

Міністерство освіти і науки України Чернівецький національний
університет імені Юрія Федьковича Географічний факультет
Кафедра географії України та регіоналістики

**ГІДРОЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ РІЧКИ
БРУСНИЦЯ З ВИКОРИСТАННЯМ QGIS**

Дипломна робота

Рівень вищої освіти - другий (магістерський)

Здобувача 2 курсу, 617 групи

Спеціальності 103 Науки про Землю

ОП «Гідрологія»

Палагнюка Івана Васильовича

Керівник: доц.,к.геогр.н. Пасічник М.Д.

До захисту допущено:

Протокол засідання кафедри №22 від 25.11 2024р.

зав. кафедри проф. Косташук І.І.



Чернівці - 2024

АНОТАЦІЯ

Палагнюка Івана Васильовича

Здобувача другого (магістерського) рівня вищої освіти

**галузі знань 10 - Природничі науки, спеціальності 103 - Науки про Землю,
ОПП «Гідрологія»**

**кафедри географії України та регіоналістики Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича, м. Чернівці, Україна**

ГІДРОЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ РІЧКИ БРУСНИЦЯ З ВИКОРИСТАННЯМ QGIS

Анотація. Дана дипломна робота присвячена гідроекологічній характеристиці басейну річки Брусниця з використанням геоінформаційних технологій у середовищі QGIS. Основною метою роботи є створення цифрової бази даних, яка містить просторову інформацію про гідрологічні та геоморфологічні характеристики території, а також моделювання мережі каналів та водозбірних басейнів. Застосування інструментів QGIS та SAGA GIS дозволяє провести детальний аналіз гідрологічних характеристик басейну річки, використовуючи дані цифрової моделі рельєфу (DEM). У процесі дослідження створено моделі потоку, порядку річкових каналів та визначено межі водозборів, що забезпечує глибше розуміння гідрологічної структури території. Дане дослідження є апробацією методів гідрологічного моделювання в умовах України та демонструє можливості використання сучасних ГІС-технологій для вивчення екологічного стану малих річок та управління водними ресурсами.

Ключові слова: гідроекологічна характеристика. QGIS, SAGA, річковий басейн.

ABSTRACT

Palahniuk Ivan Vasyliovych

Applicant of the second (master's) degree of higher education in the field of knowledge 10 - Natural sciences, specialty 103 - Earth sciences, educational program «Hydrology»

of the Department of Geography of Ukraine and Regional Studies at the Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

HYDROECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE BRUSNITSA RIVER BASIN USING QGIS

Abstract. This thesis is dedicated to the hydro-ecological characterization of the Brusnytsia River basin using geoinformation technologies in the QGIS environment. The main objective of the study is to create a digital database containing spatial information on the hydrological and geomorphological characteristics of the area, as well as modeling the channel network and drainage basins. The use of QGIS and SAGA GIS tools enables a detailed analysis of the hydrological features of the river basin based on digital elevation model (DEM) data. The research process involved the creation of flow models, river channel order, and the delineation of watershed boundaries, providing a deeper understanding of the area's hydrological structure. This study serves as a trial of hydrological modeling methods in Ukrainian conditions and demonstrates the potential of modern GIS technologies for studying the ecological state of small rivers and managing water resources.

Keywords: hydroecological characteristics, QGIS, SAGA, river basin.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів наукових досліджень інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



І.В. Палагнюк

(підпис)

ЗМІСТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД	9
1.1 Аналіз наукових праць присвячених дослідженню гідроекологічного стану поверхневих вод	9
1.2 Методика гідроекологічної оцінки стану малих річок досліджуваного району	12
Висновки до розділу 1	15
РОЗДІЛ 2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО РАЙОНУ	17
2.1 Тектонічно – геологічна будова	18
2.2 Рельєф та геоморфологічні особливості території	19
2.3 Кліматичні особливості території району	21
2.4 Гідрографічні особливості території дослідження	22
2.5 Ґрунти і рослинний покрив	24
Висновки до розділу 2	26
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ВОДОЗБОРУ І РІЧКОВОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ SAGA GIS ТА QGIS 3.22	29
3.1. Огляд інструментів для гідрологічного моделювання в QGIS	29
3.2. Вивчення гідрологічних інструментів у QGIS та SAGA GIS	31
3.3. Матеріали та методи дослідження	32
3.4. Апробація гідрологічного інструментарію SAGA на прикладі басейну річки Брусниця.	37
3.4.1. Використання інструментарію «Catchment Area/ Площа водозбору»	44
3.4.2. Використання інструментарію «Channel Network and Drainage Basins / Мережа каналів та дренажні басейни» для дослідження басейну річки Брусниця	49
Висновки до розділу 3	56
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62
ДОДАТКИ	66

ВСТУП

Брусницький фізико-географічний район є одним із найрозвинутіших в економічному плані. Вагоме значення як для подальшого розвитку сільського господарства і промисловості загалом, так і для добробуту населення, що тут проживає зокрема, відіграють водні ресурси. Відповідно стан поверхневих і підземних вод та їх запаси необхідно вивчати, знаходити нові методи та способи мінімізації антропогенного навантаження, всебічно використовувати та зменшити вплив на них.

В останні десятиріччя все більше уваги приділяється дослідженню проблем малих річок України. Це пов'язано не тільки з необхідністю реалізації загальної природозберігаючої стратегії використання водних ресурсів, але й з усвідомленням ролі малих водних об'єктів у функціонуванні середніх і великих річок.

Більшість людей, на жаль, байдужі до стану довкілля, до екологічних проблем своєї місцевості переважно через своє невігластво та брак доступної інформації щодо стану довкілля. Тому особливої актуальності сьогодні набувають екологічні дослідження стану поверхневих вод та екологічна освіта населення. Тому наша робота є актуальною та має практичне значення.

Метою роботи було передбачено аналіз гідрологічних показників та екологічна оцінка Брусницького грядо-котловинного, лісо-лучного району Чернівецької області, а також проведення моделювання водозбору та річкової мережі з використанням QGIS.

Об'єктом дослідження виступають поверхневі води Брусницького грядо-котловинного, лісо-лучного району (в тому числі басейн річки Брусниця).

Предметом дослідження виступає гідроекологічний стан поверхневих вод Брусницького грядо-котловинного, лісо-лучного району Чернівецької області, зокрема басейну річки Брусниця, а також методика моделювання водозбору та річкової мережі за допомогою інструментів QGIS 3.22 та SAGA GIS.

Відповідно до мети перед нами було поставлено такі завдання:

- 1) опрацювати теоретико-методологічні основи дослідження малих річок та обрати методику їх гідроекологічної характеристики;
- 2) проаналізувати фізико-географічні умови з точки зору впливу цього фактору на формування водних ресурсів на даній території;
- 3) провести гідроекологічну характеристика поверхневих вод досліджуваного району;
- 4) описати методику проведення дослідження та сформувати цифрову базу даних по басейну річки Брусниця з використанням інструментів QGIS 3.22 та SAGA GIS, яка міститиме дані про водозбірні басейни, напрямки стоків, канали та інші гідрологічні характеристики.

Методологічною основою для проведення дослідження та написання роботи стали Закони України про охорону водних об'єктів, Водна Рамкова Директива ЄС, а також використання сучасних геоінформаційних технологій для моделювання рельєфу та аналізу водозбірних басейнів. Нормативні акти визначають основні принципи і підходи до управління водними ресурсами, інтегрованого підходу до планування басейнів та охорони водних екосистем, забезпечуючи регуляторну базу для захисту та раціонального використання водних ресурсів. Для практичної реалізації дослідження використовувалися інструменти QGIS та SAGA GIS, які дозволяють моделювати рельєф, аналізувати напрямки потоків, межі водозбірних басейнів та структуру річкових мереж. Вибір методів і параметрів у цих програмних середовищах ґрунтувався на сучасних принципах гідрологічного аналізу цифрових моделей рельєфу. Поєднання правових основ і технологічних інструментів дозволило створити об'єктивну та детальну модель водозбору басейну річки Брусниця, що відповідає вимогам сталого управління водними ресурсами та забезпечує точність аналізу просторових характеристик басейну.

