкритого програмного забезпечення розроблено організацією Open Source Initiative і використовується для визначення відповідності ліцензії на програмне забезпечення стандартам відкритого ПЗ. Основні особливості відкритого ПЗ згідно з визначенням включають вільне поширення, доступний вихідний код, дозвіл на модифікацію цього вихідного коду [15].

Перелік FreeGIS.org на даний момент налічує приблизно 350 відкритих програмних пакетів ГІС різного типу. Відкриті ГІС створюються і підтримуються різними спільнотами та організаціями: комерційними компаніями, групами ентузіастів або дослідницькими організаціями. Найбільші проекти залучають досить велику кількість розробників і вкладення в розробку досить серйозні (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Характеристики програмної бази та оцінки витрат деяких відкритих ГІС

Проект	Рядків коду,	Розробників,	Витрати,	Оцінка
	тис. (приріст)	чол.	чол./рік	витрат, тис.
				\$USD
GRASS GIS	737 (42%)	62	200	11000
gvSIG	2162 (20%)	62	609	33495
Quantum GIS	440 (227%)	40	114	6270
GDAL	1035 (67%)	29	337	18535

Справжній бум розвитку відкритих ГІС і пов'язане з ним поява нових користувальницьких систем припадає на початок XXI століття. У цей період почалася розробка таких користувальницьких ГІС, як SAGA GIS (2001) в Німеччині, gvSIG (2003) в Іспанії, міжнародний проект Quantum GIS (2002). У 2007 пропріетарний раніше пакет, призначений для ГІС-аналізу та завдань

дистанційного зондування ILWIS (Integrated Land and Water Information System) офіційно став доступний під ліцензією GNU GPL, тим самим перейшовши до лав відкритого програмного забезпечення [15].

У 2006 році з метою підтримки і сприяння розробці проектів відкритих геопросторових технологій і баз даних з'явилася некомерційна організація Open Source Geospatial Foundation (скорочено OSGeo, www.osgeo.org). Крім підтримки відкритих проектів, під егідою OSGeo випускається журнал, ведеться розробка і поширення навчальних матеріалів, проводяться щорічні міжнародні конференції (FOSS4G), присвячені відкритому ПЗ ГІС.

Ще одна організація, яка відіграє важливу роль у розвитку відкритих ГІС – Open Geospatial Consortium (OGC, www.opengeospatial.org). Вона відповідальна за розробку стандартів взаємодії та обміну даними між різними ГІС-платформами. Крім університетів і адміністративних органів, членами ОGC є в тому числі і розробники комерційних ГІС-платформ і баз даних. Наприклад стандарт, що описує інтерфейс доступу до географічних даних, що зберігаються в БД був реалізований як у відкритих базах даних (наприклад, PostgreSQL + PostGIS), так і в комерційних, таких як Oracle і IBM DB2.

Існуюче ПО ГІС можна умовно поділити на 3 класа: це веб ГІС, настільні ГІС і просторові бази даних. У табл. 2.2 представлені типові стеки відкритого ПЗ для настільних ГІС.

Розробка QGIS почалася в 2002 році групою ентузіастів. Метою розробки було створення простого у використанні і швидкого переглядача географічних даних для операційних систем сімейства Linux. Однак, із зростанням проекту з'явилася ідея використовувати QGIS як простий графічний інтерфейс для GRASS, отримуючи таким чином в своє розпорядження його аналітичні та інші функції. На сьогоднішній момент група розробників QGIS вирішила початкові завдання і працює над розширенням функціональних можливостей, давно вийшли за рамки простого переглядача.

Тип ПЗ	Представники	Група	
Лолатки	QGIS, GRASS, OSSIM,		
	uDig, MapWindow GIS	Користувальницький	
Середовище розробки	Eclipse, QT, OpenGL,	інтерфейс	
середовлще розрооки	SharpDevelop		
	GeoTools, PostGIS,		
Високорівневі утілити	MapWindow GIS	Збереження даних	
	ActiveX		
Високорівневі скриптові	Python Perl R	Обробка даних	
мови програмування			
Низькорівневі утілити	Shapelib, JTS/GEOS,	oopooka damix	
	GDAL/OGR, GMT		
Низькорівневі мови	C, C++, Java, Fortran, C#,	Системне ПЗ	
програмування	VB.NET		
Операійна система	Linux, Microsoft		
	Windows		

Таблиця 2.2 – Інструментальні шари відкритих настільних ГІС платформ

За рахунок використання крос-платформного тулкіта QT, QGIS доступна для більшості сучасних платформ (Windows, Mac OS X, Linux) і поєднує в собі підтримку векторних і растрових даних, а також здатна працювати з даними, що надаються різними картографічними веб-серверами і багатьма поширеними просторовими базами даних. Функціональність QGIS може бути розвинена за допомогою створення модулів розширення на C++, або Python.

QGIS має одне з найбільш розвинених співтовариств в середовищі відкритих ГІС, при цьому кількість розробників постійно збільшується, чому сприяє наявність хорошої документації по процесу розробки і зручна архітектура.

2.2 Засоби створення інструментів геообробки даних

Геообробка – це обробка географічної інформації, одна з основних функцій географічної інформаційної системи. Вона дає можливість створення нової інформації шляхом виконання операцій над існуючими даними. Будь-яка зміна або вилучення інформації при роботі з даними, є рішенням завдань геообробки. Це може бути, наприклад, завдання конвертації географічних даних в інший формат, або завдання, яке може полягати в послідовному виконанні декількох операцій, таких як вирізання, вибірка і подальший перетин наборів даних.

В ArcGIS є можливість виконувати завдання геообробки декількома способами, а саме [16]:

- запустити інструмент, скориставшись його діалоговим вікном;

- запустити інструменти з командного рядка;

– побудувати модель, послідовно використовуючи ряд інструментів геообробки, і запустити її;

– створити і запустити скрипт, який ініціює операції інструментів геообробки.

Кожен із системних інструментів, який встановлюється разом з ArcGIS, призначений для виконання однієї операції з географічними даними. Як правило, ці інструменти слід запускати послідовно, тобто результати роботи одного інструменту є вхідними даними для іншого інструмента. Перетворивши спеціалізовані моделі і скрипти у власні інструменти, з'являється можливість використовувати їх поряд з іншими системними інструментами при створенні послідовності завдань. Можна створити власну бібліотеку інструментів, яка будить вирішувати важливі для всього ГІС проекту індивідуальні завдання.

2.2.1 Створення інструментів за допомогою ModelBuilder

Конструктор моделей ArcGIS (Model Builder) – потужний засіб, що дозволяє, за допомогою побудови відповідних моделей більш ефективно управляти процесами обробки даних в ArcGIS. Елементом моделі може бути один з інструментів з ArcToolbox, скрипт на мові Python, VBScript та ін.

Модель в ModelBuilder – це відображення опису робочих процесів, які з'єднані один з одним, в послідовності інструментів геообробки, подаючи вихід одного інструменту в інший інструмент в якості входу. ModelBuilder можна також розглядати як візуальну мову програмування для побудови робочих потоків.

Основні переваги ModelBuilder [17]:

 ModelBuilder – це зручний в роботі додаток для створення і запуску робочих потоків, що містять послідовність інструментів;

– за допомогою ModelBuilder можна створювати власні інструменти. Інструменти, створені за допомогою ModelBuilder, можуть використовуватися в засобах підтримки скриптів Python і в інших моделях;

 ModelBuilder, поряд із засобами підтримки скриптів, надає можливість інтеграції ArcGIS з іншими додатками.

Вікно ModelBuilder складається з вікна відображення, в якому будується блок-схема моделі, головного меню і панелі інструментів, яку можна використовувати для роботи з елементами у блок-схемі моделі (рис. 2.3).

