МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Факультет геології, географії, рекреації і туризму

Кафедра фізичної географії та картографії

До захисту допустити
Зав. кафедри _____доцент Анатолій БАЙНАЗАРОВ
«____»_____2025 р.

МОРФОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ РЕЛЬЄФУ БАСЕЙНУ Р. САМАРА ЗАСОБАМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Виконав: студент 4-го курсу д.ф.н,
групи ГФ- 41
спеціальність: 106 Географія
освітня програма: Фізична географія, моніторинг і кадастр природних ресурсів
Матвій Андрійович БРУСНІК
Науковий керівник:
ст.викл. Попов В.С.

Кваліфікаційна робота захищена з оцінкою
_____
_____ *Голова ЕК Валентина РЕДІНА*
_____ *Секретар ЕК Тетяна БУЛГАКОВА*
«_____»_____2025 р.

Харків – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП 4

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ РІЧКИ САМАРА 8

1.1. Попередній досвід вивчення рельєфу річкових басейнів в контексті дослідження 8

1.2. Загальна характеристика рельєфу басейну р. Самара 11

1.3. Характеристика динаміки та структури рельєфу басейну р. Самара ... 15

РОЗДІЛ 2. ЦИФРОВІ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ МОРФОМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ РЕЛЬЄФУ В ГІС 20

2.1. Огляд доступних цифрових моделей рельєфу..... 20

2.2. Можливості сучасних цифрових моделей рельєфу для морфометричного аналізу місцевості 24

РОЗДІЛ 3. ГОРИЗОНТАЛЬНЕ ТА ВЕРТИКАЛЬНЕ РОЗЧЛЕНУВАННЯ РЕЛЬЄФУ САМАРСЬКОГО БАСЕЙНУ 26

3.1. Методика визначення горизонтального розчленування рельєфу в ГІС 26

3.2. Результати аналізу горизонтального розчленування рельєфу басейну річки Самара 27

3.3. Методика визначення вертикального розчленування рельєфу в ГІС.... 31

3.4. Результати аналізу вертикального розчленування рельєфу басейну річки Самара 33

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ СХИЛІВ, ЕКСПОЗИЦІЇ ТА ПРОФІЛЮ БАСЕЙНУ РІЧКИ САМАРА..... 36

4.1. Аналіз крутизни схилів басейну річки Самара 36

4.2. Аналіз експозиції схилів басейну річки Самара 39

4.3. Аналіз гіпсометричного профілю долини річки Самара 42

4.4. Загальний аналіз результатів побудованих моделей рельєфу басейну річки Самара. 45

ВИСНОВКИ..... 48

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 51

ВСТУП

У XXI столітті дослідження рельєфу територій залишається невід'ємною традиційною складовою багатьох фундаментальних (фізична географія, екологія) і прикладних галузей науки, таких як, до прикладу, ландшафтне планування.

Серед пріоритетних напрямів, теж цілком традиційно, значну увагу приділяють аналізу рельєфу річкових басейнів (і басейновому підходу для розгляду флювіальної картини), як ключових рельєфних абстрактних одиниць, що акумулюють інформацію про природні умови, геоморфологічну структуру, водний режим і ландшафтну динаміку територій. У зв'язку з цим залишається нагальною потреба у використанні сучасних методів дослідження, які базуються на актуальних і точних цифрових просторових даних, автоматизованих методах аналізу і новітніх інструментах візуалізації.

Це дослідження ставить на меті застосувати новітні підходи до аналізу деяких рис рельєфу басейну річки Самара, що розташований у південно-східній частині України. Басейн становить інтерес як з точки зору географічного розташування, так і з позиції морфометричного різноманіття. Його рельєф формувався внаслідок сукупності складних процесів, які включають як тектонічні рухи, так і поверхневу денудацію та водну ерозію.

Річка Самара є лівою притокою Дніпра й охоплює території, де спостерігаються значні коливання висот, складне чергування рельєфних структур. Саме тому дослідження рельєфу басейну цієї річки є необхідним етапом для розуміння регіональних фізико-географічних закономірностей [13].

Наразі, активне впровадженням геоінформаційних систем (ГІС) у наукові та прикладні дослідження рельєфу дає змогу не лише накопичувати просторові дані, а й ефективно їх обробляти, аналізувати та візуалізувати результати у вигляді тематичних карт, профілів і статистичних узагальнень. Одним із найперспективніших джерел цифрової інформації про рельєф є цифрові моделі

рельєфу (ЦМР), які дають змогу з високою точністю моделювати морфометричні параметри, а також досліджувати окремі локальні форми мікрорельєфу.

Особливої уваги заслуговує використання ЦМР, отриманих в межах програми Copernicus, яка є ініціативою Європейського Союзу в галузі дистанційного моніторингу Землі. Ці моделі відзначаються достатньо високою просторовою роздільною здатністю, що дозволяє отримати деталізовані морфометричні характеристики навіть для відносно невеликих територій. Такі переваги роблять їх цінним інструментом для аналізу рельєфу басейнів річок, що й використано в представленому дослідженні.

Актуальність дослідження полягає в тому, що рельєф басейну Самари наразі не має детальних характеристик рельєфу, виконаних за новими високоточними ЦМР. Слід окремо підкреслити, що обраний басейн, як частина Придніпровської низовини, піддається значному антропогенному впливу, зокрема через інтенсивне сільське господарство та урбанізацію регіону, а також інтенсивні воєнні дії в певних його частинах. Це посилює ерозійні процеси, деградацію ґрунтів і порушення екологічної рівноваги. У контексті сучасних викликів, пов’язаних в тому числі зі сталим розвитком і раціональним природокористуванням, результати і висновки, що будуть отримані в процесі роботи, потенційно можуть бути корисними як основа для подальших фундаментальних і прикладних досліджень.

Новизна роботи полягає в тому, що попередні дослідження аналізували басейн частково та з використанням застарілих ЦМР. В роботі вперше зроблена спроба розглянути басейн Самари з більшим рівнем детальності, використовуючи ЦМР Copernicus, шляхом розрахунку морфометричних показників для басейну р. Самара.

Метою даної дипломної роботи є дослідження морфометричних характеристик рельєфу басейну річки Самара з використанням цифрових моделей рельєфу Copernicus у середовищі геоінформаційних систем. В межах

дослідження передбачено аналіз загальних особливостей рельєфу, динаміки його змін, геоморфологічних особливостей, а також формування детальних моделей вертикального і горизонтального розчленування, крутизни схилів, експозицій і профілю.

Об'єктом дослідження є рельєф басейну річки Самара.

Предметом дослідження виступають морфометричні характеристики рельєфу басейну річки Самара, отримані з використанням ГІС-технологій і цифрової моделі рельєфу.

Задачами дослідження було виділено:

1. Дослідити загальні характеристики і основні геоморфологічні процеси в рельєфі басейну Самари враховуючи досвід попередніх досліджень.

2. Розглянути актуальні матеріали й інструменти аналізу рельєфу за допомогою сучасних засобів ГІС.

3. Побудувати моделі морфометричних характеристик, зокрема: визначити горизонтальне та вертикальне розчленування рельєфу, моделі крутизни та експозиції схилів басейну Самари, а також гіпсометричний профіль долини за обраним відрізком.

4. Оцінити особливості рельєфу за результатами отриманих морфометричних розрахунків.

Основу роботи становить системний підхід до аналізу природних процесів, що поєднує елементи геоморфологічного опису з інструментами цифрового моделювання. У дослідженні використано як первинні (супутникові) дані, так і похідні продукти обробки (морфометричні моделі, аналітичні дані, профілі). Здійснено огляд сучасних цифрових моделей рельєфу, проаналізовано їхні переваги та недоліки в контексті морфометричного аналізу.

У роботі послідовно розглядаються такі аспекти: загальна характеристика басейну річки Самара; морфологічні особливості території; порівняльний аналіз можливостей цифрових моделей рельєфу; визначення горизонтального й

вертикального розчленування рельєфу за допомогою ГІС-методів; просторовий аналіз схилів, експозицій та профілів.

Окрему увагу приділено реалізації методики аналізу горизонтального розчленування на основі просторових даних, а також інтерпретації результатів.

Під час підготовки дипломної роботи були використані дані з відкритих джерел, включаючи бази супутникових знімків, картографічні матеріали, тематичні атласи та наукові публікації. Аналіз здійснювалась за допомогою програмного забезпечення ArcGIS (ліцензійна версія, що є на кафедрі фізичної географії та картографії), яке надає можливості реалізації складних схем обробки цифрових моделей рельєфу.

Таким чином, дана робота має на меті не лише виявити морфометричні особливості рельєфу басейну річки Самара, а й продемонструвати ефективність використання цифрових моделей рельєфу у комплексному геоінформаційному аналізі.

Одержані результати дозволять значно поглибити розуміння просторової структури місцевості взятого річкового басейну, зокрема особливостей його рельєфу та взаємодії з природними і антропогенними чинниками. Такий аналіз стане підґрунтям для розробки науково аргументованих підходів до оцінки та прогнозування екологічних ризиків, пов’язаних із динамікою ландшафтів.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів і висновків. Вона викладена на 56 сторінках, і включає в себе 8 ілюстрацій. Список використаних джерел налічує 50 найменувань

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ РІЧКИ САМАРА

1.1. Попередній досвід вивчення рельєфу річкових басейнів в контексті дослідження

Дослідження геоморфологічної структури басейну річки Самара є актуальним через недостатню детальність вивчення рельєфу території та брак інформації щодо його морфологічних властивостей. Важливою вихідною точкою цієї кваліфікаційної роботи стало дослідження Довганенка Д. О. та Шерстюка Н. П. про використання даних супутникових знімків у визначенні морфометричних показників земної поверхні в басейні р. Самара [35]. Також в основу лягло дослідження басейну річки Пайнганга у штаті Махараштра в Індії від M.L.Waikar та Aditya P. Nilawar. В їх роботі активно використовувались системи ГІС, зокрема ці способи аналізу зроблена спроба перенести на річку Самару в рамках цієї роботи [33].

Попередні роботи по переважно зосереджувалися на окремих аспектах рельєфу, таких як гіпсометричні характеристики, ухили та експозиції схилів. Одним із ключових методологічних підходів до вивчення рельєфу стала морфометрія, яка ґрунтується на кількісному аналізі рельєфу за допомогою цифрових моделей рельєфу (ЦМР).

Розберемо детально результати роботи Довганенка та Шерстюка. Дослідження використовували дані Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), що дозволяють отримувати точні висотні характеристики. Проте в рамках цього дослідження будуть використані дані Copernicus, які на відміну від SRTM, що припинив оновлення ще у 2000 році, актуалізуються і в наш час. Також варто зазначити, що Copernicus краще підходить для високоточних завдань, таких як

міське планування та управління природними ризиками, оскільки має високу вертикальну точність.

За результатами минулих досліджень було встановлено, що басейн має витягнуту форму з максимальними висотами 308 м на вододільній частині та мінімальними 51,2 м у гирлі річки. Значення ухилів та експозиції схилів вивчалися із застосуванням методів просторового аналізу у програмному забезпеченні GIS SAGA та GRASS. Отримані результати вказують, що більшість схилів у басейні мають пологу крутизну до 1°, тоді як найбільші ухили до 40° локалізуються в зонах видобутку корисних копалин.

Експозиція схилів була проаналізована за вісьмома основними румбами, і встановлено, що переважають північна (35,7%), південна (27,1%) та західна (22%) орієнтації. Ці параметри визначають диференціацію радіаційно-термічних умов, що впливають на ерозійні процеси та формування ландшафтів. Карти крутизни та експозиції дозволяють ідентифікувати зони потенційної деградації ґрунтів і небезпек схилових процесів.

Гіпсометричний аналіз показав середню висоту басейну 165 м, що відображає характерні орографічні особливості Донецької височини. Завдяки ЦМР також розраховано характеристики схилового стоку, зокрема час добігання поверхневого стоку, який варіюється залежно від інтенсивності опадів та шорсткості поверхні. Ці дані є основою для прогнозування гідрологічних ризиків і управління водними ресурсами. Найвищі точки земної поверхні в басейні, згідно з даними Дніпропетровського ДІПРОВОДГОСПу, розташовані у витоках річки Мокрі Яли поблизу м. Волноваха, їх висота становить 281 м за Балтійською системою висот. Для витоків річки Самара характерні максимальні відмітки висот у межах 200-210 м.