При написанні роботи використовувались наступні методи дослідження: літературно-описовий, картографічний, гідролого-гідрохімічний, гідробіологічний, польових спостережень, використання цифрової моделі рельєфу (DEM) для моделювання водозборів та річкової мережі, застосування

інструментів заповнення западин (Fill Sinks) для усунення похибок у DEM, розрахунків напрямку потоку води (Flow Direction), визначення гідрологічного порядку каналів (Strahler Order), ідентифікація меж водозбірних басейнів (Drainage Basins), а також побудова мереж каналів та їх вузлів для аналізу структури стоку в басейні, та інші.

Інформаційною базою для написання роботи слугували фондові матеріали управління держспродспожив служби у Кіцманському районі, державної екологічної інспекції в Кіцманському районі, результати власних досліджень, літературні джерела та картографічні матеріали.

Уточнення об'єкту дослідження. Для дослідження гідроекологічного стану поверхневих вод нами було обрано такі річки як Брусниця із своєю притокою, річкою Брусенка, Чорторийські озера та підземні води.

Результати роботи мають практичне значення і можуть використовуватися для розробки програми екологічного та збалансованого розвитку території Кіцманського району, при проведенні різних заходів з екологізації населення та його залучення до екологічних акцій.

Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

1.1. Аналіз наукових праць присвячених дослідженню гідроекологічного стану поверхневих вод

Проблема дослідження екологічного стану малих річок почала активно розглядатися ще на початку 1980-х років. У цей період провідні наукові установи та університети колишнього СРСР розпочали систематичні дослідження малих річок, зокрема руслових процесів та екологічного стану водотоків. В Україні ці питання вивчають науковці Київського університету, серед яких можна виділити О.Г. Ободовського, Є.С. Цайца, І.П. Шуляренка, а також фахівці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, Інституту водно-екологічних проблем та інших установ. Малі річки західного регіону країни є предметом досліджень Львівського університету (І.П. Ковальчук, П.І. Штойко), Волинського та Чернівецького університетів. Серед зарубіжних дослідників, які вивчали екологічний стан річок у сусідніх країнах, слід відзначити В.І. Нікору, Н.А. Арнаута (Молдова) та В.М. Широкова (Білорусь).

Дослідження в галузі гідрохімії та гідроекології мають понад двохсотлітню історію. В Україні провідними науковими центрами у цій сфері є кафедра гідрології, гідрохімії та гідроекології Київського національного університету імені Тараса Шевченка, представлена видатними науковцями, серед яких В. Пелешенко, Л. Горев, Д. Закревський, В. Хільчевський, С. Сніжко, М. Ромась, О. Ободовський, В. Самойленко та інші. Значний внесок у дослідження роблять також Інститут гідробіології НАН України (В. Романенко, А. Брагінський, В. Жукінський, В. Тімченко, П. Линник, О. Денисова), Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут (В. Осадчий, О. Войцехович), а також Інститут водно-екологічних проблем (А. Яцик, А. Чернявська), Інститут екологічних проблем у Харкові (В. Лозанський, О. Васенко, Г. Кузін, В. Магмедов) та інші.

Дослідницька діяльність охоплює й університети західного та південного регіонів країни (Львівський, Чернівецький, Одеський державний екологічний університет), а також Інститут гідротехніки та меліорації УААН. За результатами цих досліджень опубліковано численні монографії, збірники наукових праць і статті, серед авторів яких В. Пелешенко, О. Кононенко, В. Хільчевський, Л. Горев, М. Ромась, С. Сніжко, О. Ободовський, Д. Закревський, А. Яцик, В. Самойленко, О. Войцеховський, В. Вишневський, В. Тімченко та інші. Ці роботи є вагомим внеском у розвиток гідроекологічної науки та вирішення актуальних проблем, пов'язаних із екологічним станом малих річок.

Перші праці, в яких аналізуються річкові долини з ландшафтно-географічних позицій, з'явилися на початку та у 20-30-х роках ХХ ст. (С. Рудницький, Е. Ромер, А. Реман, А. Борзов, Л. Берг, В. Глушков та ін.), але інтенсивного розвитку набули у другій половині ХХ ст. Спеціалізовані ландшафтно-географічні дослідження річкових долин України проводили О. Маринич, К. Геренчук, Г. Швебс, Т. Борисевич, Б. Нешатаєв, Г. Денисик, П. Шищенко, В. Пащенко, М. Гродзинський, А. Мельник та інші вчені.

У 60-90-х роках ХХ ст. багато уваги приділялося створенню водосховищ і ставків, будівництву гідроелектростанцій, зрошувальних систем і каналів, підвищенню рівня використання водотransпортного потенціалу річок, вирішенню ландшафтно-геохімічних, геоecологічних, гідроекологічних проблем річкових систем та оптимізації стану басейнових ландшафтів, у структурі яких чільне місце займають сільськогосподарські, а також протиерозійній організації території.

Цими проблемами опікувалися вчені Київського державного (тепер національного), Львівського, Одеського, Харківського, Чернівецького, Дніпропетровського та Волинського державних (тепер національних) університетів, Інституту Географії НАН України, УкрНДГМІ, Інституту Гідробіології НАН України та ін.

Дослідження супроводжувалися ландшафтним картографуванням, а у 90-ті на початку ХХІ ст. широким використанням аерокосмічних методів,

постановкою спеціалізованих галузево-географічних вишукувань, геоекологічною експертизою ландшафтів, проектів, споруд, ГІС-моделюванням аналізованих об'єктів і систем. Вони є суттєвим внеском географічної науки у забезпечення функціонування господарства, охорону природи, захист поселень, угідь і населення від екстремальних процесів, оптимізацію умов життя.

Слід зазначити, що проблемою дослідження річок, в тому числі й малих, у Чернівецькій області займаються науковці кафедри гідроекології, водопостачання та водовідведення. Тут слід відзначити таких науковців як Кирилук М.І., Ющенко Ю.С., Явкін В.Г., Соловей Т.В., Гончар О.М., Кирилук О.В., Пасічник М.Д., Опеченик В.М. та інші. Їх праці присвячені дослідженню руслових трансформаційних процесів, екологічного стану річок, проблемам раціонального водокористування та охорони малих річок від антропогенного впливу.

Оцінка антропогенного навантаження на річкові долини може бути проведена за методикою, розробленою К.Г. Гофманом та вдосконаленою в роботах П.Г. Шищенка. Ця методика базується на аналізі антропогенної перетвореності за десятьма основними видами впливу, кожен з яких отримує відповідний ранг та індекс. Такий підхід дозволяє детально оцінити ступінь антропогенного впливу на річкові екосистеми.

Прикладом раціонального підходу до управління малими річками та збереження водних ресурсів на макрорегіональному рівні є Водна Рамкова директива Європейського Союзу, прийнята у 2000 році. Цей документ визначає ключові принципи управління водними ресурсами, а також пропонує шляхи досягнення високої якості води та безпечного стану річок і водойм. Одним із головних принципів, закладених у директиві, є інтегрована басейнова модель управління водними ресурсами. Ця модель передбачає координацію дій між усіма державами, які розташовані в межах одного річкового басейну, з метою спільного вирішення екологічних проблем.

Для ефективного вирішення екологічних проблем малих річок велике значення має державна політика, а також зусилля окремих регіонів. Основу

нормативно-правового регулювання в Україні становлять Водний кодекс України, Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" та інші акти, що встановлюють правовий режим малих річок. На загальнодержавному і місцевому рівнях ухвалюються програми, спрямовані на охорону та збереження річкових екосистем. Зокрема, у Чернівецькій області в 2008 році Чернівецька обласна рада прийняла комплексну програму "Програма охорони і збереження малих річок та озер в Чернівецькій області на 2009-2015 роки". Ця програма спрямована на реалізацію заходів щодо поліпшення екологічного стану річок та водойм області, що є важливим елементом регіональної екологічної політики.