ModelBuilder має три набори параметрів, що використовуються в моделі:

1) Властивості моделі – ці властивості, які дозволяють задавати назву моделі, напис, опис, відносний шлях, властивості параметрів, змінні середовища моделі, довідку і кількість проходів.

2) Властивості діаграми – це властивості, що дозволяють змінювати розташування елементів на діаграмі, а також її колір і стиль.

3) Властивості відображення – це властивості, що дозволяють змінювати зовнішній вигляд і інші графічні властивості окремих елементів.



Рисунок 2.3 – Вигляд вікна ModelBuilder

Процес моделі складається з інструментів і всіх змінних, з'єднаних з ним (рис. 2.3). З'єднувачі показують послідовність виконання. У моделі часто буває кілька процесів, і вони можуть виконуватися по ланцюжку, так що вихідні дані одного процесу стають вхідними даними іншого. Кожен процес в моделі знаходиться в одному з чотирьох станів: «Не готовий до виконання (Not ready-to-run)», «Готовий до виконання (Ready-to-run)», «Виконується (Running)» або «Було виконано (Has-been-run)».

Моделі можна запускати з ModelBuilder або з діалогового вікна інструменту моделі, вікна Python, або в автономному скрипті. При запуску процесів з ModelBuilder їх виконання можна відстежувати в діалоговому вікні ходу геообробки.

ModelBuilder дозволяє створювати прості або складні моделі за допомогою ряду методів, які дозволяють ефективно управляти логічною

послідовністю виконання моделі, її даними, а також швидше здійснювати завдання, що повторюються. В групі інструментів Ітератори (Iterator) ModelBuilder містить дванадцять ітераторів, які повторюють процес або набір процесів для наборів вхідних значень (табл.2.3).

Опис Ітератор For Виконує ітерації з початкового ДО кінцевого значення даної змінної. Він працює так само, як і оператор For в будь-якій мові програмування, виконуючи ітерацію задану кількість разів. While Виконується, поки умова є істиною. Iterate Feature Selection об'єктами Виконує ітерації над в класі просторових об'єктів. Iterate Row Selection Виконує ітерації для рядків в таблиці. Iterate Field Values Виконує ітерації для кожного значення в поле. Iterate Multivalue Виконує ітерації для списку значень **Iterate Datasets** Виконує ітерації для кожного набору даних в Робочій області (Workspace) або в Наборі класів об'єктів (Feature Dataset). Iterate Feature Classes Виконує ітерації для класів просторових об'єктів в робочій області або в наборі класів об'єктів. **Iterate Files** Виконує ітерації над файлами в папці. Iterate Rasters Виконує ітерації для растрів в Робочій області (Workspace) або в Каталозі растрів (Raster Catalog). Iterate Tables Виконує ітерації для таблиць в робочій області. Iterate Workspaces Виконує ітерації з робочими областями в папці.

Таблиця 2.3 – Опис групи інструментів Ітератори (Iterator)

Існує сім інструментів геообробки, які підтримують додаткові функції в ModelBuilder (табл.2.4). Ці інструменти можна використовувати в діалогових вікнах і скриптах.

Таблиця 2.4 – Опис інструментів тільки моделей (Model Only)

Інструменти	Опис		
Calculate Value	Інструмент видає результуюче значення на основі		
	зазначеного виразу Python		
Collect Values	Інструмент розроблений для того, щоб збирати вихідні		
	дані ітератора або конвертувати список декількох значень		
	в один набір вихідних даних. Вихідні дані Collect Values		
	можна використовувати як вхідні дані для таких		
	інструментів як Злиття, Додати і Мозаїка		
Get Field Value	Інструмент отримує значення першого рядка заданого поля		
	з таблиці		
Merge Branch	Інструмент об'єднує два або більше логічних гілок в один		
	вихід		
Parse Path	Інструмент отримує з набору вхідних даних його файл,		
	шлях, тільки ім'я файлу і тільки розширення. Вихідні дані		
	можуть використовуватися як вбудовані змінні в імені		
	вихідних даних інших інструментів.		
Select Data	Інструмент вибирає дані в батьківському елементі даних,		
	наприклад, папці, базі геоданих, наборі класів об'єктів або		
	покритті.		
Stop	Виводить модель з циклу ітерації, якщо вхідний значення		
	встановлено в True або False. Він функціонально схожий		
	на ітератор While, але корисний для зупинки моделі в тому		
	випадку, якщо в моделі є один ітератор While і не можна		
	додати додаткові ітератори.		

Інструменти моделі повністю інтегровані в середовище геообробки і працювати з ними можна так само, як з системними інструментами або інструментами скриптів. Як і всі інші інструменти геообробки, інструменти моделей можна запускати з діалогового вікна, через скрипти Python, а також додавати і запускати їх в іншої моделі. Скрипти Python і зовнішні програми, що запускаються за допомогою скрипта, можна інтегрувати в модель так само, як і системні інструменти, що додаються і запускаються в моделі [17].

2.2.2 Створення інструментів геообробки за допомогою Python

Мова Python є незалежною, міжплатформною, відкритою мовою програмування, швидкою, потужною і легкою в освоєнні. Вона широко використовується і підтримується [18].

Python з'явився в ArcGIS версії 9.0. З тих пір він використовувався в якості однієї з мов для написання скриптів, що містять процеси геообработки; область його застосування продовжує розширюватися. Кожен випуск розширював можливості Python і робив його використання все більш зручним.

ESRI остаточно впровадив Python в ArcGIS та розглядає цю мову в якості основного засобу, який задовольняє всі потреби користувачів. Перелічимо деякі переваги Python:

– легкий у вивченні, він ідеально підходить для початківців,
 залишаючись при цьому відмінним засобом для досвідчених користувачів;

відмінно масштабований, він підходить як для великих проектів, так
 і для маленьких одноразових програм, відомих як скрипти;

- портативність і міжплатформність;

- вбудованість (написання скриптів в ArcGIS);

- стабільна і впевнена робота;

- велике співтовариство користувачів.

Python поширюється на всю систему ArcGIS, перетворюючись в мову аналізу, перетворення даних, автоматизації картографічних процесів, і дозволяє збільшити продуктивність цих робіт.

Нижче наведені основні терміни, пов'язані з геообробкою за допомогою Python [19]:

– ArcPy – бібліотека ArcPy забезпечує доступ з Python до всіх інструментів геообробки, включаючи додаткові модулі, а також пропонує велику кількість корисних функцій і класів для роботи з даними ГІС. Використовуючи Python і ArcPy, можна розробляти велику кількість зручних програм для роботи з географічними даними.

– Модулі ArcPy – являє собою файл Python, що містить функції і класи. ArcPy підтримується різними модулями, включаючи модуль доступу до даних (arcpy.da), модуль картографії (arcpy.mapping), додатковий модуль ArcGIS Spatial Analyst (arcpy.sa) і додатковий модуль ArcGIS Network Analyst (arcpy.na).

– Класи ArcPy – класи можна використовувати для створення об'єктів, що їх називають екземплярами. Такі класи ArcPy як SpatialReference і Extent часто використовуються як ярлики для завдання параметрів для інструментів геообробки, які інакше довелося б ставити у вигляді складних рядків.

– Функції АгсРу – частина програми, що виконує певне завдання. Функція може включатися в більш велику програму. У АгсРу всі функції геообробки представлені у вигляді функцій, проте не всі функції є інструментами геообробки. Крім інструментів в АгсРу є кілька функцій для поліпшення робочих процесів геообробки з використанням Python. Функції (часто звані методами) можуть використовуватися для створення списків певних наборів даних, вилучення властивостей набору даних, перевірки імені таблиці перед її додаванням в базу геоданих, а також для виконання багатьох інших корисних завдань геообробки. – Автономний скрипт Python – це виконуваний файл з розширенням .py, який можна запустити з командного рядка, з інтегрованої середовища розробки Python (IDE) або двічі клацнувши файл .py в провіднику Windows.