Загалом попередні дослідження підтвердили важливість використання цифрових моделей рельєфу та ГІС-технологій для всебічного аналізу геоморфологічної структури басейну річки Самара. Отримані результати дозволяють краще зрозуміти вплив рельєфу на ландшафтну структуру та геодинамічні процеси регіону, а також створюють підґрунтя для розробки заходів зі сталого природокористування.

1.2. Загальна характеристика рельєфу басейну р. Самара

Басейн річки Самара розташований в центрально-східній частині України, в межах степової зони. Довжина річки складає близько 311 км, а площа водозбору понад 21 000 км². Самара впадає у Дніпро, а саме протікаючи через Придніпровську низовину, поступово спускаючись до Дніпровського водосховища. Рельєф басейну річки Самара, що протікає в межах Дніпропетровської, Донецької, Запорізької та, частково, Харківської областей, є результатом довготривалих природних процесів, які формувалися впродовж тисячоліть. Особливістю Самари є те, що більшість приток Самари впадає в неї з лівого боку. (Рис 1.1).

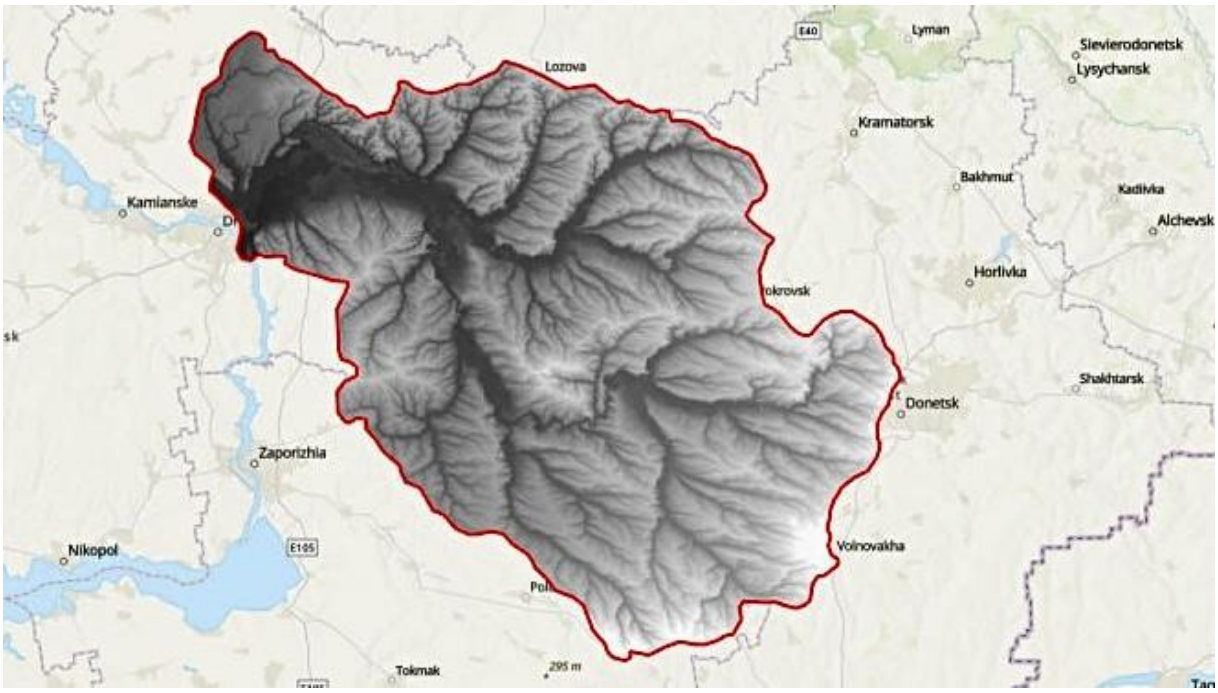

Рис 1.1. Фрагмент онлайн карти OpenStreetMap, що показує розташування басейну річки Самара [24]

Витік річки Самара знаходиться в районі західних схилів Донецького кряжа, а саме в селі Мар’ївка. На початку річка виглядає як невеликий струмок шириною до 0,5 м і глибиною 10-15 см. Далі вона формує численні плеса,

поверхня яких влітку покривається ряскою, а береги заростають густими заростями очерету. У спекотний період перекати між плесами часто пересихають.

Найбільшою лівою притокою Самари є річка Вовча, довжина якої складає 323 км, а її басейн охоплює понад половину всього водозбору Самари. У заплавах більшості приток річки Вовча розташовані численні озера. Їх природний вигляд порушується лише в районах, де зведені греблі. Антропогенний фактор дуже сильно впливає на загальний вигляд рельєфу. Наприклад, на Вовчій місцями людського втручання є ділянки, де створені Карлівське та Курахівське водосховища. Нижче цих водосховищ русло річки оживає лише навесні, а влітку утворюються плеса, які до середини літа пересихають. Лише за межами Донецької області Вовча стає постійною річкою з глибиною, що в окремих місцях перевищує 2 м, і шириною 20-30 м.

Після злиття з водами Вовчої поблизу Павлограда Самара стає більш повноводною річкою. Її долина розширюється і складається з лугових, піщаних і болотистих ґрунтів. У нижній частині заплава досягає 3 км, і після весняних паводків на її території залишаються численні озера. Ширина русла біля гирла становить 100-200 м, а глибина – 2-4 м. Зі спорудженням Дніпровського водосховища рівень води в гирлі Самари підвищився, що призвело до утворення мілководної Самарської затоки. Будівництво водосховищ суттєво змінило природний ландшафт в пониззі річки [2].

Географічне розташування басейну і фізико-географічні умови мають вирішальний вплив на характеристики річки та її приток. Враховуючи значення річки Самара, як лівої притоки Дніпра, рельєф її басейну визначає не лише гідрологічні та екологічні процеси, а й впливає на сільське господарство, водопостачання та життєдіяльність місцевих громад [1].

Придніпровська низовина, що займає більшу частину басейну, має переважно рівнинний рельєф з незначними підвищеннями. Це території, що залучені до активного сільськогосподарського використання, зокрема зрошенню

земель, що потребують водних ресурсів. Дніпропетровська область є одним із найрозвиненіших сільськогосподарських регіонів України. Область лідирує у вирощуванні зернових (ріпак, соняшник) та овочів (капуста, перець, огірки, буряк), займаючи перші місця серед регіонів України. Ці досягнення підтверджують вагому роль Дніпропетровщини в економіці країни, а також важливість водної артерії для підтримки аграрної промисловості в регіоні [28].

Однак найбільш різноманітним за рельєфом є східна частина басейну, де річка і бере свій початок, а саме регіон Донецького кряжа [4]. Придніпровська низовина є основною геоморфологічною одиницею басейну річки Самара. Ці території характерні широкими, доволі вирівняними ділянками, де рельєф змінюється незначно. На схилах розташовані численні тераси, що утворилися внаслідок давніх річкових процесів. Такі тераси, зокрема, зустрічаються вздовж річкових долин і стають свідченням, льодовикового походження та активних ерозійних процесів, які впливали на розвиток рельєфу протягом багатьох тисяч років.

Розглядаючи підвищені ділянки басейну, можемо відмітити, що концентруються вони у північній та східній частині басейну річки Самара, там рельєф стає більш різноманітним і вираженим. На півночі спостерігаємо підвищення правого берега Самари в межах Придніпровської низовини. На сході наочно видно підвищення, звідки річка бере свій початок, тобто невелика ділянка західної частини Донецького кряжа. Висоти в цій частині басейну можуть досягати 150-200 м над рівнем моря. Ці підвищення відіграють важливу роль в формуванні характеру басейну, створюючи особливу структуру території, де зустрічаються височини з незначними змінами висот і широкі лесові піднесені розчленовані рівнини [22].

Особливе значення для рельєфу басейну Самари мають річкові алювіальні долини, яри та балки, які утворюються завдяки постійним водним потокам. Ці

форми рельєфу розвиваються через ерозійні процеси, що активізуються внаслідок змін рівня води в річці, а також внаслідок частих паводків.

Долини, у яких тече річка, часто мають складну структуру, де зустрічаються, як вузькі і глибокі западини, так і ширші плоскі рівнини. Яри та балки розвиваються уздовж річки через процеси вивітрювання і ерозії, що призводять до утворення схилів, які змінюють ландшафт навколо водних шляхів. Ці природні форми рельєфу надають басейну річки Самара величезне біорізноманіття. Багато з них є унікальними природними осередками, де зберігаються рідкісні види флори і фауни.

Підсумовуючи, вищезазначену інформацію, можемо зробити висновок, що рельєф басейну річки Самара є комплексним і багатогранним. Сам водний басейн повністю задіяний у сільськогосподарській діяльності і активно експлуатується аграріями. Враховуючи лесовий характер рівнин та потужні алювіальні відклади отримуємо доволі унікальний і цікавий для дослідження водний об’єкт. Водозбір включає в собі різноманітні геоморфологічні одиниці – від рівнинних територій до підвищених ділянок та специфічних річкових долин, утворених внаслідок давніх і сучасних водних потоків. Природні форми рельєфу, такі як тераси, яри та балки, створюють різноманітність ландшафтів, що є важливими для екологічного балансу. Разом із тим, антропогенні зміни, зокрема будівництво водосховищ і зрошення земель, суттєво модифікують природний вигляд басейну, вносячи свої корективи в природні процеси і ландшафт. Вивчення таких змін є важливим кроком для збереження природної рівноваги і підтримки екосистеми в цьому регіоні [2].

1.3. Характеристика динаміки та структури рельєфу басейну р. Самара

Динаміка рельєфу басейну річки Самара визначається складною взаємодією природних і антропогенних факторів, які впливають на формування та трансформацію геоморфологічних структур регіону. Основними чинниками, що обумовлюють змінність рельєфу, є ерозійно-акумулятивні процеси, кліматичні зміни, людська діяльність, а також тектонічні рухи. Кожен із цих чинників створює диверсифікований вплив на морфологічну структуру басейну, спричиняючи формування нових форм рельєфу та трансформацію вже існуючих.

Кліматичні умови значно впливають на динаміку морфології басейну. У межах Самарського басейну спостерігаються континентальні кліматичні умови з вираженими сезонами, що обумовлюють сезонну активізацію геоморфологічних процесів. Підвищення температур у весняно-літній період сприяє таненню снігів та інтенсивному водному стоку, що активізує ерозійні процеси. У літню пору зливові опади часто призводять до посилення процесів утворення яружно-балкових систем.

Одним із головних природних чинників, що впливають на динаміку рельєфу, а особливо в досліджуваному регіоні, є водна ерозія. В умовах басейну річки Самара вона має значну інтенсивність, що зумовлено як водним режимом, так і геологічною будовою території. Річкова мережа має розгалужений характер, а алювіальні процеси на лесових породах сприяють формуванню ярів, балок, ерозійних ліній на м’яких, звичайних Чорноземах. Під час весняних паводків та літніх зливових дощів активізуються поверхнева та глибинна ерозія, що спричиняє розчленування водозбору та формування нових ерозійних форм рельєфу. З часом ці процеси призводять до розширення річкових долин, збільшення довжини водотоків та їхньої денудаційної потужності [1].

Акумулятивні процеси у басейні річки Самара переважають переважно в її

нижній течії, де зменшення ухилів сприяє осіданню твердого стоку. Тут формуються алювіальні тераси, заплавні утворення, дельтові відклади. Центром концентрації алювіальних процесів є Самарська затока та прилеглі території. У поєднанні з періодичними змінами рівня води такі процеси впливають на перебіг руслових деформацій, сприяючи формуванню меандрів, рукавів та островів. Особливо важливим є те, що ці зміни можуть мати циклічний характер, зумовлений сезонними коливаннями гідрологічного режиму річки.

Не менш важливим фактором динаміки рельєфу є тектонічна активність. Хоча регіон не належить до зон високої сейсмічності, проте повільні неотектонічні рухи мають суттєве значення для формування сучасного рельєфу. Вертикальні коливання земної кори спричиняють зміну ухилів території, що, у свою чергу, змінює напрямки поверхневого стоку, створює нові вододільні лінії, а також впливає на морфометричні характеристики басейну. Підняття ділянок може сприяти активізації ерозійних процесів, тоді як опускання – формуванню локальних депресій, у яких можуть накопичуватись осадові відклади, або формуватися заболочення.

Антропогенний чинник у басейні річки Самара в останні десятиліття став одним із найпотужніших джерел трансформації рельєфу. Масштабне сільськогосподарське освоєння території, меліорація, створення штучних водосховищ, гідротехнічні споруди, урбанізація та дорожнє будівництво радикально змінили гідрологічний та геоморфологічний режими річки. Зокрема, будівництво гребель і дамб призвело до затоплення значних площ, зміни швидкості течії, накопичення наносів у верхніх б’єфах та ерозії у нижніх. Такі процеси ведуть до руйнування берегів, зміни структури заплав, а також утворення техногенних форм рельєфу.