1.2 Методика гідроекологічної оцінки стану малих річок досліджуваного району

Результати комплексного дослідження екологічного стану малих річок можуть бути достовірними лише за умови узгодженого використання польових та камеральних методів аналізу. Усі етапи вивчення малих річок умовно можна поділити на чотири: підготовчий, польовий, аналітичний та прогностичний.

На підготовчому етапі відбувається ретельне планування дослідження. Науковцями визначаються об'єкт і предмет дослідження, формулюється мета та завдання роботи, а також здійснюється попередній огляд літературних джерел, картографічних матеріалів і доступної інформації про досліджувану територію. Метою дослідження зазвичай є отримання даних про екологічний стан водного об'єкта або його берегів, що можуть бути передані зацікавленим сторонам, як-от органам державного управління або громадськості. Такі дані слугують основою для розробки заходів, спрямованих на покращення екологічної ситуації. Крім того, польові дослідження мають важливу освітню та виховну функцію, формуючи екологічну свідомість.

Вибір об'єкта дослідження тісно пов'язаний із метою роботи. Якщо кінцевою метою є поліпшення екологічного стану річки чи її відновлення,

зазвичай застосовується басейновий підхід. Окрім цього, на етапі планування визначаються характеристики та показники, які необхідно вивчити. Попередній аналіз ситуації дозволяє скласти перелік параметрів, що підлягають дослідженню, а також зібрати всю доступну інформацію про річкову систему з літератури, звітів та картографічних джерел. Зокрема, для створення уявлення про гідрографію річки, вплив господарських об'єктів і зон забруднення використовують топографічні карти масштабу 1:200 000 або 1:100 000. Для визначення землевласників або водоохоронних зон доцільно застосовувати карти-схеми землекористування та лісових угідь масштабу 1:10 000.

Для більшої ефективності досліджень рекомендується створити окрему карту досліджуваної річки. На такій карті можна позначити русло основної річки, її притоки, озера, стариці, джерела, населені пункти та межі басейну. Під час польових робіт на карту наноситься маршрут спостережень, точки відбору проб, джерела забруднення та інші важливі об'єкти. Це значно полегшує аналіз та планування подальших дій.

Загальне знайомство з об'єктом дозволяє скласти перелік параметрів для спостережень. Окрім універсальних показників, існує низка специфічних, які описують основні характеристики саме досліджуваної річки. Їх вибір залежить від чинників, що впливають на екологічний стан водойми, і може уточнюватися в ході роботи. Таким чином, узгоджений підхід до планування, використання картографічних матеріалів та проведення спостережень забезпечує якісне виконання наукових досліджень і досягнення поставленої мети.

Другий етап досліджень — польові роботи — є одним із найважливіших у вивченні екологічного стану малих річок, адже від якості зібраної інформації залежить об'єктивність та достовірність отриманих результатів. Дослідження на місцевості проводяться вздовж визначеного маршруту. Перед початком роботи дослідник має орієнтуватися на місцевості та зафіксувати на карті своє розташування, а також позначити всі точки та створи, де виконуються дослідження або відбираються проби для гідрохімічного аналізу. Кожна точка позначається цифрою відповідно до порядку руху маршрутом.

Під час польових робіт обов'язковим є ведення щоденника, куди записуються всі важливі деталі дослідження. Окрім природних особливостей басейну малої річки, дослідники також аналізують господарське використання території та його екологічні наслідки, такі як місця розташування джерел забруднення, господарські будівлі, звалища, бетоновані береги тощо. Щоденник доповнюється малюнками, планами окомірної зйомки та фотографіями.

Зібрані дані аналізуються як безпосередньо в полі, так і в камеральних умовах після повернення з дослідницького маршруту.

На третьому, аналітичному етапі, відбувається обробка та систематизація даних із використанням різних наукових методів. У наших дослідженнях ми застосували такі методи:

1. Метод гідрологічної аналогії використовується для прогнозування змін режиму водного об'єкта на основі аналізу років-аналогів із подібними характеристиками гідрометеорологічних факторів. Також цей метод дозволяє оцінювати основні характеристики гідрологічного режиму невивчених об'єктів на основі даних про об'єкти-аналоги в схожих фізико-географічних умовах.

2. Експериментальний метод передбачає моделювання реальних або можливих ситуацій для вивчення процесів, таких як формування русла річки, танення льоду, інфільтрація води в ґрунт тощо.

3. Метод статистичних випробувань дозволяє створювати багаторічні ряди гідрологічних характеристик за допомогою таблиць випадкових величин і кривих забезпеченості досліджуваної величини.

4. Математичне моделювання використовується для створення моделей, що дозволяють аналізувати характеристики досліджуваного об'єкта та прогнозувати його майбутній стан.

5. Метод водного балансу базується на законах збереження матерії, де аналізується співвідношення приходу та витрати вологи за певний період на визначеній території.

На заключному, четвертому етапі, нами були розроблені конкретні шляхи для покращення екологічного стану поверхневих вод у межах Кіцманського

району. Ці заходи спрямовані на зменшення антропогенного впливу, відновлення водних ресурсів та покращення екологічної ситуації в регіоні.

Висновки до розділу 1

Наукові дослідження гідроекологічного стану поверхневих вод в Україні мають глибокі історичні корені, проте особливої актуальності вони набули в період загострення екологічної кризи малих річок, починаючи з 80-х років XX століття. У цей період були розроблені й удосконалені численні методи та підходи до дослідження малих річкових систем, які дозволили проводити комплексну оцінку їх екологічного стану та розробляти практичні заходи з покращення ситуації.

У межах нашого дослідження було обґрунтовано чотири основних етапи роботи: підготовчий, польовий, аналітичний та прогностичний. Кожен із цих етапів дозволив виконати комплексний аналіз стану досліджуваних об'єктів відповідно до поставленої мети й завдань.

На підготовчому етапі ми здійснили планування дослідження, визначили об'єкт, мету та завдання, зібрали доступну інформацію, зокрема картографічні матеріали, літературні джерела та звіти про обстеження малих річок. Цей етап дозволив підготувати основу для ефективного проведення польових робіт.

Другий, польовий етап, був одним із ключових у дослідженні, оскільки саме зібрані в полі дані забезпечують об'єктивність оцінки. Маршрути досліджень прокладалися вздовж досліджуваних річок, і на місцевості ми позначали всі точки спостережень, джерела забруднення, брали проби води та фіксували інформацію у польовому щоденнику. Окрім того, для більшої точності створювали детальні карти, які включали русла річок, притоки, водойми, населені пункти, джерела забруднення та інші особливості.

На аналітичному етапі зібрані дані були опрацьовані з використанням сучасних методів дослідження, зокрема методу гідрологічної аналогії, математичного моделювання, експериментального підходу, методів водного

балансу та статистичних випробувань. Ці методи дозволили здійснити оцінку стану водних об'єктів, спрогнозувати їх розвиток і виявити ключові чинники, які впливають на їх екологічний стан.

На четвертому, прогностичному етапі, ми розробили рекомендації щодо покращення екологічного стану поверхневих вод, зокрема в межах Кіцманського району. Запропоновані заходи включають удосконалення системи управління водними ресурсами, відновлення природного стану річкових басейнів, впровадження протиерозійних заходів і покращення систем очищення вод.

Таким чином, проведений комплекс робіт дозволив не лише детально вивчити гідроекологічний стан малих річок, але й запропонувати практичні рішення для покращення їх екологічного стану, що має важливе значення для сталого природокористування та збереження водних ресурсів України.

РОЗДІЛ 2

ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО РАЙОНУ

Кіцманський район розташований у північно-західній частині Чернівецької області та займає площу 608 кв. км, що становить 7,5% території області. Це один із найменших сільських районів регіону. З півночі на південь район простягається на 40 км, а із заходу на схід — на 20 км. Крайні географічні точки району: на півночі — село Борівці, на півдні — село Верхні Станівці, на сході — село Стрілецький Кут, а на заході — село Нижні Станівці.