– Інструмент-скрипт Python – це скрипт Python, який доданий в набір інструментів геообробки. Після додавання в якості інструменту-скрипта, він починає вести себе як будь-який інший інструмент геообробки – його можна відкрити і запустити з діалогового вікна, використовувати у вікні Python або ModelBuilder, а також викликати з інших скриптів та інструментів-скриптів.

– Вікно Python. За допомогою вікна Python можна легко і швидко скористатися Python безпосередньо з ArcGIS для інтерактивного запуску інструментів геообробки і функцій, а також скористатися перевагами, які дає використання модулів і бібліотек Python. Це вікно також дозволяє користувачам вивчати Python. Вікно Python може використовуватися для виконання окремих рядків коду на Python з висновком повідомлень про результат в цьому ж вікні. Це корисно для експериментів з синтаксисом і роботи з кодом невеликої довжини, а також дає можливість тестування завдань поза скрипта.

– Надбудова Python (add-in) – призначена користувача для функціональність, яка була реалізована на мові Python, наприклад, набір інструментів на панелі інструментів, включених в додаток ArcGIS for Desktop, призначена для забезпечення додаткових функціональних можливостей із супроводу призначених для користувача завдань. Для ясності процесу розробки надбудов Python слід завантажити і використовувати майстер надбудов Python для оголошення типу настройки. Майстер згенерує всі необхідні для роботи надбудови файли.

– Набори інструментів Python – набори інструментів геообробки, створені повністю в Python. Набір інструментів Python і інструменти, що містяться в ньому, виглядають і діють так само, як інструменти та набори інструментів, створені будь-яким іншим способом. Набір інструментів Python (.pyt) являє собою файл ASCII, що визначає набір інструментів і один або кілька інструментів.

ArcPy – це пакет, який заснований на успішному модулі arcgisscripting. Його метою є створення основи для успішного і продуктивного виконання аналізу географічних даних, конвертації даних, управління даними і автоматизації карти в Python.

Додатки та скрипти ArcGIS написані з використанням ArcPy дозволяють отримати доступ до численних модулів Python, розроблених користувачами ГІС і програмістами, що працюють в різних галузях. Ще одна перевага використання ArcPy в середовищі Python полягає в тому, що Python є універсальною мовою програмування, яка дозволяє працювати в режимі інтерпретації, що дає можливість швидко моделювати і перевіряти скрипти в інтерактивному середовищі, а також підтримує можливість написання великих додатків.

З технічної точки зору інструменти геообробки представляють собою функції, які можна викликати з агсру, як і будь-яку іншу "рідну" функцію цього модуля. Проте, щоб уникнути плутанини між інструментами і відмінними від них функціями, такими як утиліта ListFeatureClasses(), існують чіткі відмінності:

 – інструменти документуються інакше, ніж функції. У кожного інструменту є довідкова сторінка в довідковій системі ArcGIS Desktop.
 Функції документуються в документації ArcPy;

- інструменти на відміну від функцій повертають об'єкт result;

 інструменти створюють повідомлення, до яких можна звертатися за допомогою багатьох функцій, таких як GetMessages(). Функції не створюють повідомлень;

– інструменти ліцензуються на рівні продукту (ArcGIS for Desktop Basic, Standard або Advanced) або на рівні додаткових модулів ArcGIS Network Analyst, ArcGIS Spatial Analyst та ін. Функції не потребують ліцензування, вони встановлюються разом з ArcPy.

У наступному прикладі використовуються інструменти з наборів Data Management і Conversion. До вхідного класу об'єктів, який містить список вулиць, додається поле, потім воно обчислюється, а клас об'єктів завантажується в базу геоданих ArcSDE.

>>> import arcpy

>>> Arcpy.AddField_management ("c:/data/Odesska.mdb/
streets", "LENGTH_MILES", "TEXT")

>>> Arcpy.CalculateField_management ("c:/data/Odesska.mdb/
streets", "LENGTH_MILES", "!shape.length@miles!", "PYTHON_9.3")

>>> Arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversion ("c:/data/ Odesska.mdb/streets", "Database Connections /MySDE.sde/ OdesskaDataset", "streets")

При виконанні інструменту геообробки результат його роботи повертається у вигляді об'єкта result. Зазвичай це шлях до вихідного набору даних, який був створений або оновлений за допомогою інструменту. В інших випадках це можуть бути інші типи значень, такі як число або логічне значення. Якщо вихідні дані є багатозначним параметром, значення можуть бути повернуті як список в списку.

У наступних прикладах коду показано, як захоплюються повернуті значення і якими вони можуть бути.

Повертається шлях вихідного класу просторових об'єктів. Результат можна використовувати як вхідні дані для іншої функції.

>>> Result = arcpy.Buffer_analysis ("rivers", "riverBuf",
"50 METERS")

>>> Print result

C:\data\Odesska.mdb\riverBuf

>>> Arcpy.Clip_analysis("streets", result, "streets_50m") Повертається кількість просторових об'єктів.

>>> Result = arcpy.GetCount_management("streets_50m")
>>> Print result.getOutput (0)
54

Повертається список індексів просторової сітки за замовчуванням для класу просторових об'єктів.
```
>>> Result = arcpy.CalculateDefaultGridIndex_management(
"streets_50m")
>>> For i in range (0, result.outputCount):
... Print result.getOutput (i)
...
560
200
0
```

Параметри середовища геообробки можна розглядати як додаткові параметри, які впливають на результат роботи інструменту. Вони відрізняються від звичайних параметрів інструментів тим, що вони задаються окремо від інструменту і використовуються інструментом під час його роботи. Такі параметри середовища, як область інтересу, система координат вихідного набору даних і розмір комірки нового набору растрових даних, можна задати заздалегідь, потім вони будуть використані під час роботи інструменту.

Параметри середовища доступні у вигляді властивостей класу env. Ці властивості можна використовувати для отримання поточних значень параметрів середовища і для їх завдання. Нижче наведені приклади використання значень параметрів середовища.

Задаються параметри середовища робочої області.

```
>>> Arcpy.env.workspace = "c:/data/Odesska.mdb"
```

```
>>> Arcpy.Buffer_analysis( "streets", "streetBuf", "500
METERS")
```

Задається індекс просторової сітки для значення, що повертається інструментом.

>>> Arcpy.env.spatialGrid1 =
arcpy.CalculateDefaultSpatialGridIndex_management("streets").
GetOutput (0)

Повертаються поточні настройки розміру комірки растра і перевіряється, чи використовується це значення в якості вихідного.

if arcpy.env.cellSize! = 30: arcpy.env.cellSize = 30 Крім інструментів ArcPy містить велику кількість функцій для поліпшення підтримки процесу геообработки. Функції можна використовувати для створення списків певних наборів даних, отримання властивостей наборів даних, перевірки наявності даних, перевірки імен таблиць перед додаванням їх в базу геоданих або для виконання безлічі інших завдань, що вирішуються за допомогою скриптів.

У наступному прикладі коду показано отримання властивостей даних і перевірка додаткового модуля.

```
import arcpy
# Prints True
print arcpy.Exists("c: /data/Odesska.mdb/streets")
# Prints NAD_1983_StatePlane_Oregon_North_FIPS_3601_Feet
sr = arcpy.Describe("c: /data/Odesska.mdb/streets").
spatialReference
print sr.name
# Prints Available
print arcpy.CheckExtension ( "spatial")
arcpy.CheckOutExtension ( "spatial")
```

3 РОЗРОБКА ГІС-ПРОЄКТУ ТА ІНСТРУМЕНТІВ ГЕООБРОБКИ ДАНИХ

Необхідно створити інструменти гідрологічної геообробки даних: побудови річної мережі та басейнів річок для вхідного растру ЦМР, які дозволять користувачам без навичок роботи з вбудованими засобами ArcGIS, виконувати дії геообробки даних.