Варто зазначити, що інтенсивна антропогенна трансформація рельєфу також сприяє зміні ландшафтної структури території. Втрата природної рослинності, заміна її культурними угіддями, деградація ґрунтів та ущільнення

поверхні також спричиняють посилення водної ерозії, особливо в умовах інтенсивного поверхневого стоку після злив. Накопичення осадових порід в пониженнях сприяє утворенню нових акумулятивних форм, які суттєво відрізняються від природних.

Окрему увагу слід звернути на осушення територій з метою збільшення сільськогосподарських угідь. Цей процес часто призводить до порушення природного дренажу, зниження рівня ґрунтових вод і трансформації заболочених ділянок. У результаті формується новий мікрорельєф, нерідко нестійкий у геоморфологічному плані, схильний до ерозії та зсувних процесів [28].

Отже, динаміка рельєфу басейну річки Самара є наслідком багатофакторного впливу. Синергія природних геоморфологічних процесів та техногенної діяльності визначає характер і темпи змін морфометричних показників. Розуміння цих процесів є необхідною умовою для подальшого аналізу у цьому дослідженні.

Геоморфологічна будова басейну річки Самара є результатом складної взаємодії тектонічних процесів, кліматичних змін та діяльності зовнішніх геологічних агентів. Ці фактори зумовили формування різноманітних форм рельєфу, які мають важливе значення для гідрологічних, екологічних та господарських умов регіону.

Долина річки Самара характеризується наявністю кількох терас, які свідчать про різні етапи її розвитку. Ці тераси утворилися внаслідок ерозійної діяльності річки, коли вона врізалася в своє русло, залишаючи на різних рівнях плоскі ділянки – тераси. Вони є залишками колишніх днищ долини, що були тоді, коли річка текла на вищому рівні. [8].

В контексті, геологічної будови басейну річки Самара, можна побачити наявність різноманітних порід, серед, яких переважають лесові та лесовидні суглинки. Ці породи є вразливими до ерозійних процесів, що сприяє формуванню

яружно-балкової мережі, особливо в районах з розораними, активно задіяних у сільському господарстві, схилами та недостатньою степовою рослинністю.

В межах басейну також спостерігаються терасовані долини з асиметричними схилами. Праві схили, як правило, крутіші та розчленовані ярами, тоді як ліві – більш пологі та просторі. Така структура може пояснюватися різницею у гірських породах, на яких утворилися схили, їхньою ерозійною стійкістю, а також впливом гідрологічних процесів, що переважають у цьому регіоні.

Загалом яружно-балковий рельєф характерний для територій всієї Придніпровської низовини та Донецького кряжу. Круті праві схили, порізані системою ярів, є свідченням активних ерозійних процесів, які посилюються внаслідок дощових паводків, танення снігу та інтенсивного землекористування. У той самий час пологі ліві схили відображають менший вплив ерозії, що, імовірно, пов’язано з відмінностями в орієнтації схилів щодо сонячного освітлення, а також меншою інтенсивністю водного стоку.

Вивчаючи сучасний рельєф басейну річки Самара, можемо побачити, як він сформувався впродовж неотектонічного етапу розвитку, який характеризувався диференційованими тектонічними рухами земної кори. Ці рухи зумовили підняття та опускання окремих ділянок території, що вплинуло на формування гідрографічної мережі та морфоструктур басейну. Зокрема, тектонічні коливання, що впливали на підняття Придніпровської низовини, сприяли просіданню ґрунтів і, відповідно, розвитку яружно-балкової мережі та інтенсивній ерозійній діяльності.

Розорювання схилів без належних протиерозійних заходів призводить до активізації ерозійних процесів, утворення вище зазначених флювіальних форм рельєфів, що поглиблює розчленованість рельєфу та сприяє деградації земель. [18].

В умовах геоморфологічного районування басейну, річку Самару можна поділити на кілька районів, кожен з яких має свої особливості рельєфу та геологічної будови. У північно-західній частині переважають підвищені рівнини, тоді як південно-східна частина характеризується більш пологим рельєфом та широкими заплавами. Це районування враховує гіпсометричні показники, розчленованість рельєфу, історію та умови формування басейну.

Геоморфологічна будова басейну річки Самара безпосередньо пов’язана з особливостями формування її гідрографічної мережі. Вище описані процеси сприяють формуванню складної дренажної системи, що також впливає на напрямок течії річки, її руслові деформації, швидкість потоку та характер паводків. Схили терас, з яких стікають води під час опадів, є джерелами поверхневого стоку, що часто стає чинником формування тимчасових водотоків.

Значну роль у морфології рельєфу відіграє також структура підземного водоносного горизонту. На ділянках, де підземні води підступають близько до поверхні, формуються зниження, заболочені території або джерела, що беруть участь у підтримці постійного водотоку в малих притоках Самари. Таким чином, геоморфологічні процеси не є ізольованими, вони є тісно пов’язаними з гідрологічними та кліматичними чинниками.

Отже, дослідивши та отримавши глибше розуміння геоморфологічних особливостей басейну Самари можна зрозуміти важливість її структури. Ці знання стають у нагоді для вирішення практичних завдань у сферах землеустрою, гідротехнічного будівництва, прогнозування екологічних ризиків, а також стануть у нагоді для аналізів в рамках цього дослідження [15].

РОЗДІЛ 2. ЦИФРОВІ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ МОРФОМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ РЕЛЬЄФУ В ГІС

2.1. Огляд доступних цифрових моделей рельєфу

Цифрові моделі рельєфу є одним з основних інструментів аналізу просторових характеристик земної поверхні. Їх можна використовувати для візуалізації рельєфу, отримання цифрових значень висот та проведення різноманітних морфометричних досліджень. ЦМР використовуються в географії, геології, екології, сільському господарстві, містобудуванні та багатьох інших наукових і технологічних галузях. У цьому підрозділі будуть розглянуті основні типи ЦМР, джерела їх отримання та можливість використання для аналізу рельєфу басейну річки Самара в Україні.

Існує декілька типів цифрових моделей рельєфу, найпоширенішими з яких є 3D-моделі, цифрові моделі рельєфу ЦМР та цифрові моделі місцевості ЦММ.

Перший тип – 3D-моделі рельєфу. Цей вид моделей є тривимірними і використовуються для детального представлення місцевості за допомогою трьох просторових координат. Вони можуть містити не лише інформацію про висоту, але й про матеріали, з яких складається поверхня, а також інші фізичні характеристики місцевості. 3D-моделі зазвичай створюються за допомогою різних технологій, таких як лазерне сканування або фотограмметрія, і використовуються в геодезії та міському плануванні [3].

Другий тип – цифрові моделі рельєфу. ЦМР – це двовимірні моделі, в яких кожному пікселю або комірці карти присвоюється значення висоти. Це один з найпоширеніших типів ЦМР, що використовується в географії та картографії для вивчення рельєфу та ландшафтних процесів. За допомогою ЦМР визначають ухил, висоту, глибину долин та інші морфометричні характеристики місцевості. Найчастіше використовуються моделі з роздільною здатністю 30 м, 5 м та 1 м.

Третій тип – цифрові моделі місцевості (ЦММ), є більш універсальним терміном, часто відображають характеристики природного рельєфу, усуваючи інформацію про антропогенні об'єкти, такі як дороги, будівлі чи інші споруди. Це дає змогу точніше аналізувати природні процеси, такі як ерозія, зсуви, вододіли тощо [23].

Окрім зазначених типів, у науковій та прикладній практиці часто використовуються похідні форми цифрових моделей рельєфу, такі як цифрові ортофотоплани (ЦОФ). Вони об’єднують геоприв’язані знімки з корекцією геометричних спотворень і висотних відмінностей, що особливо корисно для візуального аналізу місцевості. Також для створення цифрових моделей рельєфу можна взяти дані отримані з аерофотознімків. Цей метод можна відтворити власноруч в польових умовах маючи необхідне обладнання і можливість дослідити територію польовим методом. Внаслідок цього, даний метод дослідження дозволяє отримати зображення з високою роздільною здатністю, що особливо важливо для аналізу локальних змін ландшафту, таких як зсуви або ерозія.

Стають часто у нагоді і всім знайомі традиційні топографічні карти з висотами, які при коректній обробці можна використовувати для створення ЦМР, хоча вони мають обмежену точність і є менш актуальними для сучасних досліджень [11].

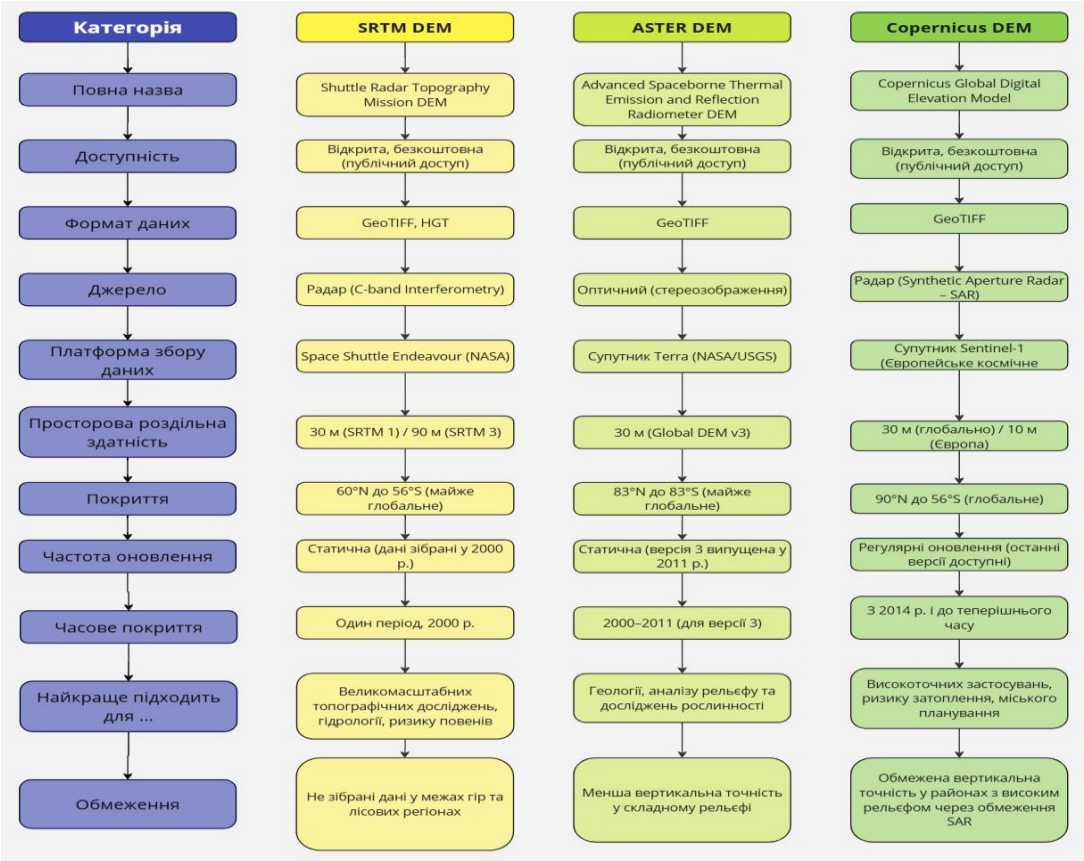

Рис 2.1. Порівняльна схема різних типів цифрових моделей рельєфу [36]

Серед найбільш використовуваних відкритих цифрових моделей рельєфу слід відзначити SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), яка охоплює майже всю поверхню Землі з роздільною здатністю 30 м, але нажаль її дані не підходять для аналізу нагальних та актуальних питань, оскільки знімки датовані 2000 роком. Цифрові моделі ASTER GDEM, також широко застосовуються в морфометричному аналізі, геології та дослідженні рослинності. Особливістю ASTER GDEM є оптичне джерело походження знімків, або стереозображення. Copernicus DEM наразі є найпоширенішою серед усіх ЦМР завдяки своїй універсальності, точності, частоті оновлення та площі покриття, що охоплює майже всю планету (Рис 2.1). Також варто згадати (Light Detection and Ranging), що підходить для локальних досліджень, цей лазерний метод зйомки дозволяє створювати моделі з точністю до кількох сантиметрів. LiDAR використовується

переважно для інженерно-геодезичних робіт, планування міської інфраструктури, а також моніторингу небезпечних процесів на невеликій ділянці.