Кіцманський район межує на північному заході з Городенківським та на заході зі Снятинським районами Івано-Франківської області. На півночі та сході він межує із Заставнівським районом, а також із Садгірським районом міста Чернівці. Південно-західний кордон району прилягає до Вишнівського, а південний — до Сторожинецького районів. Близькість до обласного центру Чернівці створює сприятливі умови для управління господарською діяльністю району, а також полегшує кооперування трудових ресурсів.

Транспортно-географічне положення району є досить вигідним. Територія перетинається залізничними та шосейними шляхами, які з'єднують район із такими промисловими центрами, як Львів, Івано-Франківськ, Тернопіль, Кишинів і Одеса. Завдяки розвиненій транспортній мережі Кіцманський район відіграє важливу роль у забезпеченні робочою силою обласного центру та інших регіонів.

До складу району входять 1 районна, 1 міська, 2 селищних та 26 сільських рад, яким підпорядковуються 45 населених пунктів. Усі села району пов'язані між собою шосейними дорогами, що забезпечує добру транспортну доступність. Адміністративний центр району — місто Кіцмань — розташований у центральній частині району. Воно має зручне залізничне та автомобільне сполучення з Чернівцями.

Економіка району орієнтована на сільське господарство. На його території функціонують 49 сільськогосподарських підприємств і 165 фермерських

господарств, які відіграють важливу роль у господарській діяльності регіону. Транспортна доступність і географічна близькість до промислових центрів сприяють розвитку аграрного сектору, співпраці між населеними пунктами та забезпеченню економічної стабільності району.

2.1 Тектонічно - геологічна будова

На території Кіцманського району знаходиться південно-західне крило Волино-Подільської плити - окраїни Східно-Європейської платформи - найбільш давні утворення якої тут представлені кристалічними породами.

Кристалічні породи платформного фундаменту полого ($1-1,5^\circ$) занурюються у південно-західному напрямі і поступово перекриваються осадами рифею, палеозою, юри, крейди та неогену (додаток А.3).

Алювіальні відклади утворилися в доменах Прута та приток, залягають вони на терасових рівнях, які добре простежуються у рельєфі. У долині Прута потужність відкладів сьомої тераси ще менша - під метровим шаром суглинку залягає 80-сантиметровий шар дрібного галегника [14]. Шоста надзаплавна тераса краще збереглася у рельєфі, а тому потужність суглинку тут збільшується до 5-8 м, серед якого часто трапляються лесовидні різновиди. Дещо нижче по течії П.Ф.Гожик (1965) у лесовидних суглинках шостої надзапавної тераси виявив два шари похованого ґрунту та небагато прісноводних молюсків, серед яких переважають уніоніди. Поодинокі знаходять рештки великих ссавців, таких як гіппаріон, що, очевидно, перевідкладені з більш давніх відкладів. У багатьох місцях обидві тераси настільки розмиті, що на цих рівнях трапляються лише суглинки з великою кількістю галегника.

У нижньому плейстоцені утворилася п'ята надзаплавна тераса, відклади якої більш широко представлені у долинах рік. Складена вона шаром галегника потужністю 3-4 м, над яким залягає жовтий лесоподібний суглинок [14].

Делювіальні відклади межиріччя поширені на численних схилах вододілів і долин приток Прута, займають надзвичайно великі площі, але мають особливу будову, скрізь плачевидно покривають схили і представлені переважно суглинками та глинами. Потужність їх значною мірою залежить від нахилу поверхні корінної основи і коливається від 0,5-1,5 м до 6-8 м. Мала потужність делювію, наприклад, спостерігається біля с. Іванківці. Тут під суглинком 0,5-1,5 м знаходимо вапнисту глину неогену [13].

Голоценові - сучасні алювіальні відклади перших надзаплавних терас, заплав та русел характеризуються поширенням піщано-глинистих відкладів потужністю 1,5 - 2,0 м, під якими залягають галегники потужністю 6-7 м в долинах Прута, Черемоша. Потужні торф'яні шари наявні у заплавах приток біля с. Нижні Станівці і с.Глиниця (потужність ~ 1 м) [4,

2.2 Рельєф та геоморфологічні особливості території

Рельєф Кіцманського району можна умовно поділити на три частини: південну (Запруття), центральну та північну. Південна частина розташована на Прут-Сіретській горбистій рівнині, де виділяється Чернівецько-Сторожинецька височина, найвищою точкою якої є відмітка 531 м. На заході цієї території знаходиться Брусницька височина з максимальною висотою 324 м. Південна частина Запруття складається переважно з осадових порід, які легко розмиваються водами [13].

Поверхня південних і південно-західних територій району досить рівнинна, хоча і поступово підвищується з півдня на північ пологими схилами.

Абсолютні висоти району, як і всього Прут-Дністерського межиріччя, становлять 168-311 м, а на вододілах — 200-230 м. Річка Прут, яка протікає по південній межі району, створила на території Кіцманського району шість вирівняних терас.

Перша тераса розташована на висоті 3-4 м від рівня Прута. Її ширина варіюється від 600 до 1400 м, і вона складається з піщано-гравійного матеріалу,

іноді вкритого суглинистими та глинистими відкладеннями. Тераса має рівнинний рельєф і характеризується високим рівнем ґрунтових вод (0,3— 0,8 м), що спричиняє надмірне зволоження, заболочення та утворення залужених стариць [14].

Друга тераса знаходиться на висоті 5-8 м, її ширина становить 400-3600 м. Верхні шари цієї тераси складаються з суглинних і глинистих порід, а нижні — з піщано-гравійних відкладень. Тераса має рівнинну поверхню, а ґрунти представлені чорноземно-лучними та лучними типами, які часто оглеєні. Більшість цих земель розорані [14].

Третя тераса піднімається на 15-20 м над рівнем річки. Її ширина складає 200- 300 м, але тераса не утворює суцільного масиву, оскільки розчленована притоками Прута. Перехід від другої до третьої тераси є поступовим, з пологими схилами. Поверхня тераси представлена супіщаними відкладеннями, підстеленими галькою.

Четверта тераса розташована на висоті 50-60 м над Прутом, її ширина становить 500-1500 м. Поверхневі відкладення представлені пілуватими суглинками та глинами, що сприяє розвитку ерозійних форм рельєфу, таких як яри та балки.

П'ята тераса має висоту 80-100 м і охоплює ділянки шириною до 2-3 км. Вона складена суглинками, добре дренована, а ґрунти представлені чорноземами та темно-сірими опідзоленими типами [13].

Шоста тераса є найвищою, піднімаючись на 100-120 м над рівнем Прута. Вона займає смугу шириною 3-4 км у межах Прут-Дністерського вододілу. Ця тераса має складний рельєф із численними ярами, балками та іншими формами ерозійних процесів, які найбільш поширені в районах сіл Кліводи́н та Ставча́ни.

Рельєф території Кіцманського району має велике значення для формування екосистем, сільськогосподарського використання земель та розвитку природоохоронних заходів. Терасова структура території вказує на складну геоморфологічну історію, пов'язану з діяльністю річки Прут.

2.3 Кліматичні особливості території району

Клімат Кіцманського району характеризується помірно-континентальним типом, який формується під впливом його географічного положення, рельєфу, особливостей земної поверхні та атмосферної циркуляції. Середньорічна температура повітря становить $7,9^{\circ}\text{C}$, а сумарна сонячна радіація за рік сягає $107,2$ ккал/кв.см, що забезпечує сприятливі умови для розвитку рослинництва. Найхолодніший місяць року — січень із середньою температурою -5°C , тоді як липень є найтеплішим, із середньою температурою $19,2^{\circ}\text{C}$. Літня спека може досягати $35-36^{\circ}\text{C}$, що часто супроводжується низькою вологістю повітря та негативно впливає на сільськогосподарські культури [14].