В якості вхідних даних для просторового моделювання будемо використовувати файли DEM – цифрові моделі рельєфу формату STRM.

Розглянемо докладніше основні етапи розробки інструментів геообробки.

Спочатку необхідно створити свій власний набір інструментів в ArcToolbox, який може зберігатися або в окремій папці на диску, або у базі геоданих (БГД). В цьому наборі інструментів і будуть зберігатися моделі нових інструментів і звідти вони будуть доступні для запуску користувачеві.

Для створення набору інструментів в окремій папці в панелі Catalog визиваємо контекстне меню на назві поточної папки, в якій зберігається ГІС проект, і обираємо New – Toolbox (рис.3.1). А далі, таким же чином, в Toolbox створюємо набор інструментів Toolset, в якому розміщуємо нові моделі Model (рис.3.2).

При створені нової моделі слід також вказати які шляхи (абсолютні чи відносні) будуть в ній використовуватися. Якщо інструмент пропонується для використання на різних комп'ютерах, то бажано вказати відносні шляхи. Тому перше ніж розробляти модель у вікні ModelBuilder треба відкрити вкладку властивостей моделі, у якій вказуємо назву моделі і галочку використання відносних шляхів.

Інструменти групи Гідрологія (Hydrology) бібліотеки просторового моделювання пакету ArcGIS використовуються для моделювання потоку води по поверхні. Інформація про форму земної поверхні може використовуватися в різних галузях, наприклад в регіональному управлінні

водним господарством. Тому має важливе значення розуміння принципів руху води по поверхні, а також впливу змін в даній області на напрямок потоку.



Рисунок 3.1 – Створення набору інструментів проекту



Рисунок 3.2 – Провідник набору власних інструментів геообробки

3.1 Розробка моделі обробки геоданих для формування басейнів річок та побудови дренажної системи

Площа, по якій тече вода, і мережа, якою вона виливається назовні, називається дренажної системою. Потік води через дренажну систему – це тільки піднабір того, що зазвичай називають кругообіг води, який також включає опади, випаровування та ґрунтові води.

Дренажний басейн, під яким у даному випадку розуміється водозбірна область, є територією, з якої здійснюється стік води та інших речовин у загальну точку «виходу». Синонімами для поняття дренажний басейн є терміни «вододіл», «річковий басейн» та «водозбірна область». Ця область, як правило, визначається як загальна площа, з якої здійснюється стік у задану точку зливу або точку гирла.

Точка гирла – це точка, у якій вода випливає із водозбірної області. Це зазвичай найнижча точка вздовж межі дренажного басейну (рис.3.1).



Рисунок 3.1 – Компоненти дренажного басейну

Кордон між двома басейнами сприймається як лінія розмежування стоку чи межа водозбірної області.

Мережу, якою вода переміщається в «точку зливу», можна представити у вигляді дерева, де основа дерева є «точкою зливу». Гілки дерев – канали потоку. Перетин двох каналів потоку називається вузлом або з'єднанням. Фрагменти каналу потоку, що з'єднують два послідовні з'єднання або з'єднання і точку зливу, називаються зв'язками водотоків.

Розглянемо розробку інструменту геообробки для гідрологічного аналізу і моделювання руху води по поверхні. Інструмент дозволить отримати гідрологічну інформацію з цифрової моделі рельєфу (ЦМР).

Цифрова модель рельсфу (ЦМР), яка вільна від локальних знижень – ЦМР без знижень – це потрібні вхідні дані для процесу спрямування потоку. Наявність локальних знижень може призвести до помилкового растру напряму потоку. У деяких випадках у даних можуть бути правильні локальні зниження. Важливо добре розуміти морфологію області, щоб знати, які просторові об'єкти можуть насправді мати локальні зниження поверхні Землі, які просто є помилками у даних.

Інструменти аналізу гідрології розроблені для моделювання конвергенції потоку природною поверхнею Terrain. Існує припущення, що поверхня містить досить вертикальний рельєф визначення шляху потоку. Інструменти працюють на припущенні, що вода може витікати в будь-яку комірку з декількох суміжних, але витікати тільки через одну комірку.

При розмежуванні вододілів або визначення мереж потоків треба виконати ряд кроків. Деякі кроки є обов'язковими, інші – додатковими, залежно від характеристик вхідних даних. Потік поверхнею завжди прямує в напрямку вниз по крутому ухилу. Після того, як визначено напрям потоку з кожної комірки, можна визначити, які і скільки комірок втікають в цю комірку. Ця інформація може використовуватися для визначення меж вододілів та мереж потоків. На рис.3.2 показаний процес отримання гідрологічної інформації, наприклад, межі вододілів і мережі потоків, з цифрової моделі рельєфу.

Модель рельсфу використовується для визначення, які комірки втікають до інших (напрямок потоку). Однак, якщо є помилки в моделі рельсфу, то можуть бути деякі комірки, які знаходяться нижче оточуючих комірок. У цьому випадку вся вода, що переміщається в комірку, не виходитиме з неї. Ці зниження називаються локальні зниження. Інструменти гідрологічного аналізу дозволяють визначати локальні зниження та надає інструменти для їх заповнення. Результатом є модель рельєфу без зниження. Потім можна визначити напрямок потоку на цій моделі рельєфу без знижень.



Рисунок 3.2 – Схема гідрологічного моделювання

Для розмежування вододілів, необхідно визначити точки стоку (місце розташування, для яких треба знати вододіл). Зазвичай цими місцями є гирла струмків або інші гідрологічні точки, що досліджуються, наприклад, контрольно-вимірювальна станція. Використовуючи інструменти гідрологічного аналізу, можна задати точки стоків або використовувати мережу потоків як точки стоків. Будуть створені вододіли кожного сегмента потоку між з'єднаннями потоку. Щоб створити мережу потоків, треба спочатку обчислити накопичення потоку для кожної комірки.

Якщо визначаються мережі стоків, то потрібно знати не тільки напрямок потоку води з комірки в комірку, але також скільки води проходить через комірку, або скільки комірок втікає в іншу комірку. Якщо через комірку проходить достатньо води, вважається, що через цю комірку проходить стік. Інструменти ArcGIS з групи Гідрологія можуть застосовуватися окремо і використовуватися послідовно для побудови мережі водотоків або виділення вододілів. Огляд інструментів цієї групи наведений в табл. 3.1 [12].

Інструмент	Опис	
Басейн (Basin)	Створює растр, що містить контури всіх	
	дренажних басейнів	
Заповнення (Fill)	Заповнює локальні зниження в растрі поверхні для	
	видалення всіх невеликих помилок і неточностей,	
	притаманних даними.	
Сумарний стік	Створює растр потоку накопичення в кожну	
(Flow Accumulation)	клітинку. Можна додатково застосувати фактор	
	ваги.	
Напрямок стоку	Створює растр напрямку стоку з кожної комірки	
(Flow Direction)	по найближчій сусідній комірки вниз по схилу	
	найбільшої крутизни	
Довжина лінії стоку	Обчислює відстань вгору або вниз за течією, або	
(Flow Length)	зважену відстань, уздовж потоку для кожної	
	комірки	
Локальне зниження	Створює растр, що визначає локальні зниження	
(Sink)	або райони внутрішнього дренажу	
Прив'язка точок гирла	Прив'язує точки гирлов до комірки з найбільшим	
(Snap Pour Point)	сумарним стоком у межах заданої відстані	
Ідентифікація	Присвоює унікальні значення секціям растрової	
водотоків	лінійної мережі, розташованим між зчленуваннями	
(Stream Link)	ліній	
Порядок водотоку	Привласнює число, яке визначає порядок,	
(Stream Order)	сегментам растра, що представляють сегменти	
	лінійної мережі	
Водотік в просторовий	Перетворює растр, який представляє лінійну	
οδ'εκτ	мережу в векторні об'єкти, що представляють	
(Stream to Feature)	мережу ліній	
Вододіл (Watershed)	Визначає водозбірну область, розташовану вище	
	набору комірок растра.	