Сучасні супутникові технології, які застосовані в рамках цього дослідження, дозволяють отримувати дуже точні дані про рельєф земної поверхні. Одним з найбільших проектів у цій галузі є програма Європейського Союзу Copernicus, яка надає доступ до величезної кількості геопросторових даних. Супутники Sentinel-1 і Sentinel-2, які є частиною цієї програми, надають інформацію, яка може бути використана для створення високоточних цифрових моделей рельєфу.

При виборі цифрових моделей рельєфу важливо враховувати точність і роздільну здатність. Для великих територій, таких як басейн річки Самара, оптимальними є моделі з роздільною здатністю 30 м або 5 м, оскільки вони забезпечують достатньо точні результати для глобальних і регіональних досліджень. Для дослідження в рамках цієї кваліфікаційної роботи, було обрано модель роздільною здатністю 30 метрів.

Однак для детального вивчення невеликих територій слід використовувати моделі з роздільною здатністю 1 м або менше. ЦМР з високою роздільною здатністю забезпечують більш точне відображення особливостей рельєфу, таких як невеликі схили, або слабкі потоки води. Але вони вимагають великих обсягів пам'яті та обчислювальних ресурсів, що робить їх недоступними для цього дослідження. На противагу цьому, моделі з нижчою роздільною здатністю можуть бути менш точними, але є більш ефективними для великих територій і дають узагальнене уявлення про місцевість [48].

Окрім точності та роздільної здатності, важливим фактором при виборі ЦМР є формат і сумісність даних з програмним забезпеченням. Найбільш поширеними є формати GeoTIFF, ASC, IMG, які легко імпортуються в середовище ArcGIS. В рамках цього дослідження велась робота з форматом GeoTIFF [14].

2.2. Можливості сучасних цифрових моделей рельєфу для морфометричного аналізу місцевості

Морфометричний аналіз рельєфу є важливим компонентом географічних досліджень, який передбачає вимірювання та оцінку різних особливостей земної поверхні. Цифрові моделі рельєфу можна використовувати для визначення висот, кутів нахилу і крутизни схилів, а також для аналізу просторової організації місцевості, наприклад, терас, долин і вододілів. Сучасні цифрові моделі рельєфу, особливо отримані за допомогою супутникових технологій, пропонують широкий спектр можливостей для таких досліджень [19].

Одним із базових параметрів морфометричного аналізу є нахил поверхні (slope), який визначає крутизну місцевості і безпосередньо впливає на процеси поверхневого стоку, ерозії та освоєння територій. Ще один важливий показник — експозиція схилу (aspect), що описує орієнтацію поверхні відносно сторін світу. Цей параметр використовується при оцінці сонячної радіації, мікроклімату, придатності земель для сільського господарства тощо. Додатково часто застосовується кривизна рельєфу, яка вказує на опуклі або увігнуті форми місцевості і допомагає моделювати потенційні напрямки стоку, зони акумуляції та ерозії [50].

Морфометрія рельєфу охоплює ряд характеристик, включаючи висоту, середній нахил, градієнт, площу поверхні та параметри водозбору, такі як глибина долини і ширина тераси. Використання ЦМР надає точні дані для побудови графіків цих характеристик та їх аналізу в контексті природних і антропогенних змін.

Проєкт Copernicus надає доступ до даних, які можна використовувати для створення точних моделей місцевості. Супутники Sentinel-1 і Sentinel-2 дозволяють відстежувати зміни рельєфу, що дуже важливо для вивчення таких процесів, як ерозія, зсуви та інші природні явища. Sentinel-1 формує дані за

допомогою радіолокації, що дозволяє отримувати інформацію незалежно від погодних умов, тоді як Sentinel-2 забезпечує деталізовану оптичну зйомку з високою роздільною здатністю [3].

Ці дані можна використовувати для визначення різних морфометричних характеристик місцевості, таких як вододіли, напрямок схилів або гідрографічний аналіз. У поєднанні з просторовим аналізом у ГІС це дозволяє моделювати й прогнозувати геоморфологічні зміни території [14]. На основі таких аналізів можна створити картографічні моделі, які відображають функціональні особливості ландшафту та дозволяють оцінити стійкість територій до природних ризиків.

Морфометричні показники рельєфу відіграють важливу роль у просторовому плануванні. Наприклад, аналіз схилів використовується при проєктуванні сільськогосподарських терас, оцінці ерозійної небезпеки або під час вибору ділянок для забудови. Експозиція схилу має значення при розміщенні сонячних панелей або виноградників, тоді як карта кривизни дозволяє виявити місця накопичення води або селевих потоків [11].

У поєднанні з даними про ґрунти, покрив рослинності та кліматичні умови, морфометричні характеристики стають невід'ємною частиною комплексної оцінки територій. Особливо це актуально для басейну р. Самара, де існують ділянки з підвищеною активністю природних геоморфологічних процесів.

Морфометричні дані можуть слугувати базою для моделювання сценаріїв паводків, прогнозування селів або підготовки стратегій зменшення шкоди від природних катастроф. У поєднанні з інструментами ГІС це відкриває нові перспективи для регіонального розвитку, охорони навколишнього середовища та сталого управління водними ресурсами [16].

РОЗДІЛ 3. ГОРИЗОНТАЛЬНЕ ТА ВЕРТИКАЛЬНЕ РОЗЧЛЕНУВАННЯ РЕЛЬЄФУ САМАРСЬКОГО БАСЕЙНУ

3.1. Методика визначення горизонтального розчленування рельєфу в ГІС

Для проведення аналізу басейну річки Самара була використана цифрова модель рельєфу ЦМР Copernicus з роздільною здатністю 30 м в програмному середовищі ArcGIS [8].

Методика дослідження включала кілька етапів, спрямованих на обробку даних, отримання морфометричних показників та створення візуалізацій.

Перший етап включає в собі збір та підготовку даних. Фундаментом для дослідження слугує ЦМР Copernicus, яка надає високу роздільну здатність та точні дані про рельєф. Також, з метою видалення локальних западин і вирівнювання поверхні, для коректного моделювання стоку була виконана гідрологічна корекція. Дана корекція виконувалася за допомогою інструменту «Fill» в модулі «Hydrology».

Другий етап – це визначення напрямків стоку та акумуляції.

Для аналізу напрямків стоку було використано інструмент «Flow Direction» в модулі «Hydrology». Його застосування створює моделювання напрямку руху води, забезпечуючи вихідні дані для подальшого аналізу водозбору. На додаток було проведено розрахунок акумуляції стоку, за допомогою інструмент «Flow Accumulation» для того, щоб визначити ділянки максимальної концентрації стоку, які відповідають тальвегам.

Третій етап – визначення та аналіз тальвегів.

Виділення ключових елементів відбувалося за допомогою інструменту «Set Null», що в модулі «Conditional». Це надало змогу відфільтрувати тільки ті пікселі, які відповідають найбільшій акумуляції. Після чого, використавши

інструмент «Stream to Feature», ми створили векторний шар, що представляє лінії тальвегів, що перевело растрові дані у векторні.

Четвертий етап передбачає створення картографічної сітки та аналіз розчленування.

Для створення сітки був задіяний інструмент «Create Fishnet» з групи «Data Management Tools». Отримана сітка мала розмір чарунок 4000 х 4000 м. Після чого, для кожної чарунки була визначена загальна довжина тальвегів і переведена в 1 км².

П'ятий етап – інтерполяція та візуалізація результатів.

Для інтерполяції щільності тальвегів був використаний інструмент «Spline», який згенерував створення растрового шару, та відобразив просторову мінливість горизонтальної щільності тальвегів. Як результат ми отримали растрове зображення, яке класифіковано для виділення зон з різним рівнем розчленування.

3.2. Результати аналізу горизонтального розчленування рельєфу басейну річки Самара

Горизонтальне розчленування рельєфу є одним із ключових показників морфометричного аналізу, який дозволяє оцінити щільність розвитку гідрографічної мережі та ступінь дренування поверхні території.

В межах басейну річки Самара цей показник відіграє важливу роль у визначенні просторової структури рельєфу, зокрема у виявленні морфологічних особливостей різних частин басейну.

Аналіз було проведено на основі картографічного матеріалу, отриманого за допомогою інструментів геоінформаційних систем (ГІС). Зокрема, було побудовано тематичну модель горизонтального розчленування рельєфу, де відображено щільність тальвегів на 1 км² площі (Рис 3.1).

Даний показник визначався шляхом обрахунку довжини водотоків в межах одиниці площі з подальшою візуалізацією результатів у вигляді п'яти градацій.

На карті чітко виділено п’ять класів горизонтального розчленування:

a) 0–0,2 км/км² (помаранчевий колір) – низький рівень розчленування, що характерний для відносно рівнинних територій, з незначною кількістю природних тальвегів і водотоків. Такі зони найчастіше прив’язані до вододільних просторів, де поверхня має слабко виражений ухил, а розвиток ерозійної сітки мінімальний.

b) 0,2–0,4 км/км² (світло-помаранчевий) – помірне розчленування, яке зустрічається на більшості міжрічкових ділянок (вододілах). Тут помітна деяка активність мережі стоку, однак вона ще не досягла відчутної щільності.

c) 0,4–0,6 км/км² (світло-зелений) – середній рівень розчленування, типовий для передгірних або підвищених ділянок із помірно розвиненою річковою мережею.

d) 0,6–0,8 км/км² (зелений) – високий рівень дренування території, що вказує на значну активність ерозійних процесів. Часто ці зони формуються в районах, де природні умови сприяють більш інтенсивному стіканню води, зокрема при крутіших схилах, або в областях з менш стійкими до розмиву породами.

e) 0,8–1 км/км² (темно-зелений) – дуже інтенсивне горизонтальне розчленування, що спостерігається в місцях максимального розвитку річкової мережі, зазвичай вздовж основного русла річки Самара та у верхів’ях її приток.

Окремо варто звернути увагу на структуру річкової мережі, яка представлена згідно з порядком річок за Стралером – від 1 до 7. Основне русло Самари та р. Вовча належать до 6–7 порядків, дрібніші річки відносяться до 3-5, а численні дрібні водотоки, що формуються на схилах і вододілах, відносяться до 1–2 порядку.

Така ієрархія свідчить про широко розвинену гідрографічну систему басейну та дозволяє глибше зрозуміти процеси територіального дренування.

Рис. 3.1. Горизонтальне розчленування рельєфу річки Самара

У ході аналізу виявлено, що найбільш розчленованими є північно-західна та центральна частини басейну. Це пов’язано значною мірою зі структурою річкової мережі, що підтверджує побудований поділ за порядком Стралера. Вище значення порядку річки певною мірою корелює з густотою гідрографічної

мережі. На вище згаданих частинах басейну простежується підвищена щільність водотоків, що може бути пов’язано як з геологічною структурою місцевості, так і з особливостями кліматичних умов та сучасного рельєфоутворення. У цих районах переважають обставини, сприятливі для формування густої річкової сітки, що в свою чергу призводить до глибокого розчленування рельєфу [21].

Менш розчленовані ділянки зосереджені в східній та південній частинах басейну. Тут спостерігаються відносно згладжені форми рельєфу з меншим ухилом, що ускладнює утворення великої кількості тальвегів. Такі ділянки мають меншу гідромережу, що свідчить про стабільніші морфологічні умови [31].

Загалом, горизонтальне розчленування рельєфу басейну річки Самара відзначається високою просторовою неоднорідністю, що є наслідком комплексної взаємодії геологічних, геоморфологічних, кліматичних та гідрологічних факторів. Це дозволяє зробити висновок про те, що територія басейну є динамічно активною у морфогенетичному плані.

Отримані результати можуть бути використані для подальшого аналізу вертикального розчленування, оцінки схилів, експозицій, а також для прогнозування ерозійних процесів, планування протиерозійних заходів та раціонального використання земельних ресурсів в межах досліджуваної території.

3.3. Методика визначення вертикального розчленування рельєфу в ГІС

Для аналізу вертикального розчленування рельєфу басейну річки Самара було використано цифрову модель рельєфу Copernicus з просторовою роздільною здатністю 30 м, що забезпечує високу деталізацію даних. Робота виконувалася в середовищі геоінформаційної системи ArcGIS, що дозволяє комплексно обробляти просторові дані, здійснювати морфометричний аналіз і візуалізацію результатів.