Весна в районі характеризується поступовим підвищенням температури. У квітні середня температура становить $5-8^{\circ}\text{C}$, однак можливі нічні заморозки. Осінь є типовою для помірного клімату, із середньою температурою у жовтні на рівні $8,0-8,5^{\circ}\text{C}$. Вегетаційний період триває 210-214 днів, забезпечуючи суму активних температур у межах $2600-2700^{\circ}\text{C}$, що є оптимальним для вирощування основних сільськогосподарських культур. Безморозний період триває від 165 до 180 днів, закінчуючись у другій декаді жовтня, тоді як весняні заморозки завершуються у третій декаді квітня.

Атмосферна циркуляція значною мірою визначає кліматичні умови району. Західні вітри приносять вологу з Атлантики, північні — охолодження, а східні — взимку спричиняють сильне похолодання, а влітку — посухи та високу температуру. Інтенсивна трансформація морського повітря у континентальне створює кліматичну мінливість. Циклони найчастіше пов'язані з ісландським мінімумом або середземноморським фронтом, особливо у холодний період року.

Опади є важливим елементом клімату району. Загальна кількість опадів за рік становить 575-660 мм, із яких значна частина припадає на теплу пору року. Протягом року в середньому 145-150 днів із опадами, найбільш інтенсивні зливи спостерігаються влітку. Опади здебільшого обумовлені фронтами, що

переміщуються з північного заходу, або циклонами з північної Європи чи Балтійсько-Чорноморської лінії [13].

Особливості клімату сприяють сільськогосподарській діяльності, однак екстремальні погодні явища, такі як літня спека чи сильні зливи, можуть викликати проблеми для рослинництва. Водночас адаптація до кліматичних змін і оптимізація сільськогосподарських процесів забезпечують значний потенціал району для вирощування широкого спектра культур.

Завдяки сприятливим агрокліматичним умовам район має значний потенціал для вирощування широкого спектра культур, зокрема за умов адаптації до кліматичних змін [13].

2.4 Гідрографічні особливості території дослідження

Територія Кіцманського району вирізняється густою мережею водотоків із середньою щільністю річкової сітки $0,8 \text{ км/км}^2$. Основними водними артеріями району є річки Прут і Черемош, тоді як найменші річки, такі як Совиця Ставчанська, Совиця Кіцманська та Брусниця, слугують притоками Прута.

Річка Прут на території району має довжину 23 км, середній ухил русла становить $7,1 \text{ м/км}$, площа басейну сягає 110 км^2 , а ширина русла варіюється від 8 до 10 м. Водний режим Прута характеризується паводками, які тривають більшу частину року. Найбільш інтенсивні паводки трапляються в літній період, спричинені сильними дощами. Навесні під час танення снігу також спостерігається підйом рівнів води, проте максимальні рівні весняних паводків зазвичай поступаються рівням літніх. Вода в річці залишається чистою і прозорою майже протягом усього року [13].

Окрім річок, поверхневі води Кіцманського району представлені озерами та ставками. На території району налічується близько 135 ставків, площа водного дзеркала яких становить від 0,3 до $40,7 \text{ га}$. Загальна площа водного дзеркала озер і ставків сягає 640 га , а об'єм води — $7691,6 \text{ тис. м}^3$. Ставки переважно розташовані в балках і здебільшого використовуються для

риборозведення. Частина водойм має комплексне призначення, поєднуючи господарські, рекреаційні та екологічні функції.

Річки, озера та ставки Кіцманського району відіграють важливу роль у підтримці екологічного балансу, забезпеченні водних ресурсів для сільського господарства та розвитку рибного господарства. Чиста вода річок, багатий гідрологічний потенціал та численні ставки створюють сприятливі умови для використання поверхневих вод у різних сферах діяльності, що є важливим для сталого розвитку району.

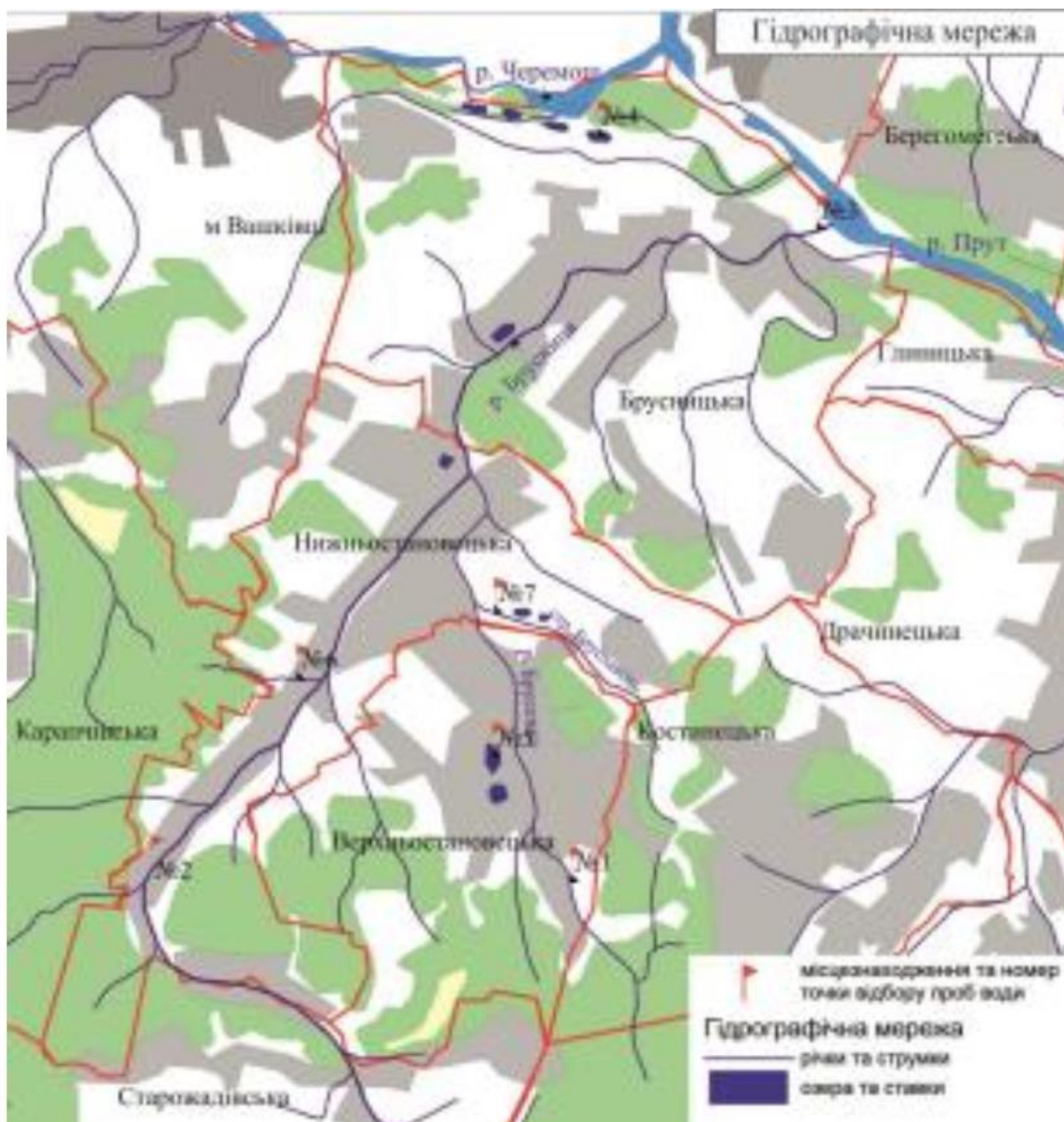


Рис.2.4 Гідрографічна мережа Брусицького грядо-котловинного району дослідження

Окрім рійок та водоймищ, гідрографічна мережа Кіцманського району включає численні струмки та тимчасово діючі водотоки, які характеризуються значною протяжністю та густотою. Струмки є важливим елементом гідрографічної системи, забезпечуючи розподіл водних ресурсів та підтримуючи водний баланс території.