Таблиця 3.1 – Огляд інструментів групи Гідрологія

Інструменти гідрологічного моделювання в наборі інструментів додаткового модуля ArcGIS Spatial Analyst надають методи для опису фізичних компонентів поверхні. Гідрологічні інструменти дозволяють ідентифікувати приймачів, визначати напрямок потоку, обчислювати сумарний стік, розмежовувати вододіли і створювати мережі водотоків.

Заповнення (Fill) Інструмент використовує різні інструменти додаткового модуля Spatial Analyst, включаючи деякі інструменти гідрологічного аналізу, для створення ЦМР без знижень. Для цього інструменту потрібні вхідна поверхня, ліміт заповнення та вихідний растр. Якщо локальне зниження заповнюється, він заповнюється до точки стоку, мінімальної висоти вздовж межі вододілу.

Інструмент «Напрямок стоку» (Flow Direction) використовує поверхню як вхідні дані та видає растр, який показує напрямок стоку кожної комірки. Напрямок стоку визначається напрямком найбільш крутого спуску, або максимального зниження, з кожної комірки:

$$maximum_drop = change_in_z-value/distance*100$$
(3.1)

Відстань обчислюється між центрами комірок. Отже, якщо розмір комірки прийняти за одиницю, відстань між двома ортогональними комірками дорівнює 1, а відстань між діагональними комірками – 1,414 (квадратний корінь із 2).

Якщо максимальне зниження висоти до найближчих комірок однаково у кількох напрямах, область сусідства розширюється до того часу, доки не буде знайдено найкрутіший спуск. Якщо знайдено напрямок найкрутішого зниження, вихідний комірці дається значення, що представляє цей напрямок.

Інструмент «Сумарний стік» (Flow Accumulation) обчислює сумарний стік як зважену суму всіх комірок, стік з яких потрапляє в кожну комірку вниз схилом вихідного растру. Якщо не надано растра ваг, то кожній комірці

призначається вага 1, а значенням комірок вихідного растру є кількість комірок, що впадають у кожну комірку (рис.3.3).



Рисунок 3.3 – Етапи гідрологічного аналізу: а – напрямок стоку; б – сумарний стік; в – коди напрямків

На діаграмі рис.3.3, а зображується напрямок переміщення з кожної комірки, а рис.3.3, б – кількість комірок, що впадають у кожну комірку.

Перед початком роботи були зіставлені шари річок із цифровою моделлю рельєфу.

Діаграма автоматизованої побудови басейну річок в ArcGIS наведена на рис.3.4. Вхідними даними моделювання є ЦМР області, що досліджується.

Діаграма складається з наступних етапів:

1) Інструмент Напрямок стоку (Flow Direction) визначає напрямок, в якому вода витікає з кожної комірки.

2) Інструмент Локальне зниження (Sink) визначає локальні зниження у вихідній ЦМР.

3) Інструмент Заповнення локальних знижень (Fill) заповнює знайдені локальні зниження.

4) Інструмент Сумарний стік (Flow Accumulation) будує систему водотоків для обчислення кількості комірок вгору схилом, що впадають у місцезнаходження. Вихідний растр напряму потоку, створений у попередньому кроці, використовується як вхідні дані.

5) Задається поріг. Це завдання можна виконати за допомогою інструмента Умова (Con) або Алгебра карт (Map Algebra). Наприклад, newraster = con(accum > 100, 1). Усі комірки, у яких виконується стік із понад 100 комірок, будуть частиною мережі водотоків.

6) Інструмент Порядок водотоків (Stream Order) відображує порядок кожного сегмента в мережі. Для упорядкування водотоків застосовуються дві технології, Шреве та Страхлера.

7) Інструмент Довжина лінії стоку (Flow Length) визначає довжину шляху потоку вниз або вгору за течією кожної комірки в межах даного вододілу. Це корисно для обчислення часу переміщення води через вододіл.

8) Іструмент Вододіл (Watershed) окреслює вододіли для заданих положень.





Розробимо модель для інструменту, який буде для довільно заданого растру ЦМР створювати мережу водотоків і вододілів. Вигляд цієї моделі наведений на рис. 3.5. Модель послідовно зв'язує всі інструменти гідрологічного аналізу, які були зазначені вище і має лише один вхідний параметр – довільний растр ЦМР.



Рисунок 3.5 – Модель інструменту River System

Інструмент носить назву River System і був протестований на ЦМР України (рис.Б.1). Спочатку були визначені басейни річок України (рис.Б.2), а далі визначено басейн р. Південний Буг. Нижче наведені результати розрахунку річкової системи цього басейну.

На рис.3.6, а представлена ЦМР басейну р.Південний Буг після заповнення локальних знижень. Растрова карта напрямку руху води, що була отримана на основі цієї ЦМР представлена на рис.3.6,б.

Після виконання інструменту була отримані векторні шарі річкової мережі та басейнів водотоків району (рис. 3.6, в).



Рисунок 3.6 – Результат виконання скрипта River System: a) – ЦМР басейну р. Південний Буг; б) – растр напрямку руху води; в) – векторний шар річкової мережі та басейнів водотоків басейну р. Південний Буг

Розглянуті моделі були також створені як скрипти на мові програмування Python, лістинг яких приведений у додатку А.

3.2 Обчислення ландшафтних характеристик басейнів річок3.2.1 Обчислення експозиції схилів поверхні

Інструмент «Експозиція» (Aspect) встановлює напрямок ухилу максимальної швидкості зміни значень від кожної комірки до сусідніх. Її можна розглядати як напрямок ухилу. Значення всіх комірок вихідного растра вказують напрям за компасом, з яким стикається поверхня у цьому положенні. Воно вимірюється за годинниковою стрілкою у градусах від 0 (північ) до 360 (знов північ), проходячи повне коло. Плоским областям, що не мають напрямку вниз по схилу, дається значення -1.

Значення кожної комірки в наборі даних експозиції вказує на напрямок уперед ухилу комірки (рис.3.8).



Рисунок 3.8 – Напрямок інструменту «Експозиція»

На рис. 3.9 показаний вхідний набір даних рельєфу та вихідний растр експозиції. Для обчислення експозиції місцевості необхідно використовувати спроектовану систему координат.

Алгоритм інструменту "Експозиція":

Крок 1. Ковзне вікно розміром 3 х 3 комірки проходить через кожну комірку на вхідному растрі, і для кожної комірки, розташованої в центрі вікна, з використанням алгоритму, що враховує значення восьми сусідніх комірок, обчислюється значення експозиції. Комірки позначаються буквами від *а* до *i*, при цьому буквою *e* позначено комірку, для якої обчислюється експозиція.



Рисунок 3.9 – Растр після операції «Експозиція»

Крок 2. Ступінь зміни по напрямку *х* для комірки *е* обчислюється за допомогою наступного виразу:

[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8

Крок 3. Ступінь зміни по напрямку у для комірки е обчислюється за допомогою наступного виразу:

[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8

Крок 4. З урахуванням ступеня змін по обох напрямках, х та у, для комірки е, експозиція обчислюється з використанням наступного рівняння:

aspect = 57.29578 * atan2 ([dz/dy], -[dz/dx]).

Вхідними даними для даного інструменту є ЦМР, обрізаний по масці басейну річки Південний Буг, створеної раніше. Обчислення відбувається через операцію "Експозиція" (розділ модуля Spatial Analyst "Поверхня").