Методика дослідження включала низку етапів, спрямованих на отримання кількісної оцінки вертикального розчленування рельєфу. На першому етапі здійснено підготовку вхідних даних, зокрема, вибір відповідного растрового шару ЦМР. Для забезпечення коректних просторових обчислень здійснено трансформацію координат з географічної системи в проєктовану. У вікні «Table of Content»s виконується перехід до властивостей шару (Properties), де у вкладці «Coordinate System» обирається система проєкцій «WGS 1984 World Mercator» з групи «Projected Coordinate Systems World». Цей крок є критично важливим для збереження метричних параметрів при подальшій роботі з даними.

Другим етапом стало створення регулярної просторової сітки, яка дозволяє здійснювати локалізований аналіз в межах кожної чарунки. За допомогою інструменту «Create Fishnet», що знаходиться в групі «Data Management Tools Sampling», була згенерована сітка з фіксованим розміром чарунок, що покриває всю площу басейну [4].

Наступним кроком є розрахунок амплітуди висот (різниці між максимальною та мінімальною абсолютними висотами) в межах кожної чарунки. Для цього використовується інструмент «Zonal Statistics», що міститься в розділі «Spatial Analyst Tools». У процесі обчислення здійснюється аналіз пікселів ЦМР в межах кожної чарунки, після чого формується таблиця з відповідними

статистичними значеннями, зокрема: максимальні та мінімальні значення висоти, середнє значення та стандартне відхилення.

Після обчислення зональних статистик проводиться витяг числових значень до точкових об'єктів центроїдів чарунок. Для цього використовується інструмент «Extract Values to Points» (група «Spatial Analyst Tools», інструмент «Extraction»), що дозволяє здійснити прив'язку статистичних показників рельєфу до точкових геометричних об'єктів.

Після перевірки атрибутивної таблиці, яка містить обчислені значення висотної амплітуди, здійснюється інтерполяція значень у просторовій площині. Для побудови безперервної поверхні вертикального розчленування використовується метод інтерполяції «Spline», доступний у модулі «Spatial Analyst Tools» інструмент «Interpolation». Цей метод дозволяє отримати згладжений растровий шар, що відображає просторову мінливість висотного розчленування на основі значень у центрі чарунок [50] [3].

Завершальним етапом є картографічне оформлення результатів. Для цього виконується редагування легенди та класифікації значень амплітуди висот в межах визначених інтервалів. На основі створеного інтерпольованого шару формується тематична картограма, яка візуально репрезентує рівень вертикального розчленування рельєфу в межах басейну річки Самара. Така картографічна візуалізація є ефективним інструментом просторового аналізу рельєфу і дозволяє групувати ділянки басейну за значеннями.

Таким чином, наведена методика дозволяє отримати кількісну характеристику вертикальної диференціації рельєфу за допомогою інструментарію ArcGIS на основі високоточних даних цифрової моделі рельєфу. Результати даного аналізу є важливою основою для подальших геоморфологічних, гідрологічних та ландшафтних досліджень.

3.4. Результати аналізу вертикального розчленування рельєфу басейну річки Самара

На основі цифрової моделі рельєфу Copernicus та побудованої тематичної карти було здійснено аналіз вертикального розчленування рельєфу в межах басейну річки Самара. Вертикальне розчленування є показником різниці висот в межах певної ділянки території, що дозволяє оцінити ступінь орфометричної складності ландшафту, активність денудаційних процесів і ступінь ерозійного впливу.

Отримана модель свідчить про значну мінливість показника амплітуди висот на всій території басейну. Переважна частина території охоплена зонами з вертикальним розчленуванням в межах 15-30 м/км², що характерно для помірно розчленованого рельєфу рівнинного типу. Ці ділянки забарвлені у жовтий колір і займають більшу частину центральної й західної частини басейну [Рис 3.2.].

Вищі значення розчленування – 30-45 м/км² (помаранчевий колір) та 45-60 м/км² (червоний колір) – локалізуються у північно-західній, північній та східній частинах басейну. Ці зони свідчать про наявність розвинених ерозійних форм, таких як глибокі долини, балки й тераси, що формуються внаслідок інтенсивного впливу поверхневих вод. Такі ділянки вказують на підвищену динаміку геоморфологічних процесів, і можуть розглядатися як потенційно активні зони сучасної денудації.

Найменше вертикальне розчленування – менше 15 м/км² (зелений колір) – спостерігається у південно-східній частині басейну, де рельєф більш згладжений, а ерозійна діяльність обмежена. Також зменшене вертикальне розчленування спостерігаємо у крайній північно-західній частині басейну, можемо припустити, що характер цих рівнин є скоріш за все алювіальним, з відносно рівною поверхнею і незначними перепадами висот, де переважають акумулятивні процеси. На те, що ці рівнини, і загалом обраний басейн, є переважно

алювіальними також вказують окремі дослідження та картографічні матеріали [22] [35].

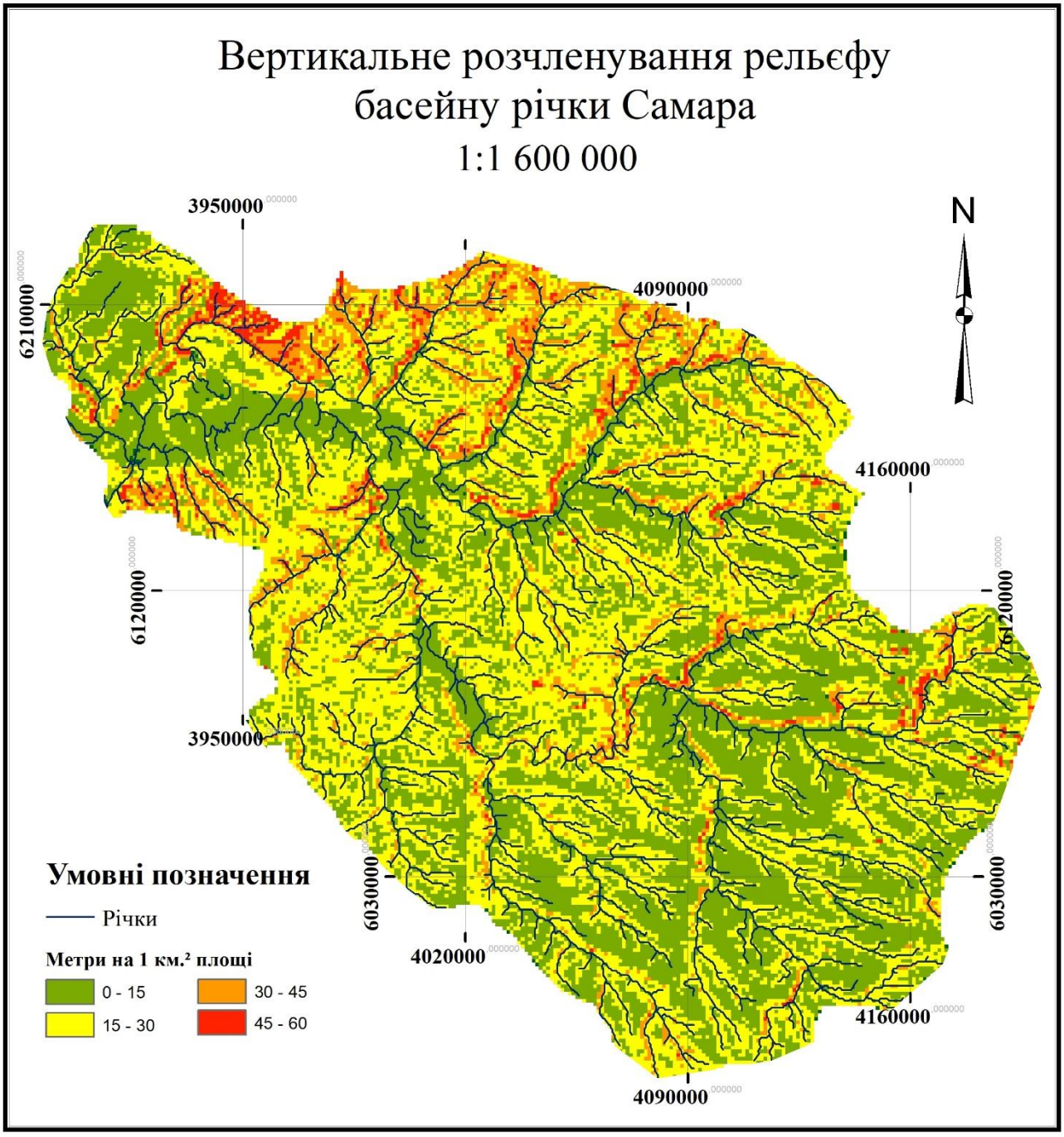

Рис 3.2. Вертикальне розчленування рельєфу басейну річки Самара

Загалом, результати свідчать про те, що басейн річки Самара характеризується переважно середнім рівнем вертикального розчленування, з окремими зонами підвищеної морфометричної активності. Подібний розподіл

пов’язаний як з геологічною будовою території, так і з історією розвитку гідрографічної мережі, що формувала ерозійно-акумулятивні форми рельєфу [18].

Данні результати є важливими для прогнозування ерозійних процесів, планування сільськогосподарського використання земель, будівництва та інших форм територіального управління. Особливої уваги потребують ділянки з високим вертикальним розчленуванням, де необхідне запровадження протиерозійних заходів.

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ СХИЛІВ, ЕКСПОЗИЦІЇ ТА ПРОФІЛЮ БАСЕЙНУ РІЧКИ САМАРА

4.1. Аналіз крутизни схилів басейну річки Самара

Крутизна схилів – один із ключових морфометричних показників, що відіграє важливу роль у формуванні гідрографічної мережі, інтенсивності ерозійних процесів, ґрунтового змиву та загальної геоморфологічної структури території. Аналіз крутизни схилів дозволяє оцінити рельєф за ступенем похилості, що є важливим як для наукових досліджень, так і для практичного землекористування, лісового та сільського господарства, містобудування тощо [21].

На карті крутизни схилів басейну річки Самара, створеній у середовищі геоінформаційної системи ArcGIS, виділено вісім класів ухилу, розмежованих за градусною шкалою: 0-1°, 1-2°, 2-3°, 3-4°, 4-5°, 5-6°, 6-7° та 7-8°. Такий поділ забезпечує детальне уявлення про різноманітність рельєфу території та дозволяє провести глибший аналіз структури схилів (Рис 4.1). Треба відмітити, що крутизна схилів сильно корелює з вертикальним розчленуванням рельєфу. Відповідно чим більший перепад висоти за вертикальним розчленуванням, тим крутіше буде схил.

Візуальний аналіз карти показує, що основна частина території басейну характеризується незначними ухилами. Зелені відтінки (0–3°) охоплюють значну площу регіону – це переважно рівнинні ділянки, що є типовими для степової частини Придніпровської низовини, де розташований басейн Самари. Такі значення ухилу характерні для акумулятивних рівнин, терас річок, широких заплав та міжрічкових просторів.

Зони з ухилами від 3 до 5 градусів, позначені жовтими кольорами, відносяться переважно до схилів долин річок, ярів та балок. Вони утворюють

перехідну морфологічну зону між пласкою поверхнею і більш крутим рельєфом. Їх розміщення є лінійним і часто повторює структуру водозборів, що свідчить про природну ерозійну сегментацію території.