Живлення струмків здійснюється як за рахунок підземних та ґрунтових вод, що становить 50-60% від усього обсягу живлення, так і за рахунок поверхневих талих та зливових вод. Завдяки цьому вони залишаються стабільним джерелом води протягом року, хоча максимальні рівні води в них спостерігаються під час весняного танення снігу та в період літніх злив.

Тимчасово діючі водотоки отримують живлення виключно за рахунок талих і зливових вод. Вони активізуються в період значних опадів або танення снігу, формуючи короточасні потоки, які швидко пересихають після припинення джерела водопостачання.

Струмки та тимчасові водотоки відіграють важливу роль у формуванні локального водного режиму, забезпеченні ґрунтової вологості та відведенні дощових вод. Водночас вони є природними дренажними системами, які сприяють запобіганню застою води та ерозійним процесам у низинах. Врахування їхньої гідрологічної ролі є важливим для ефективного управління водними ресурсами району та збереження екосистем [13].

2.5 Ґрунти і рослинний покрив

Ґрунт— це поверхневий шар земної кори, здатний забезпечувати рослини водою та поживними речовинами, що визначає його родючість. Родючість може бути природною, сформованою під впливом природних чинників, або економічною, що зумовлена діяльністю людини, зокрема агротехнічними заходами.

Ґрунотворною основою на більшій частині Кіцманського району є лес і лесоподібні суглинки пилувато-важкосуглинистого механічного складу, які

містять 10-18% карбонатів кальцію. На цій основі сформувалися чорноземні ґрунти, які є домінуючими в регіоні. У північній та центральній частинах району переважають опідзолені чорноземи пилувато-суглинистого складу, що становлять близько 50% усіх ґрунтів. Вміст гумусу в цих ґрунтах коливається від 3,5% до 5%, що забезпечує їх високу природну родючість. Однак у літній період верхній шар опідзолених чорноземів сильно цементується, що створює труднощі при обробці просапних культур і потребує агротехнічних заходів, таких як внесення органічних і мінеральних добрив, висівання однорічних трав та дотримання сівозмін.

У середній частині району переважають темно-сірі, сірі та світло-сірі суглинисті ґрунти. У південній частині району, особливо на лівобережжі річки Прут, поширені дерново-лучні слабо опідзолені, супіщані та піщано-суглинкові ґрунти, які займають близько 20% території. Ці ґрунти характеризуються меншою родючістю, але активно використовуються для сільськогосподарських потреб.

На території Кіцманського району виділено 38 різновидів ґрунтів, які об'єднані у чотири основні групи. Це різноманіття ґрунтового покриву зумовлює значний потенціал для сільськогосподарської діяльності, але також вимагає ретельного підходу до їх використання та збереження родючості. Систематичне застосування органічних і мінеральних добрив, правильне ведення сівозмін і раціональне використання ґрунтових ресурсів дозволяють підтримувати високий рівень продуктивності ґрунтів регіону [13].

Таблиця 2.1

ґрунти Кіцманського району

Групи ґрунтів	Різновиди ґрунтів	Площа	
		га	в % до підсумку
Перша	Чорноземи опідзолені	16147	37.9
	Темно-сірі опідзолені	8222	19.3
	Сірі опідзолені	1782	4.2
	Світло-сірі опідзолені	131	4.3

Друга	Лучні	4537	10,6
	Лучно-болотні	2621	6.1
	Болотні	310	0.7
Третя	Дернові	4326	10.2
	Дерново-підзолесті	3126	7.4
Четверта	Ґрунти на виходах материнських порід	1377	3.3

Ерозійні процеси на території Кіцманського району впливають на формування ґрунтового покриву та його використання в сільському господарстві.

Геологічна ерозія, яка має природний характер, не становить значної загрози, оскільки швидкість руйнування ґрунтів збалансована із процесами ґрунтоутворення. Натомість водна ерозія є суттєвою проблемою, оскільки вона спричиняється змиванням і вимиванням ґрунту дощами, талими та проточними водами. Водна ерозія залежить від інтенсивності опадів, рельєфу, властивостей ґрунтів та рослинного покриву. Її наслідки проявляються у замулюванні водойм, таких як ставки, заплави, а також річок Совиця Кіцманська, Совиця Ставчанська та Вільховець [13].

Ґрунти району за ступенем розвитку ерозійних процесів поділяються на три групи. Перша група охоплює ґрунти на схилах із нахилом до 4°, які зазнають слабкої ерозії. Загальна площа цих земель становить 24 147 га, з яких 21 673 га припадає на орні землі. На таких територіях мінімальні агротехнічні заходи, як поперечний обробіток землі на схилах із нахилом 3-4°, забезпечують збереження родючості.

Друга група включає ґрунти на схилах із нахилом 4-8°, що піддаються середньому ступеню ерозії. Ці землі (6 229 га) потребують застосування спеціальних агрозаходів, таких як терасування, посів багаторічних трав та органічне удобрення.

Третя група складається з ґрунтів на схилах із нахилом понад 8°, які зазнають інтенсивної ерозії. Загальна площа цієї групи становить 1 142 га, з яких лише 69 га є орними землями. Більшість таких територій

використовуються як сіножаті та пасовища, а розорювання можливе лише за умови створення терасованої поверхні.

Лісовий покрив району займає 7,2 тис. га і представлений Кіцманським та Рівнянським лісництвами. Ліси виконують важливу екологічну функцію, захищаючи ґрунти від ерозії, зменшуючи ризик пересихання водойм і пом'якшуючи клімат. У лісах зростають дуб звичайний, дуб скельний, бук лісовий, граб, а також осика, липа, клен, береза, вільха, тополя та хвойні породи. Лісові ресурси мають багатофункціональне значення: деревину використовують як будівельний матеріал, а лісові угіддя слугують місцем для випасу худоби та збору лікарських рослин, ягід і грибів [13].

Лучна рослинність району представлена такими травами, як тимофіївка лучна, костриця, стоколос безостий, лучниця та райграс. В долинах річок Совиця Кіцманська на алювіальних ґрунтах росте високий райграс, який за сезон дає кілька укосів сіна, забезпечуючи кормову базу для сільськогосподарських тварин.

Таким чином, природні ресурси Кіцманського району, включаючи ґрунти, ліси та луки, потребують раціонального використання та постійного моніторингу ерозійних процесів задля забезпечення їх збереження та сталого використання.

Висновки до розділу 2

Кіцманський район займає північно-західну частину Чернівецької області, і північна його частина розміщення в рівнинній частині області, а південна - передгірській. Це відображає особливості природних умов території і дає підстави нам говорити про два види річкових басейнів за орографічними особливостями - рівнинні (річки Совиця Кіцманська та Совиця Ставчанська) та передгірські (річки Брусниця та Брусенка)

Природні умови мають досить значний вплив на формування місцевого стоку, гідрологічні та екологічні параметри малих річок. Тому їх вивчення є обов'язковим при розгляді гідроекологічного стану водойм.

РОЗДІЛ 3.

МОДЕЛЮВАННЯ ВОДОЗБОРУ І РІЧКОВОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ SAGA GIS ТА QGIS 3.22

3.1. Огляд інструментів для гідрологічного моделювання в QGIS:

WhiteboxTools та SAGA GIS

QGIS має потужні інструменти та плагіни для гідрологічного аналізу, серед яких WhiteboxTools та SAGA GIS є найпопулярнішими. Вони дозволяють виконувати різноманітні операції, пов'язані з обробкою рельєфу, моделюванням стоку, аналізом водозборів і вододільних зон. Ось детальніший огляд їхніх можливостей для гідрологічного аналізу:

1. WhiteboxTools

WhiteboxTools - це колекція інструментів для аналізу рельєфу, гідрології, обробки даних земної поверхні та ГІС-операцій, які можна використовувати як в окремих додатках, так і як плагін у QGIS. Ось кілька корисних функцій для гідрологічного аналізу:

- **Flow Accumulation (Накопичення стоку):** цей інструмент дозволяє визначити області, де накопичується найбільше стоку на основі рельєфу. Це важливо для розуміння водного балансу, ідентифікації потенційних водозборів та можливих місць ерозії.
- **Flow Direction (Напрямок стоку):** обчислює напрямок руху води для кожної клітинки DEM (цифрової моделі рельєфу). Це є основою для розрахунків водозбору та аналізу стоку.
- **Watershed (Водозбір):** визначає межі водозборів річок, тобто визначає, до якої річкової системи належить кожна ділянка поверхні. Це корисно для вивчення гідрологічних властивостей конкретного басейну.
- **Wetness Index (Індекс зволоження):** аналізує ймовірність накопичення вологи на різних ділянках рельєфу. Використовується для ідентифікації заболочених ділянок або зон ризику підтоплення.