Для зрозумілої візуалізації експозиції в ГІС-проєкті виконаємо класифікацію геоданих. Надамо відповідність певним діапазонам кутів експозиції та напрямам сторін світу. За замовчанням визначено схему класифікації «Експозиції», що наведена у табл.3.2. Результат виконання інструменту наведено на рис.3.10.

Код	Напрямок ухилу	Діапазон кута експозиції
-1	Плоский	Нема ухилу
1	Північ	0° – 22.5°
2	Північний схід	22.5° – 67.5°
3	Схід	67.5° – 112.5°
4	Південний схід	112.5° – 157.5°
5	Південь	157.5° – 202.5°
6	Південний захід	202.5° – 247.5°
7	Захід	247.5° – 292.5°
8	Північний захід	292.5° – 337.5°
9	Північ	337.5° – 360°

Таблиця 3.2 Схема класифікації експозиції





Результатом процедури є растровий шар, де значення пікселя є градус напряму схилу на певну сторону світла (північ, південь і т.д.) у цій точці.

3.2.2 Обчислення ухилу місцевості

Для кожної комірки інструмент «Ухил» обчислює максимальну ступінь зміни у значенні *z* між конкретною коміркою та сусідніми з нею комірками. По суті, максимальний рівень зміни у значеннях висоти на одиницю відстані між коміркою та вісьмома сусідніми з нею комірками визначає найкрутіший спуск вниз схилом з комірки.

Концептуально, інструмент підбирає площину для z-значень з околиці розміром 3x3 комірки навколо оброблюваної або центральної комірки. Значення нахилу цієї площини обчислюється з використанням методики усередненого максимуму. Напрямок плоских граней є експозицією оброблюваної комірки. Чим менше значення ухилу, тим більш плоскою є земна поверхня; чим більше значення ухилу, тим більше круті схили розташовані на поверхні.

Вихідний растр ухилів може бути обчислений у двох різних одиницях вимірювання у градусах або у відсотках («відсоток підйому»). Відсоток підйому можна краще зрозуміти, якщо розглядати його як підйом, поділений на пробіг (спуск), помножений на 100. Коли кут дорівнює 45 градусам, підйом дорівнює пробігу (спуску), а відсоток підйому дорівнює 100 відсоткам. У міру того, як кут нахилу наближається до вертикального (90 градусів), відсоток підйому прагне до нескінченності.

Інструмент «Ухил» найчастіше працює з набором даних висот, як показано на рис.3.11. Більш круті ухили заштриховані червоним на вихідному растрі ухилу.



Рисунок 3.11 – Растр після операції «Ухил»

Алгоритм інструменту «Ухил»:

Крок 1. Ухил визначає ступінь зміни (дельту) поверхні в горизонтальному (dz/dx) та у вертикальному (dz/dy) напрямках із центральної комірки. Базовий алгоритм, що використовується для обчислення ухилу:

$$slope_radians = arctg \sqrt{\left[dz / dx \right]^2 + \left[dz / dy \right]^2}$$
(3.2)

Крок 2. Ухил зазвичай вимірюється в градусах, використовуючи наступний вираз:

$$slope_deg\,rees = arctg\,\sqrt{\left[\frac{dz}{dx}\right]^2 + \left[\frac{dz}{dy}\right]^2} \cdot 57.29578 \tag{3.3}$$

Вихідним шаром для обчислення схилу є мозаїка басейну.

Обчислення відбувається через операцію "Ухил" (розділ модуля Spatial Analyst "Поверхня").

На рис.3.12 представлено ухил поверхні річки Південний Буг.

Далі буде наведено приклади класифікації растрового шару ухил та випадки в яких подібна класифікація дозволяє розглянути різні сценарії прийняття рішень.



Рисунок 3.12 – Ухил схилів басейну річки Південний Буг

Ухил представлений у градусах, за легендою видно, що значення ухилу невеликі, що говорить про плоску поверхню басейну річки Південний Буг.

3.2.3 Обчислення стандартної, профільної та планової кривизни поверхні

Функція "Кривизна" відображає форму або кривизну схилу. Поверхня може бути увігнутою або опуклою. Кривизна розраховується шляхом обчислення другої похідної поверхні.

Вихідні значення функції кривизни використані для опису фізичних характеристик водозбірного басейну, які можуть допомогти в розумінні процесів ерозії та поверхневого стоку. Також воно може використовуватися для пошуку закономірностей в ерозії ґрунтів, а також у розподілі води на території. Профільна кривизна впливає на прискорення або уповільнення потоку, і, отже, впливає на ерозію та депонування опадів. Планова кривизна (кривизна в площині) впливає на конвергенцію та дивергенцію потоку.

Три параметри функції кривизни:

– вхідний растр – растр ЦМР, де у кожному пікселі зберігається значення висоти;

 тип кривизни – описує різні аспекти схилу; є три варіанти типу кривизни: профіль, вид у плані та стандартний;

 - Z-коефіцієнт – підганяє одиниці виміру *z*, якщо вони відрізняються від одиниць виміру *x*, біля вхідної поверхні.

Якщо одиниці виміру x, y та z однакові, то коефіцієнт z повинен дорівнювати 1. Z-значення вхідної поверхні множаться на цей коефіцієнт при обчисленні вихідної поверхні. Наприклад, якщо одиниці вимірювання для zзначень – фути, а координати x, наведені в метрах, для перетворення zзначень з футів на метри треба використовувати коефіцієнт z, що дорівнює 0,3048 (1 фут = 0,3048 метра).

Кривизна профілю – це паралель до ухилу, вона описує кут максимального ухилу. Вона впливає на прискорення та уповільнення потоків на поверхні. Негативне значення (А) означає, що поверхня здебільшого опукла в даній точці, і потік буде сповільнюватися. Позитивне значення (В) говорить про те, що поверхня в цій комірці увігнута, і потік пришвидшуватиметься. Значення 0 вказує на те, що поверхня лінійна (С).

Планова кривизна – це перпендикуляр до напрямку максимального ухилу. Планова кривизна пов'язана з конвергенцією та дивергенцією потоку на поверхні. Позитивне значення кривизни (А) вказує на те, що поверхня в цієї комірці горизонтально-випукла. Від'ємне значення (В) вказує на те, що поверхня в цієї комірці горизонтально-вогнута. Значення 0 вказує на те, що це лінійна поверхня (С).

Стандартна кривизна комбінує планову та профільну кривизну. Профільна кривизна впливає на прискорення або уповільнення потоку, і, отже, впливає на ерозію і депонування опадів. Планова кривизна впливає на конвергенцію та дивергенцію потоку. Врахування обох типів кривизни дозволяє краще зрозуміти поведінку потоків на поверхні.

На рисунках 3.13, 3.14, 3.15 подано типи кривизни поверхні.



Рисунок 3.13 – Профільна кривизна



Рисунок 3.14 - Планова кривизна



Рисунок 3.15 – Стандартна кривизна

Обчислення відбувається через операцію "Кривизна" (розділ модуля Spatial Analyst "Поверхня"). На рисунках 3.16, 3.17, 3.18 представлені стандартна, профільна, планова кривизна поверхні річки Південний Буг відповідно.



Рисунок 3.16 – Стандартна кривизна поверхні річки Південний Буг



Рисунок 3.17 – Профільна кривизна поверхні річки Південний Буг



Рисунок 3.18 – Планова кривизна поверхні річки Південний Буг

Вихідним шаром для обчислення нахилу є мозаїка басейну річки Південний Буг.

3.3 Обчислення кліматичних характеристик у межах басейнів

Для наповнення ГІС-проєкту дані про середньомісячні температури та суму опадів за місяць у форматі архівів завантажувалися з сайту [10].

Для роботи були завантажені дані бази даних ERA5 служби Copernicus про опади та температуру з 1971 по 2021 рік. Для формування запитів до бази даних були використані мова програмування Python та пакет Anaconda. Приклади сформованих запитів до бази даних Copernicus наведені у додатку В.