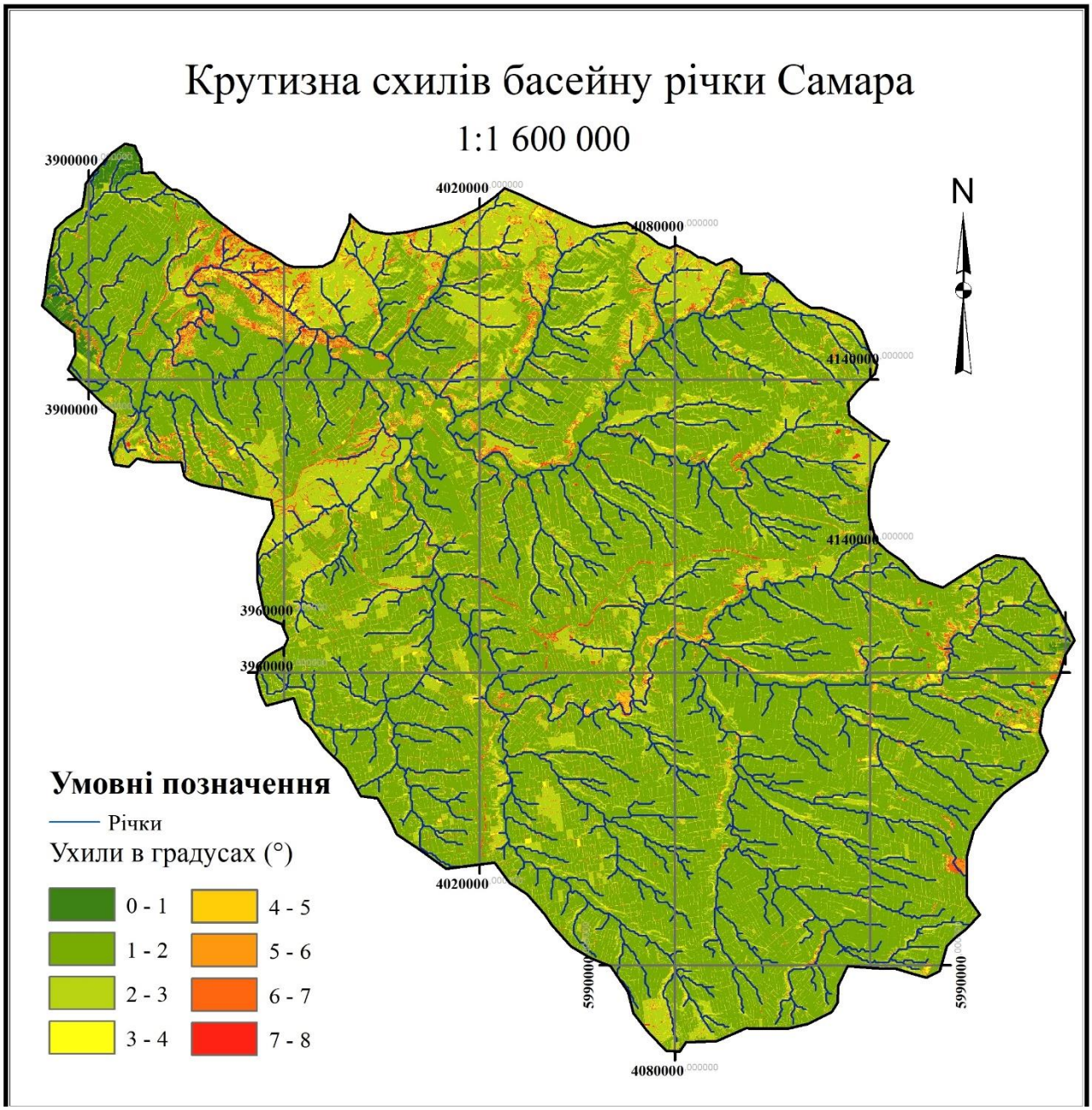

Рис 4.1. Крутизна схилів басейну річки Самара

Особливу увагу привертають ділянки з ухилами понад 5 градусів (позначені помаранчевими та червоними кольорами). Хоча їх площа невелика, ці

зони відіграють важливу роль у формуванні рельєфу. Вони, як правило, локалізуються в прибережних зонах річкових долин, на крутих схилах ярів і балок, а також в зонах виходів твердих порід, де ерозія створює різкі перепади висот. Зокрема, ділянки з крутизною 6–8° трапляються в північно-західній частині басейну, саме там рельєф набуває значень вертикального розчленування 30-60 метрів на квадратний кілометр, це є підтвердженням тези, що більша абсолютна висота має на увазі більший кут ухилу. Окремо треба звернути увагу на невелику область на сході басейну, де спостерігаємо круті ухили, що так само пов’язано зі збільшенням висоти (скоріш за все ця ділянка є західною частиною Донецького кряжу). Також у середній течії Самари, де річка прорізає структурні підвищення, бачимо вузькі ділянки крутих схилів. Загалом, ухили зі значеннями 6–8° є доволі поодиноким, не систематизованим явищем.

Геопросторовий аналіз свідчить, що круті схили тісно пов’язані з геологічною будовою території, зокрема з розташуванням стійких до розмивання порід. Крім того, наявність значних ухилів у місцях інтенсивного розвитку яружно-балкової системи, вказує на активні денудаційні процеси, що є типовим для регіонів із антропогенним навантаженням і розораністю.

Варто зазначити, що рівнинна морфоструктура басейну річки Самара в поєднанні з помірними ухилами (до 3°) забезпечує сприятливі умови для сільськогосподарського використання земель. Водночас, схили з крутизною понад 5 градусів потенційно небезпечні з точки зору ерозійної активності. Вони потребують особливої уваги з боку агроекологічного планування та протиерозійних заходів.

Узагальнюючи результати аналізу, можна стверджувати, що крутизна схилів в межах басейну Самари є рівномірною, з окремими локальними підвищеннями. Це відповідає загальним особливостям рівнинного типу рельєфу, де панують згладжені форми, а більш круті ділянки пов’язані переважно з денудаційними структурами. Картографування крутизни схилів дозволило не

лише просторово диференціювати територію, але й окреслити потенційні зони ризику з точки зору ерозії, підтоплень або інших небажаних природних процесів.

Отже, результати морфометричного аналізу крутизни схилів за допомогою засобів ГІС підтверджують високу ефективність цифрового моделювання рельєфу в регіональному аналізі. Отримані дані можуть стати основою для подальшої оцінки екологічного стану території, моделювання водного стоку, а також прогнозування небезпечних геоморфологічних процесів.

4.2. Аналіз експозиції схилів басейну річки Самара

Експозиція схилів є важливою морфометричною характеристикою рельєфу, яка визначає орієнтацію поверхні відносно сторін горизонту. Вона має суттєвий вплив на мікроклімат, особливості ґрунтового покриву, процеси ерозії та умови зволоження території. Саме тому її аналіз є необхідним етапом у вивченні морфометричних особливостей басейну річки Самара [Рис 4.2].

Згідно з побудованою картою експозиції схилів, отриманою за допомогою цифрової моделі рельєфу та засобів ГІС, територія басейну характеризується значною різноманітністю орієнтацій схилів. Модель має масштаб 1:1 600 000 і подає детальний розподіл експозицій за вісьмома основними напрямками: північ, північний схід, схід, південний схід, південь, південний захід, захід, північний захід, а також окремо виділені рівні ділянки без азимуту, що вказує на водні об’єкти.

Найбільшу площу в межах басейну займають схили північної та південної групи експозицій. Це зумовлено переважно рівнинним рельєфом території, напрямком течії річки із сходу на захід, а також характером водозбору, що має розгалужену систему приток, які розходяться у різних напрямках, але все ж таки впадають в основну річку, напрямок якої зазначено. Такий розподіл свідчить про

відносно симетричну будову басейну, де не спостерігається домінування якогось одного напряму експозиції [21] [35].

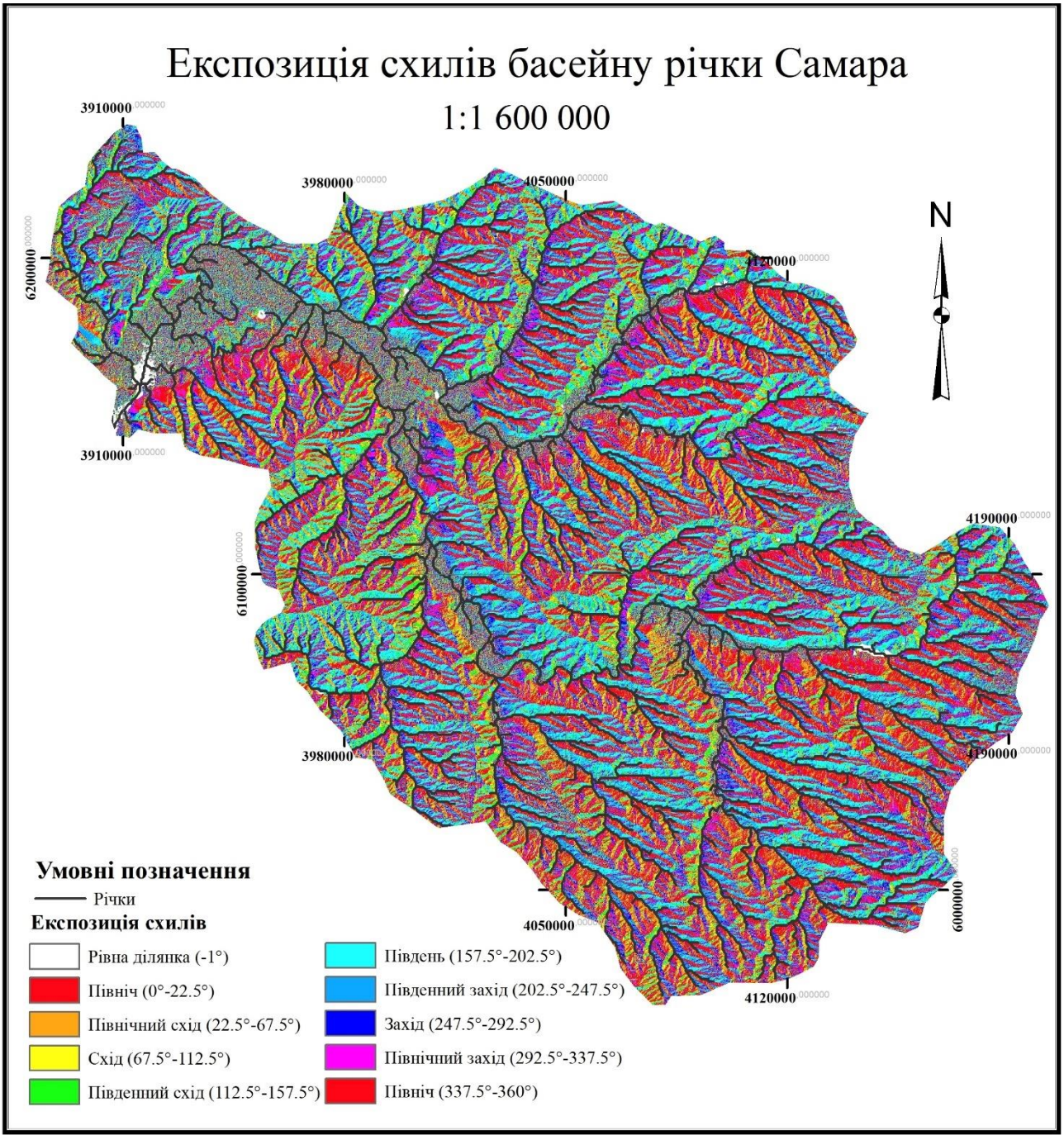

Рис 4.2. Експозиція схилів басейну річки Самара

Східні та західні групи схилів розподілені більш рівномірно, проте їхня частка відчутно менша, ніж у північних та південних напрямків. Це пов’язано з

особливостями денудаційних і акумулятивних процесів, що розвиваються в межах території та впливають на формування схилів певної орієнтації.

В межах північно-західної частини басейну бачимо дуже рясну зміну експозицій, де усі вони зливаються в окреме групування, напрям яких виокремити неможливо. Це пов’язано з розташуванням в цьому місці штучно створеної Самарської затоки, що характеризується активними ерозійними процесами та утворенням меандрів. Внаслідок цього можуть створюватись специфічні мікрокліматичні умови, що, своєю чергою, впливають на розвиток рослинності, ґрунтоутворення та подальше розповсюдження ерозійних процесів[46].

Рівнинні ділянки, що позначені на карті як зони з азимутом до 1°, є характерними для водної поверхні, які зустрічаються переважно в північно-західній частині басейну.

Особливо важливо відзначити, що експозиція впливає на кількість сонячного випромінювання, яка отримується схилами. Певні схили отримують більше сонця, що сприяє підвищеному випаровуванню і пересушенню ґрунтів, тоді як інші частіше залишаються в тіні і зберігають вологу довше.

Використання засобів геоінформаційного аналізу дозволило здійснити якісну візуалізацію та класифікацію експозиції схилів, що стало важливим кроком у морфометричному аналізі. На основі отриманих результатів можна зробити висновок про складну просторову структуру схилів басейну річки Самара, яка є наслідком поєднання природних геоморфологічних чинників.

Таким чином, аналіз експозиції схилів дав змогу детально охарактеризувати геоморфологічні особливості території, що є необхідним для комплексного дослідження рельєфу басейну та подальшого використання цих даних у прикладних цілях, таких як екологічне планування, аграрне освоєння чи запобігання природним ризикам.

4.3. Аналіз гіпсометричного профілю долини річки Самара

Останнім аналізом в даній роботі став – гіпсометричний профіль долини річки Самара. Він є одним із ключових інструментів у вивченні вертикальної структури рельєфу. Даний аналіз дозволяє наочно оцінити зміни висот по довжині певного відрізка території та простежити загальні тенденції в морфології місцевості за допомогою побудови моделей TIN.