2. SAGA GIS

SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses) - це окремий

інструмент ГІС, але його функціонал доступний у QGIS через плагін SAGA Processing Toolbox. Він має розширені інструменти для гідрологічного аналізу:

- Channel Network (Мережа каналів): за допомогою цього інструменту можна побудувати мережу каналів, що показує русла річок і струмків у певній області. Це корисно для визначення та аналізу річкової системи в межах водозбору.
- Catchment Area (Площа водозбору): визначає площі водозборів для річок і струмків. Це дозволяє розрахувати обсяг води, яка потенційно стікає у певний річковий басейн, та проводити моделювання водного балансу.
- Slope and Aspect Analysis (Аналіз ухилу та експозиції): важливий для розуміння потоку води, оскільки напрямок ухилу та експозиція впливають на швидкість та напрямок стоку. Це також корисно для оцінки ерозійних ризиків.
- Topographic Wetness Index (TWI): цей інструмент розраховує індекс топографічного зволоження, який корелює з накопиченням води і показує потенційні зони насичення водою на рельєфі. Це особливо корисно для аналізу гідрологічних умов і екологічної стійкості.
- Hydrological Modelling (Гідрологічне моделювання): SAGA GIS дозволяє виконувати гідрологічне моделювання, наприклад, розрахунок поверхневого стоку, моделювання затоплення та прогнозування впливу дощу. Ці моделі можуть бути дуже корисними для оцінки ризиків підтоплення або планування інфраструктури.

Після проведення аналізу результати можна відобразити на карті, показуючи водозбори, русла, потенційні зони зволоження та інші гідрологічні характеристики. Інструменти QGIS також дозволяють додавати векторні та растрові шари, щоб наочно порівняти результати з іншими даними, такими як землекористування чи інфраструктура.

Ці можливості дозволяють всебічно дослідити характеристики та процеси в басейні малої річки, що є важливим для наукових досліджень, управління водними ресурсами та екологічного планування.

3.2. Вивчення гідрологічних інструментів у QGIS та SAGA GIS

Одним із завдань нашої кваліфікаційної роботи є продемонструвати можливість з допомогою різних інструментів, які знаходяться в програмному забезпеченні. Завдання створення та проходження покрокової інструкції щодо використання цифрових моделей рельєфу (ЦМР/ DEM) для виділення мереж каналів (тальвегів, каналів стоку), окреслення вододілів і визначення водозбірної площі. Інше програмне забезпечення з відкритим кодом, яке можна використовувати для гідрологічного аналізу в QGIS, — це Topographie Wetness Index, ILWIS та SAGA GIS, як показано в навчальному посібнику, створеному в 2013 році, «Дослідження гідрологічного аналізу за допомогою SAGA GIS» [18], а також у 2014 році, «Дослідження гідрологічного аналізу за допомогою ILWIS» [19].

Гідрологічні інструменти аналізу є незамінними ресурсами, що використовуються в різноманітних програмах для вивчення того, як географічні території взаємодіють з водними ресурсами. Такий аналіз допомагає дослідникам та працівникам служб надзвичайних ситуацій визначати джерела та шляхи підземних вод, окреслювати водозбірні басейни та ідентифікувати громади, схильні до ризику затоплення. Для виконання гідрологічного аналізу можна застосовувати різні програмні засоби, такі як ARCGIS, ILWIS та SAGA GIS. У нашому дослідженні ми надамо інструкції щодо використання QGIS — безкоштовного та відкритого програмного забезпечення для роботи з геопросторовими даними (FOSS4G) — для проведення гідрогеологічного аналізу. QGIS є відкритою геоінформаційною системою, що працює на різних платформах, включаючи Windows, Mac OS та Linux. Використовуючи цифрову модель басейну річки Брусниця в Чернівецькому районі, ми продемонструємо та дослідимо гідрогеологічні інструменти, які пропонує QGIS [20].

Варто зазначити що SAGA GIS можна встановити як окрему програму, а не тільки плагін QGIS. При написанні нашого дослідження було використано програмне забезпечення QGIS 3.22 та SAGA 2.3.1. Отож, ми здійснювати гідрологічний аналіз, зосередившись на наборі інструментів SAGA, що входить

як до складу інструментарію у вигляді встановлених плагінів так і самого програмного забезпечення.

3.3. Матеріали та методи дослідження

QGIS є безкоштовною та відкритою геоінформаційною системою. Ми використовували актуальною версією була QGIS 3.22. При завантаженні програмного забезпечення рекомендується обирати версію з довгостроковою підтримкою, оскільки вона є найбільш стабільною. Різні версії для завантаження можна знайти на офіційному сайті QGIS(<https://qgis.org>).

Для гідрологічного аналізу використовуються цифрові моделі рельєфу (ЦМР/ DEM). ЦМР можуть бути створені з точкових наборів даних висот або з аерофотознімків за допомогою дистанційного зондування. Завантаження точкового набору даних зазвичай потребує інтерполяції для створення DEM. У нашому випадку ми не розглядали можливості інтерполяції. Натомість ми будемо працювати з вже інтерпольованою DEM для дослідження гідрологічних інструментів.

У нашому випадку ми будемо використовувати DEM басейну річки Брусниця яка є правою притокою Пруту.

Створення робочого проекту є першим кроком, який допоможе впорядкувати всі дані та файли прогресу. Після запуску QGIS рекомендується створити новий проект і зберегти всі його дані в одній папці для зручності оперування. Для початку роботи обираємо карту OpenStreetMap , як базову на основі якої буде будуватись весь наш проект.

Щоб імпортувати ваш DEM-набір даних, виконайте наступні дії:

1. У верхньому меню оберіть вкладку «Плагіни».
2. Знайдіть плагін «Open Topography DEM Downloader» після чого інсталуємо його. Варто зазначити що при встановленні даного плагіну необхідно зареєструватись на сайті <https://opentopographv.org/blog/introducing->

api-keys-access-opentopography-global-datasets та отримати API ключ, який потрібно вставити при у вікно в QGIS.

3. На панелі задач у нас появляється значок плагіна



4. Натиснувши на панелі значок «Open Topography DEM Downloader» запусниться діалогове вікно де необхідно буде обрати модель DEM (Див. рис. 4.3.). Нами була обрана модель DEM - Copernicus Global DSM з роздільною здатністю 30 метрів та місце на комп'ютері в папці проекту куди зберегли її через вкладку «Output raster». Для більшості гідрологічних досліджень басейнів малих річок Copernicus Global DSM 30m є оптимальним вибором завдяки своїй доступності, достатній роздільній здатності та якості даних. Файл растрового зображення збережеться у форматі .tiff.

5. Територію дослідження також необхідно обрати в цьому ж вікні натиснувши «Define extent to download», а далі у спливаючому списку необхідно обрати «Намалювати на полотні карти»

6. . Натисніть кнопку «Запустити», для того щоб імпортувати шар у папку проекту і в робочий проект QGIS.