Розпаковані архіви є растрові дані про температуру та опади з просторовою роздільною здатністю 0,5 градуса. Це глобальне покриття у форматі NetCDF з географічною прив'язкою WGS84.

Файл формату netCDF було відкрито ArcGIS. Важливий момент відзначити, що дані мають координату "час" і за нею змінюються. Дані були експортовані у форматі geotiff. Потім були збудовані:

 просторове підмножина - обмеження полігоном на територію, що містить усі басейни рік;

– підмножина шарів – з 1971 року.

Дані поверхневого стоку рік є як сумарний річний поверхневий стік. Тому потрібно було перерахувати з вихідних даних по температурі середньорічну температуру, а за даними про опади – сумарні опади протягом року.

Отримані шари середньорічної температури з 1971 по 2021 рік та сумарної річної кількості опадів з 1971 по 2021 рік були об'єднані в один файл температури та один файл опадів.

3.4 Класифікація геоданих з використанням апарату нечітких множин

Для аналізу гідрологічних, ландшафтних та кліматичних характеристик в окремих випадках потрібно проводити класифікацію, яка дозволяє відобразити на карті окремі області за певними класами. Наприклад, відмити зони затоплення чи ділянки найбільш небезпечні та схильні до повеней, або виділити ділянки з різним ступенем придатні для побудови гідротехнічних споруд з врахуванням певних ландшафтних характеристик (висоти, ухилу, експозиції та ін.).

Як правило, подібні розрахунки виконуються для подальшого прийняття рішень на основі нечітких меж класифікації альтернатив. Тому для цього пропонується використовувати апарат теорії нечітких множин. Він дозволяє перенести вихідних значення атрибутів карт з необробленої шкали в шкалу [0,1]. Поняття нечітких множин як узагальнення звичайних (чітких) множин було введено Л. Заде [20]. Традиційний спосіб представлення елемента множини A полягає в застосуванні функції належності $\mu_a(x)$, яка дорівнює 1, якщо елемент x належить до множини A, або дорівнює 0 в іншому випадку. В нечітких системах елемент може належати до множини A частково, тобто $\mu_a(x) \subseteq [0,1]$. Конкретне значення функції належності називається ступенем або коефіцієнтом належності. Цей ступінь може бути визначена явно у вигляді функціональної залежності.

Нечітка множина універсальної множини *U* визначається як множина впорядкованих пар:

$$\tilde{V} = \left\{ \left\langle \mu_{v}(a) \, | \, a \right\rangle \right\},\tag{3.4}$$

де – μ_ν(*a*) функція належності, що приймає значення в деякій цілком впорядкованій множині *M*=[0;1].

Якщо M=[0;1], то нечітка підмножина може розглядатися як чітка множина. Функція належності вказує ступінь належності елемента x нечіткій підмножині A. Чим більше $\mu_v(a)$, тим більшою мірою елемент універсальної множини відповідає властивостям нечіткої підмножини.

Таким чином, опис просторової інформації на основі апарату теорії нечітких множин базується на перетворенні значень атрибутів k-го шару у значення ступені належності до нечіткої множини \tilde{V}_k :

$$\tilde{V}_{k} = \left\{ (a, \mu_{v}^{k}(a)) / a \in U \right\}, \ \mu_{v}^{k}(a) : a \to [0, 1],$$
(3.5)

де *а* – значення атрибуту, *U* – безперервна множина значень атрибутів.

Фазифікація шарів критеріїв, тобто перетворення їх значень у нечітку множину, на підставі експертної оцінки нечіткої функції належності,

дозволяє побудувати растр придатності для *k*-го критерію, кожна комірка якого містить значення функції належності $\mu_v^k(a)$ для атрибуту комірки *a*:

$$R_{k}(\tilde{\nu}(a_{i}^{k})) = \left\{ \left(\left(x_{i}^{k}, y_{j}^{k} \right), \mu_{\nu}^{k} \left(a_{ij}^{k} \right) \right) \right\}, i = \overline{I, n}, j = \overline{I, m}, k = \overline{I, t}.$$

$$(3.6)$$

Як правило, функція належності будується за участю експерта (групи експертів), таким чином, що ступінь належності приблизно дорівнює інтенсивності прояву деякого фактору.

Складність практичного застосуванню теорії нечітких множин полягає в тому, що функція належності повинна бути задана поза самої теорії і, отже, її адекватність не може бути перевірена безпосередньо засобами теорії. У кожному в даний час відомому методі побудови функції належності формулює свої вимоги й обґрунтування до вибору саме такої побудови.

В [21] обговорюються прямі і непрямі методи побудови функцій належності для одного і групи експертів в залежності від застосування теорії нечітких множин для рішення конкретних практичних завдань.

На практиці часто застосовуються такі види функцій належності (рис.3.18): лінійні, трикутні і трапецієподібні (лінійно-кускові); нелінійні (функція Гауса, сигмоїдальна функція, сплайн). Іх аналітичні вирази представлені в [22].

На рис. 3.19 наведений приклад класифікації растрового шару, що містить інформацію про ухил. Растр, що враховує ступінь придатності кожної комірки за значенням ухилу, був побудований відповідно до запропонованої функції належності $\mu_a(v)$. Передбачається, що найбільш придатні ділянки повинні мати значення ухилу менше 10%. Чим вище значення ухилу, тим гірше придатність комірки растру.



Рисунок 3.18 – Типи функцій належності, що можуть бути використані для класифікації: а) – трикутна ФН; б) – трапецієподібна ФН; в) – П-образна ФН; г) – Z-образні ФН; д) – S-образні ФН



Рисунок 3.19 – Приклад перекласифікації растрового шару ухил

Таким чином, використання для класифікації шарів критеріїв апарату теорії нечітких множин дозволяє врахувати досвід і судження експертів, а

також отримати більш інформативну карту придатності, за рахунок визначення рангу придатності альтернатив.

3.5 Додавання даних до проекту ArcGIS

Проект містить файл проекту, а також shape-файл водозбірних басейнів, шари ЦМР, таблиці з даними щодо рельєфу, лісистості та клімату, пов'язаних із shape-файлом.

Загальна структуру побудованого ГІС-проєкту наведена на рис.3.20.



Рисунок 3.20 – Структура ГІС-проєкту

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи створено ГІС-проєкт для гідрологічного моделювання та аналізу залежності величини поверхневого стоку від:

 ландшафтних характеристик басейну (висота над рівнем моря, експозиція схилів, ухил, кривизна (стандартна, профільна, планова);

 кліматичних характеристик (середньомісячні температури та опади, середньорічна температура та сума опадів);

– гідрологічних характеристик.

Проведено аналіз сучасних програмних засобів геообробки просторової інформації. Показано, що найбільш зручним засобом для роботи з векторними та растровими даним є створення власних скриптів Python, які можуть виконуватися автономно чи запускатися з середовища геоінформаційної системи.

В роботі було створено власний скрипт для гідрологічної геообробки даних, який дозволяє побудовати розвинену річну мережу та басейни річок для території, що розглядаєтся.

В якості вхідних даних для просторового моделювання були використані файли DEM – цифрові моделі рельєфу формату STRM. Для обробки растрів застосовувалися бібліотеки ArcPy, NumPy, GDAL. Додаткова обробка вихідних даних та карт, отриманих в результаті виконання скриптів, проводилася в пакеті ГІС ESRI ArcGIS 10.7 за допомогою набору функцій пакету Spatial Analyst.

За допомогою скрипта виконані наступні завдання:

 виконано побудову басейнів за даними цифрової моделі рельєфу з використанням функцій ArcGIS;

- побудована мережа водотоків;

 визначено ландшафтні та кліматичні характеристики у межах басейнів; – створено проєкт ArcGIS, що включає всі зібрані дані.