Нерегулярні триангуляційні мережі (Triangular Irregular Networks - TIN) є способом цифрового відображення структури поверхні. TIN є формою векторних цифрових географічних даних, які будуються методом триангуляції набору вершин (точок). Вершини з'єднуються серією ребер і формують мережу трикутників. Існують різні методи інтерполяції для створення цих трикутників, наприклад, триангуляція Делоне. Ребра TIN утворюють неперервні, нерегулярні трикутники, які можуть використовуватися для генералізації рельєфу [23].

У межах цього дослідження було побудовано гіпсометричний профіль долини річки Самара на основі цифрової TIN моделі рельєфу (з показником Z tolerance 20), що була побудована у програмному середовищі ArcGIS, який проходить з півночі на південний захід – уздовж основної водної артерії басейну [Рис 4.3].

Рис 4.3. Гіпсометричний профіль долини басейну річки Самара.

Аналіз профілю демонструє значну мінливість висот протягом усього відрізку, діапазон яких від 60 до 200 метрів. Початкова частина профілю характеризується високими абсолютними відмітками висоти (понад 180 м), що відповідає витокам річки в підвищених частинах Придніпровської низовини. Тут спостерігаються круті схили та виразне вертикальне розчленування, що свідчить про активні процеси ерозії та значну розчленованість рельєфу.

У центральній частині профілю відмічається доволі різке зниження висот – до рівня приблизно 60-90 м. Саме ця ділянка демонструє найменшу вертикальну амплітуду, що вказує на більш згладжений рельєф і переважання акумулятивних процесів. Територія є менш розчленованою, адже тут пролягає основна долина Самари та річки Вовчої, де поширені алювіальні рівнини, сформовані під впливом тривалого осадонакопичення [8].

Останній відрізок профілю знову демонструє підвищення висот до 170-190 м, що пов'язано з виходом русла Самари на південно-західний відрізок водозбору, де рельєф набуває більш розчленованого характеру. Тут добре

виражені вододільні гряди та схили 2°-3°, що підтверджується зростанням амплітуди коливань профілю.

Таким чином, гіпсометричний профіль долини річки Самара відображає складну вертикальну структуру басейну, а саме: чергування підвищених та знижених ділянок, що формуються внаслідок взаємодії ерозійних і акумулятивних процесів. Загалом, як для Придніпровської низовини перепади висот є доволі відчутними, можна сказати різкими. Така будова свідчить про неоднорідну геологічну структуру території та різну інтенсивність морфогенезу в різних частинах басейну.

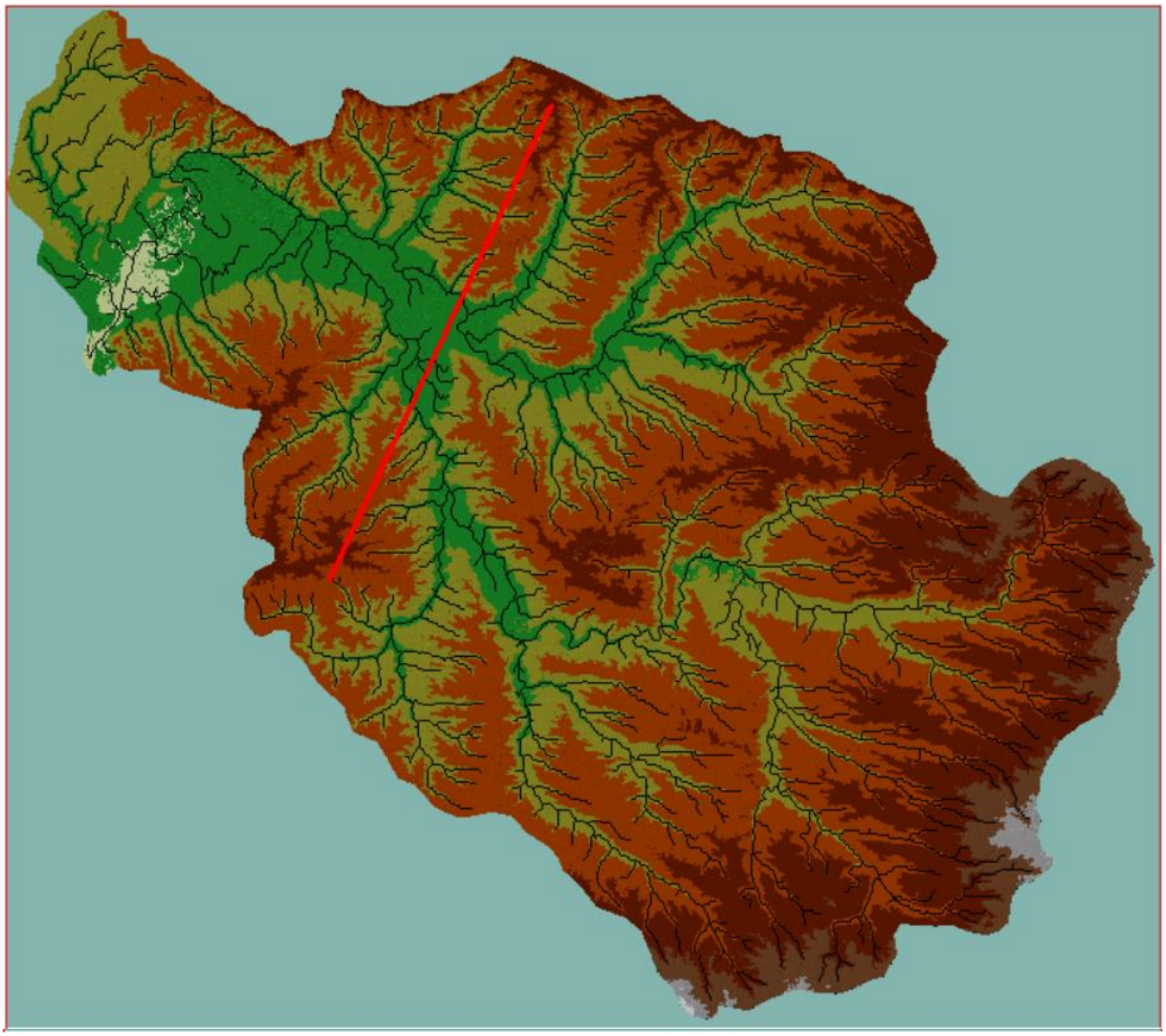

Рис 4.4. Скріншот з програмного середовища ArcGIS побудованої TIN моделі

Загалом, характер профілю підтверджує високий ступінь морфометричної різноманітності досліджуваної території. Отримані результати можуть бути використані для подальшого аналізу ерозійної небезпеки, оцінки потенціалу поверхневого стоку та планування природоохоронних заходів в межах басейну річки Самара.

В межах проведеного дослідження було здійснено комплексний морфометричний аналіз рельєфу басейну річки Самара із залученням засобів геоінформаційних систем, що дозволило з високою точністю визначити просторові закономірності морфологічної будови території, оцінити інтенсивність геоморфологічних процесів та простежити взаємозв'язки між окремими морфометричними показниками.

4.4. Загальний аналіз результатів побудованих моделей рельєфу басейну річки Самара.

Геоморфологічний аналіз показав, що басейн Самари характеризується значною морфологічною різноманітністю. У структурі рельєфу домінують чергування підвищених і знижених ділянок, сформованих у результаті взаємодії ерозійних, акумулятивних і антропогенних процесів. Виявлено наявність добре виражених вододілів, балкових систем, терас, схилів різної крутизни та експозиції. Вертикальна диференціація території, зокрема в межах гіпсометричного профілю долини Самари, підтверджує складну геологічну структуру регіону та його активну морфогенетичну динаміку.

Під час дослідження горизонтального розчленування рельєфу вдалося визначити зони з різним ступенем дренованості та активності ерозійних процесів. Встановлено, що максимальна щільність річкової мережі (до 1 км/км²) спостерігається у верхів'ях приток та вздовж основного русла Самари, що свідчить про високий ступінь горизонтального розчленування та ерозійного

розмиву. Ієрархічна структура водотоків (від 1 до 7 порядку за Стралером) демонструє добре сформовану гідрографічну систему, яка є важливим індикатором розвитку денудаційних процесів у регіоні [15].

Аналіз вертикального розчленування за допомогою інтерпольованих даних (методом Spline) виявив просторову мінливість амплітуд висот, дозволивши ідентифікувати найбільш фрагментовані зони рельєфу, де геодинамічні процеси мають найвищу інтенсивність. Це має особливу цінність для прогнозування ризиків, пов’язаних з ерозією, зсувами та іншими природними явищами, що негативно впливають на структуру гідрографічної мережі та ведення сільськогосподарської діяльності в межах досліджуваного водозбірного басейну[50].

Аналіз крутизни та експозиції схилів дав змогу визначити просторові закономірності розвитку схилових процесів, зокрема виявити ділянки з високим ризиком ерозії або пересихання ґрунтів. Окремі схили отримують більше сонячної радіації, що підвищує їхню температуру і сприяє активізації випаровування. Це важливо враховувати в агротехнічному плануванні, при забудові територій і встановленні зон екологічного ризику. Також варто враховувати алювіальний характер північно-західної частини басейну при плануванні робіт (як будівельних, так і сільськогосподарських) на даній ділянці місцевості.

Вивчення гіпсометричного профілю долини річки Самара показало, що структура профілю має характерні хвилеподібні коливання, що чергуються на фоні загального зниження висот у напрямку до гирла. Це підтверджує активну ерозійну діяльність річки, а також свідчить про складну взаємодію ендогенних та екзогенних чинників у формуванні рельєфу.

Значну увагу у дослідженні приділено антропогенним впливам, які суттєво змінюють природний ландшафт. Побудова водосховищ, зокрема Самарської затоки, призвела до затоплення частини долини, утворення нових водних

просторів, переформування заплав, порушення природної динаміки ґрунтових вод і локального зміщення гідрографічної мережі. Самарська затока дуже характерно виділяється на побудованих моделях вертикального розчленування та експозиції схилів. Такі трансформації мають як позитивні, так і негативні наслідки – з одного боку, вони забезпечують водопостачання та регулювання стоку, з іншого – провокують екологічні проблеми, пов’язані із забрудненням, підвищення ерозійних процесів та деградацією прилягаючих земель через змив верхнього шару ґрунтів [9].

ВИСНОВКИ

Якщо узагальнити отримані результати і відповісти на задачі, що були сформовані на початку цього дослідження, можемо відмітити наступні висновки по кожній з поставлених задач:

1. Проаналізовані попередні дослідження дозволили виявити ключові аспекти вивчення геоморфологічної структури басейну річки Самара, зокрема її морфометричні характеристики, вплив природних та антропогенних факторів на рельєф, а також використання сучасних технологій для просторового аналізу. Особливу увагу приділено результатам роботи Довганенка Д.О. та Шерстюка Н.П., які показали ефективність використання даних SRTM для визначення ухилів і експозицій схилів, що сприяло уточненню особливостей рельєфу басейну. Результати аналізу дозволили встановити, що більшість схилів мають пологу крутизну, тоді як зони з високими ухилами локалізуються переважно в районах видобутку корисних копалин.

Досвід використання систем Copernicus, що відрізняються високою точністю і актуальністю даних, є важливим для розширення методології дослідження басейну Самари. Аналогічний підхід у роботах M.L. Waikar та Aditya P. Nilawar, які проводили морфометричний аналіз басейнів в Індії, підкреслив значення ГІС-технологій у вивченні рельєфу для управління водними ресурсами, прогнозування ерозійних ризиків і оцінки стану екосистем.

Виявлені в ході попередніх досліджень особливості, такі як значна протяжність басейну, відносно невеликі середні ухили та різноманітна експозиція схилів, формують основу для подальшого комплексного аналізу геоморфологічних процесів у цьому регіоні.

2. Впроваджено окремі інструменти ГІС для аналізу просторових характеристик обраної області земної поверхні. В рамках кваліфікаційної роботи було обрано ЦМР Copernicus, яка була зроблена супутниками Sentinel. В ході

дослідження було встановлено, що саме ця ЦМР підходить найбільше для поставлених цілей роботи, адже вона має оптимальну роздільну здатність (30 метрів), добре підходить для аналізу рельєфу та регулярно оновлюється. Використання програмного забезпечення ArcGIS дозволило ефективно виконати морфометричний аналіз рельєфу басейну, оскільки функціонал, що пропонує обране програмне середовище, покриває потреби такого роду досліджень. Представлений у ArcGIS інструментарій є досить простим у використанні, що впливає на доступність цих досліджень і сприяє майбутнім пізнанням у галузі геоморфології. Побудова вище створених моделей є доволі ефективним інструментом аналізу майже будь якої області (виключенням можуть стати області з високим і крутим рельєфом, через недоліки ЦМР Copernicus), яка має науковий інтерес, або потребує подібних розрахунків для раціонального ведення господарства, будівництва, визначення небезпек тощо.

3. У ході дослідження побудовано детальні моделі морфометричних характеристик басейну річки Самара, зокрема горизонтального та вертикального розчленування рельєфу, крутизни й експозиції схилів, а також гіпсометричного профілю долини. Використання цифрових моделей рельєфу Copernicus і сучасних ГІС-технологій дозволило досягти високого рівня деталізації та точності.

Отримані дані є важливими для оцінки стану території, прогнозування ризиків ерозії, управління природними ресурсами та планування сталого використання земель. Виконане моделювання продемонструвало ефективність цифрового аналізу рельєфу для розуміння геоморфологічних особливостей басейну річки Самара.

4. Рельєф басейну річки Самара є значно розчленованим, особливо у північно-західній та центральній частинах, де щільність гідрографічної мережі сягає 0,8-1 км/км², що вказує на просторову неоднорідність дренажної мережі. Активні ерозійні процеси локалізуються на правих схилах долин, що пов'язано з

крутизною схилів (до 8°) та їх орієнтацією, що сприяє інтенсивному стіканню води. Результати вертикального розчленування вказали на значну морфогенетичну активність у центральних та північних ділянках басейну. Експозиція схилів демонструє симетричність розподілу між північними та південними напрямками, що впливає на мікроклімат і зволоження ґрунтів, а в межах Самарської затоки – аномальні показники через антропогенний вплив. Гіпсометричний профіль долини річки Самара показав хвилеподібний характер із чергуванням високих (до 200 м) та низьких (60-90 м) ділянок, що вказує на активну ерозійно-акумулятивну діяльність. За результатами побудованих моделей підтверджено алювіальний характер ландшафту північно-західних долин, а також долин в центральній частині басейну.

Таким чином, виконана робота підтвердила, що використання цифрових моделей рельєфу у поєднанні з ГІС-аналітикою є ефективним інструментом для глибокого, точного та багаторівневого аналізу рельєфу територій. Вона має не лише наукову цінність, а й практичне значення для вирішення прикладних завдань у географії, екології, ландшафтному плануванні та суміжних дисциплінах.

Отримані результати можуть бути використані як база для подальших досліджень басейнів річок і не тільки, особливо у контексті сталого управління природними ресурсами, прогнозування геоморфологічних ризиків та збереження екосистеми басейну річки Самара.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вишневський В. І. Річки і водойми України: стан і використання. – Київ: Віпол, 2000. 376 с.

2. Вишневський В. І., Косовиць О. О. Гідрологічні характеристики річок України. – Київ: Ніка-Центр, 2003. 324 с.

3. Іщук О. О., Коржнев М. М., Кошляков О. С. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: навч. посібник / за ред. акад. Д. М. Гродзинського. – Київ: ВПЦ «Київський університет», 2003. 200 с.

4. Козаченко Т. І., Пархоменко Г. О., Молочко А. М. Картографічне моделювання / [за ред. А. П. Золовського]. – Вінниця: Антекс-У ЛТД, 1999. 328 с.

5. Масляк Т. О., Шищенко П. Географія України. – Київ: Зодіак-Еко, 2000. 428 с.

6. Малі річки України: довідник / А. В. Яцик, Л. Б. Бишовець, Е. О. Богатов та ін. – Київ: Урожай, 1991. 294 с.

7. Шипулін В. Д., Кучеренко Е. І. Планування і управління ГІС-проектами: навч. посібник / Харків. нац. акад. міськ. госп-ва, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків: ХНАМГ, 2009. 158 с.

8. Байрак Г. Висвітлення морфометричних показників рельєфу методами ArcGIS // Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій. – Львів: Видавничий центр ЛНУ, 2008. 134 с.

9. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем / Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків: ХНАМГ, 2012. 312 с.

10. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2017. 237 с.

11. Козаченко Т. І. Інтеграція функцій картографічного моделювання і ГІС-аналізу в геоінформаційних системах при суспільно-географічних дослідженнях // Укр. геогр. журн. – 2004. 108 с.

12. Бондар О. І., Фінін Г. С., Унгурян П. Я., Шевченко Р. Ю. Дистанційні методи моніторингу довкілля: навч. посібник. – Київ, 2019. 298 с.

13. Бурштинська Х. В., Станкевич С. А., Денис Ю. В. Фотограмметрія та дистанційне зондування. Книга 2: підручник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 216 с.

14. Зацерковний В. І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи: навч. посібник. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2018. 380 с.

15. Кохан С. С., Востоков А. Б. Дистанційний моніторинг земельних ресурсів: навч. посібник. – Київ: ЦП «Компринт», 2018. 263 с.

16. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч. посібник / С. О. Довгий, В. І. Лялько, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О. В. Томченко, Л. Я. Юрків. – Київ: Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. 316 с.

17. Стецюк В. В., Ковальчук І. П. Основи геоморфології: навч. посібник / за ред. О. М. Маринича. – Київ: Вища школа, 2005. 495 с.

18. Байрак Г. Методи геоморфологічних досліджень: навч. посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2018. 292 с.

19. Андрейчук Ю. Використання ГІС для оцінки впливу морфометричних характеристик рельєфу на потенціал ерозійної небезпеки (на прикладі басейну р. Коропець) // Сучасні проблеми і тенденції розвитку географічної науки. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003. 401 с.

20. Кравчук Я. Геоморфологічне картографування: навч. посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2006. 176 с.

21. Карта річкових басейнів України. *Державне агентство водних ресурсів України*. URL: https://dpbuvr.gov.ua/baseynova-karta-ukrainy/ (дата звернення: 24.05.2025).

22. Грачев А. Геоморфологічна карта України. *Карти України*. URL: https://geomap.land.kiev.ua/geomorph.html (дата звернення: 24.05.2025).

23. ArcGIS Desktop. *esri*. URL: https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm (date of access: 24.05.2025).

24. OpenStreetMap. URL: https://www.openstreetmap.org/#map=9/48.561/35.511 (дата звернення: 24.05.2025).

25. Черкас Б. В. Дніпровська міська рада. *Самара - брама Європи в степ*. URL: https://etnoparky.dniprorada.gov.ua/researches/samara-brama-evropi-v-step-0 (дата звернення: 24.05.2025).

26. Клименко В.Г. Гідрологія України: Навчальний посібник для студентів-географів / В.Г. Клименко. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2010. - 124 с.

27. ЗАКОН УКРАЇНИ Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року. *Верховна рада України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4836-17#Text (дата звернення: 24.05.2025).

28. Екологічний паспорт Дніпропетровської області. *Дніпропетровська обласна державна адміністрація*. URL: https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/Pro%20oblast/Ekolohiia/Rehionalna%20dopovid%20ta%20Ekolohichnyi%20pasport/ekologiya%20pasport/2023/_паспорт_Дніпропетровської_області_за_2023_рік.pdf#page=41.13 (дата звернення: 24.05.2025).

29. Жданюк Б. С. Побудова цифрових моделей рельєфу та визначення інших морфометричних параметрів Мізоцького кряжу засобами ГІС. *Часопис картографії*. 2012. Т. 5. С. 88–97.

30. Марчак А. Методика морфометричного аналізу рельєфу басейнових систем гірських територій засобами гіс-технологій (на прикладі басейну р. Прут у межах Чорногори). *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2012. Ч. 2, № 40. С. 68–90.

31. Мкртчян О. Автоматизована еколого-морфометрична класифікація рельєфу басейну Чорної Тиси / О. Мкртчян // *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій* : зб. наук. праць. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – Вип. 1(6). – С. 173–184.

32. Singh P., Thakur J. K., Singh U. C. Morphometric analysis of Morar River Basin, Madhya Pradesh, India, using remote sensing and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*. 2012. Т. 68, № 7. С. 1967–1977. URL: https://doi.org/10.1007/s12665-012-1884-8 (дата звернення: 30.05.2025).

33. Waikar M. L., Nilawar A. P. Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system: a case study //*Int J Multidiscip Curr Res.* – 2014. – Т. 2. – №. 2014. – С. 179-184.URL: https://ijmcr.com/wp-content/uploads/2014/02/Paper32179-184.pdf (дата звернення: 24.05.2025).

34. Шакірзанова Ж. Р. Сучасний водний режим деяких Причорноморських лиманів у весняний період року //*Фізична географія та геоморфологія*. – 2015. – Т. 1. – №. 77. – С. 103-110.

35. Довганенко Д. О., Шерстюк Н. П. Про розрахунок деяких морфометрических показників земної поверхні в басейні р. Самара за даними супутникових знімків. *Фізична географія та геоморфологія*. 2015. Вип. 1(77). С. 96–103.

36. Порівняння цифрових моделей рельєфу: SRTM, ASTER та Copernicus DEM. *Portalgis.pro*. URL: https://portalgis.pro/kosmoznimki/porivnyannya-

czyfrovyh-modelej-relyefu-srtm-aster-ta-copernicus-dem/ (дата звернення: 24.05.2025).

37. Yadav U., Tripathi M. P. Morphometric Analysis of the Hasdeo Subbasin Using Alos Palsar Imagery. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023. Т. 13, № 5. С. 213–223. URL: https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i51762 (дата звернення: 31.05.2025).

38. Varshney A., Shukla D. S. Morphometric Analysis in Varuna River Basin: A Geoinformatics Based Analysis. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2022. Т. 10, № 3. С. 343–350. URL: https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.40642 (дата звернення: 31.05.2025).

39. Oguchi T., Ohmori H. Analysis of relationships among alluvial fan area, source basin area, basin slope, and sediment yield. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 1994. Т. 38, № 4. С. 405–420. URL: https://doi.org/10.1127/zfg/38/1994/405 (дата звернення: 31.05.2025).

40. Кравець О. Я. Цифрове моделювання ерозійно небезпечних земель з використанням методу пластики рельєфу. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2021. Т. 31, № 2. С. 103–107. URL: https://doi.org/10.36930/40310217 (дата звернення: 31.05.2025).

41. Сінна О. І. ГІС-аналіз антропогенної перетвореності ландшафтів Зміївського району Харківської області. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2013. Вип. 17. С. 52–56.

42. Машкова К. А., Шарамок Т. С. Сучасний стан гідрохімічних показників води річки Самара Дніпропетровської області. *Сучасні проблеми раціонального використання водних біоресурсів*. 2023. С. 99–103.

43. Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS / J. D. Jiménez-Perálvarez та ін. *Natural Hazards*. 2008. Т. 50, № 3. С. 571–590. URL: https://doi.org/10.1007/s11069-008-9305-8 (дата звернення: 31.05.2025).

44. Кочет В. М., Христов О. О., Загубіженко Н. І. Проблема скиду шахтних вод у р. Самара в контексті впливу на біотичні компоненти її екосистеми. *Biosystems Diversity*. 2006. Т. 2, № 14. С. 19.

45. Оніщенко В. І., Дворецький А. І. Мікроелементний склад скидних шахтних вод в басейн річки Самара. *Питання біоіндикації та екології*. Запоріжжя, 2005. С. 119–123.

46. A river system modelling platform for Murray-Darling Basin, Australia / A. Yang та ін. *Journal of Hydroinformatics*. 2012. Т. 15, № 4. С. 1109–1120. URL: https://doi.org/10.2166/hydro.2012.153 (дата звернення: 31.05.2025).

47. Kabite G., Gessesse B. Hydro-geomorphological characterization of Dhidhessa River Basin, Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*. 2018. Т. 6, № 2. С. 175–183. URL: https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.02.003 (дата звернення: 31.05.2025).

48. Черлінка В. Р. Вплив роздільної здатності цифрових моделей рельєфу на якість предикативної симуляції ґрунтового покриву. *Fundamental and Applied Soil Science*. 2018. Т. 18, № 1-2. С. 79–95. URL: https://doi.org/10.15421/041709 (дата звернення: 31.05.2025).

49. Руль Н. В. Аналіз методів побудови ЦМР засобами геоінформаційних систем. 2020. URL: http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/41610 (дата звернення: 31.05.2025).

50. Дягілєв А. В. Метод сплайн-інтерполяції для уточнення моделі рельєфу за даними відомих координатно-висотних профілів. 2015. URL: http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/41194 (дата звернення: 31.05.2025).