Проєкт включає растрові шари експозиції, ухилу, кривизни. поверхні басейнів, векторний шар басейнів річок, статистичні дані про характеристики та стоку рік у форматі таблиць, пов'язаних через поле id.

На основі даного проєкту можна проводити подальший аналіз впливу зібраних характеристик на поверхневий стік річок України.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- Abbaspour K. C., Rouholahnejad E., Vaghefi S. et al. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a highresolution large-scale SWAT model//Journal of hydrology, Vol. 524, P. 733-752.
- Василиха, І. Ю. Особливості цифрового моделювання складних типів рельєфу. Геодезія, картографія та аерофотознімання. 2007. випуск 68. С. 269–279.
- Хромых, В. В., Хромых О.В. Цифровые модели рельефа: Учебное пособие. Томск : ТМЛ–Пресс, 2007. 164 с.
- Офіційний сайт USGS (Геологічної зйомки США). URL:www.usgs.gov (дата звернення 21.11.2021)
- 5. Сайт USGS. URL:http://edc2.usgs.gov/geodata/ index.php (дата звернення 21.11.2021)
- 6. ГлобальнаЦМР.URL:edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/topo30.html(дата звернення21.11.2021)
- Google Earth. URL:earth.google.com/download-earth.html (дата звернення 21.11.2021)
- 8. Проєкт SRTM. URL:http://srtm.usgs.gov/ (дата звернення 21.11.2021)
- Морфология рельефа / Г.Ф. Уфимцев, Д.А. Тимофеев, Ю.Г. Симонов и др. М.: Научный мир, 2004. 184 с.
- 10. Copernicus Climate Data Store. URL:https://cds.climate.copernicus.eu/ cdsapp#!/home (дата звернення 21.11.2021)
- 11. Офіційний сайт компанії ESRI Inc. URL: www.esri.com (дата звернення 21.11.2021)
- 12. Сайт справочної системи ArcGIS. URL:webhelp.esri.com/arcgisdesktop (дата звернення 21.11.2021)

- Вестра Э. Разработка геоприложений на языке Python/ пер. с англ. А.
 В. Логунова. М: ДМК Пресс, 2017. 446 с.: ил.
- 14. MapInfo Professional 9.0. URL: http://base.dnsgb.com.ua/files/book/ MapInfo-9.0.pdf (дата звернення 21.11.2021)
- 15. Определение Open Source. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Определение Open_Source (дата звернення 21.11.2021)
- Гурьянова Л.В. Аппаратно–программные средства ГИС: компьютерный практикум для студентов часть 2. Полоцк: ПГУ, 2011. 120 с.
- 17. David W. Allen Getting to Know ArcGIS ModelBuilder URL: http://esripress.esri.com/bookresources/modelbuilder.pdf (дата звернення 21.11.2021)
- 18. Офіційний сайт Python. URL: http://www.python.org (дата звернення 21.11.2021)
- Tateosian L. Python for ArcGIS. Springer International Publishing Switzerland, 2015. 544 p.
- 20. Zadeh L.A. (1965) Fuzzy sets. Information and Control, 8(3):338–353.
- Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: Навч. посібник. Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. с 341.
- Алексеев А.В. Интерпретация и определение функций принадлежности нечетких множеств. Методы и системы принятия решений. Рига, 1979. с 42–50.

додатки

ДОДАТОК А

Листинг Python скриптів для гідрологічного аналізу

```
# River System.py
# Created on: 2021-10-21 18:14:42.00000
# Usage: River System <Input_Raster>
# Description:
# Import arcpy module
import arcpy
# Check out any necessary licenses
arcpy.CheckOutExtension("spatial")
# Script arguments
Input_Raster = arcpy.GetParameterAsText(0)
if Input_Raster == '#' or not Input_Raster:
   Input_Raster = "C:\\Data" # provide a default value if
unspecified
# Local variables:
fill__2 = Input_Raster
Direction = fill_2
Accumulation = Direction
Con1 = Accumulation
StreamOrder = Con1
StreamFeature_shp = StreamOrder
Bassin = Direction
BassinPoligon_shp = Bassin
Output_drop_raster = fill__2_
# Process: Fill
arcpy.gp.Fill_sa(Input_Raster, fill__2, "")
# Process: Flow Direction
arcpy.gp.FlowDirection_sa(fill__2, Direction, "NORMAL",
Output_drop_raster)
```

```
# Process: Flow Accumulation
arcpy.gp.FlowAccumulation_sa(Direction, Accumulation, "",
"FLOAT")
# Process: Con
arcpy.gp.Con_sa(Accumulation, Direction, Con1, Direction, "")
# Process: Stream Order
arcpy.gp.StreamOrder_sa(Con1, Direction, StreamOrder,
"STRAHLER")
# Process: Stream to Feature
arcpy.gp.StreamToFeature_sa(StreamOrder, Direction,
StreamFeature_shp, "SIMPLIFY")
# Process: Basin
arcpy.gp.Basin_sa(Direction, Bassin)
# Process: Raster to Polygon
```

```
arcpy.RasterToPolygon_conversion(Bassin, BassinPoligon_shp,
"SIMPLIFY", "VALUE")
```

додаток б

Результати моделювання



Рисунок Б.1 – Цифрова модель рельєфу України



Рисунок Б.2 – Басейни річок України
ДОДАТОК В

Скрипти запитів до кліматичної баз даних Copernicus

```
import cdstoolbox as ct
layout = {
    'input_ncols': 3.
    'input_align': 'top'
}
variables = {
    'Near-Surface Air Temperature': '2m_temperature',
    'Eastward Near-Surface Wind': '10m_u_component_of_wind',
    'Northward Near-Surface Wind': '10m_v_component_of_wind',
    'Sea Level Pressure': 'mean_sea_level_pressure',
    'Sea Surface Temperature': 'sea_surface_temperature',
}
@ct.application(title='Calculate climatologies', layout=layout)
@ct.input.dropdown('var', label='Variable',
values=variables.keys())
@ct.input.dropdown('freq', label='Frequency', default='month',
values=['dayofyear', 'weekofyear', 'month'], link=True,
                   help='Start values will change accordingly.')
@ct.input.dropdown('start', label='Start', when='dayofyear',
default=270, values=range(1, 367))
@ct.input.dropdown('start', label='Start', when='weekofyear',
default=46, values=range(1, 54))
@ct.input.dropdown('start', label='Start', when='month',
default=10, values=range(1, 13))
@ct.output.livefigure()
def compute_climatology(var, freq, start):
        data = ct.catalogue.retrieve(
        'reanalysis-era5-single-levels',
        {
            'variable': variables[var],
            'grid': ['3', '3'],
            'product_type': 'reanalysis',
            'year': [
                '2008', '2009', '2010',
```

```
'2011', '2012', '2013',
                '2014', '2015', '2016',
                '2017'
            ],
            'month': [
                '01', '02', '03', '04', '05', '06',
                '07', '08', '09', '10', '11', '12'
            ],
            'day': [
                '01', '02', '03', '04', '05', '06',
                '07', '08', '09', '10', '11', '12',
                '13', '14', '15', '16', '17', '18',
                '19', '20', '21', '22', '23', '24',
                '25', '26', '27', '28', '29', '30',
                '31'
            ],
            'time': ['00:00', '06:00', '12:00', '18:00'],
        }
    )
    data_location = ct.geo.extract_point(data, lon=-1, lat=51.5)
    clima_mean = ct.climate.climatology_mean(data_location,
frequency=freq)
    clima_std = ct.climate.climatology_std(data_location,
frequency=freq)
    fig = ct.chart.plot_climatology(
        clima_mean, start_from=int(start), error_y=clima_std,
        layout_dict={'title': 'Climatology mean and standard
deviation Starting from %s n. %s' % (freq, int(start))})
    return fig
```

76