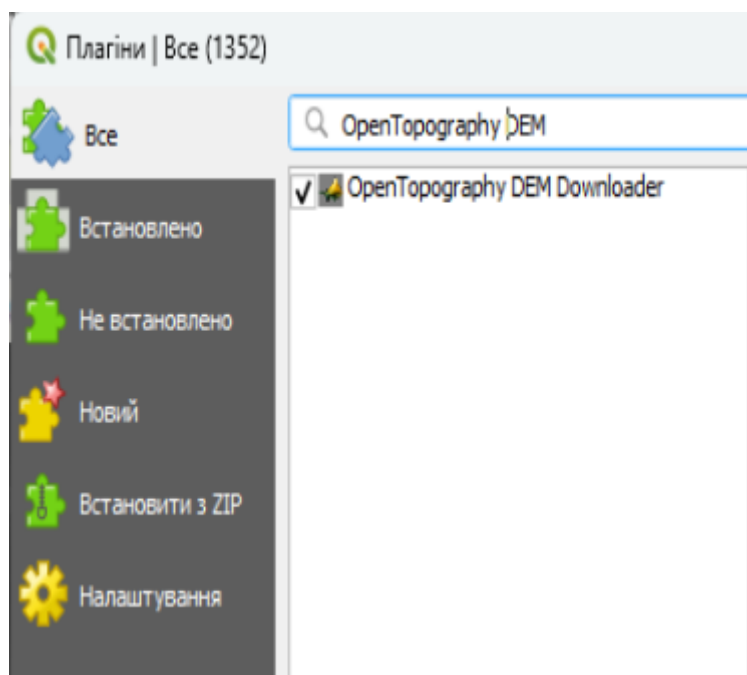


Рис. 3.1. Пошук та інсталяція плагіна Open Topography DEM Downloader.

Серед всього переліку цифрових моделей рельєфу в плагіна Open Topography DEM Downloader ми зупинились на Copernicus Global Digital Surface Model (DSM). Обрана нами модель рельєфу має роздільну здатність 30 м і є частиною глобальної програми спостереження Землі Copernicus, яка забезпечує точну інформацію про висоту поверхні. Дана цифрова модель рельєфу, охоплює всю земну кулю і надає висотні дані з кроком 30 метрів. Просторова роздільна здатність становить 30 метрів на один піксель, що означає, що кожен піксель моделі представляє площу 30*30 метрів на земній поверхні, забезпечуючи детальне відображення топографії на регіональному рівні. Модель має глобальне покриття, яке включає майже всі наземні території світу, що робить DSM доступною для використання в будь-якому регіоні, зокрема для різних географічних умов, таких як рівнини, гори, передгір'я, а також для урбанізованих зон.

DSM (Digital Surface Model) — це модель поверхні, яка показує висоту найвищих об'єктів над поверхнею, включаючи будівлі, дерева та інші об'єкти, на відміну від Digital Terrain Model (DTM), яка відображає тільки висоту рельєфу. Дані DSM отримані з використанням супутників, зокрема програм SPOT 5 і SPOT 6 (Système Pour l'Observation de la Terre), які надають висотну інформацію з високою точністю. Висотна точність моделі становить приблизно ± 4 м для регіонів з низькою рельєфною складністю (наприклад, рівнин), тоді як для регіонів зі складним рельєфом (гори, ущелини) точність може бути нижчою. Планова точність відповідає приблизно ± 10 м, що робить її достатньо точною для багатьох задач, які не вимагають сантиметрової точності. Зазвичай модель доступна у форматі GeoTIFF, що робить її сумісною з більшістю геоінформаційних систем (GIS) та програм для обробки супутникових даних, включаючи QGIS, ArcGIS та інші.

Однак як DSM, вона включає не лише природний рельєф, але й штучні та природні об'єкти (дерева, будівлі), що може бути недоліком, якщо потрібно тільки рельєф без об'єктів (для цього більше підходить DTM). Точність DSM

може бути недостатньою для дуже детальних досліджень або інженерних проектів, які потребують вищої точності [21].

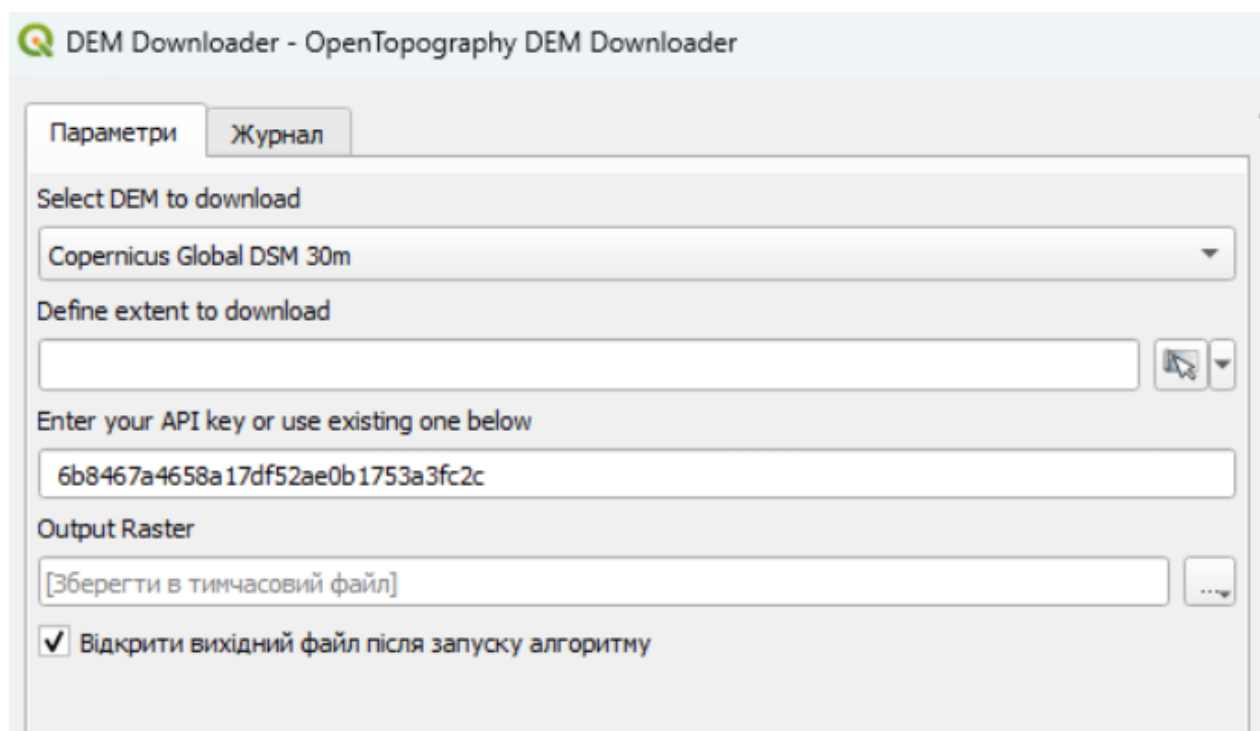


Рис. 3.2. Процес завантаження Copernicus Global DSM з роздільною здатністю 30м.

Обрана цифрова модель Copernicus Global Digital Surface Model (DSM) була обрана нами і буде використовуватись в кваліфікаційній роботі. Наступним кроком є її перепроеціювання. Призначення проекції нашої цифровій моделі рельєфу (DEM) забезпечує її правильне відображення та аналіз у QGIS. Щоб встановити проекцію для нашої DEM, виконуємо наступні кроки:

1. Переходимо до меню «Растр» > «Проекція» > «Перепроеціювання» (Див. Рисунок 3.3). Натисніть «Вибрати», оберіть бажану систему координат (SRS), потім натисніть «ОК» (Див. Рисунок 3).

2. У нашому випадку ми використовуємо систему координат EPSG:3857- WGS 84. Система координат EPSG:3857, також відома як WGS 84 / Pseudo Mercator, є однією з найпоширеніших проекцій, особливо у сфері веб-картографії, і використовується більшістю популярних онлайн-карт, таких як

Google Maps, OpenStreetMap та Bing Maps. Це спрощує інтеграцію ваших даних з цими сервісами та дозволяє легко поєднувати різні картографічні шари.

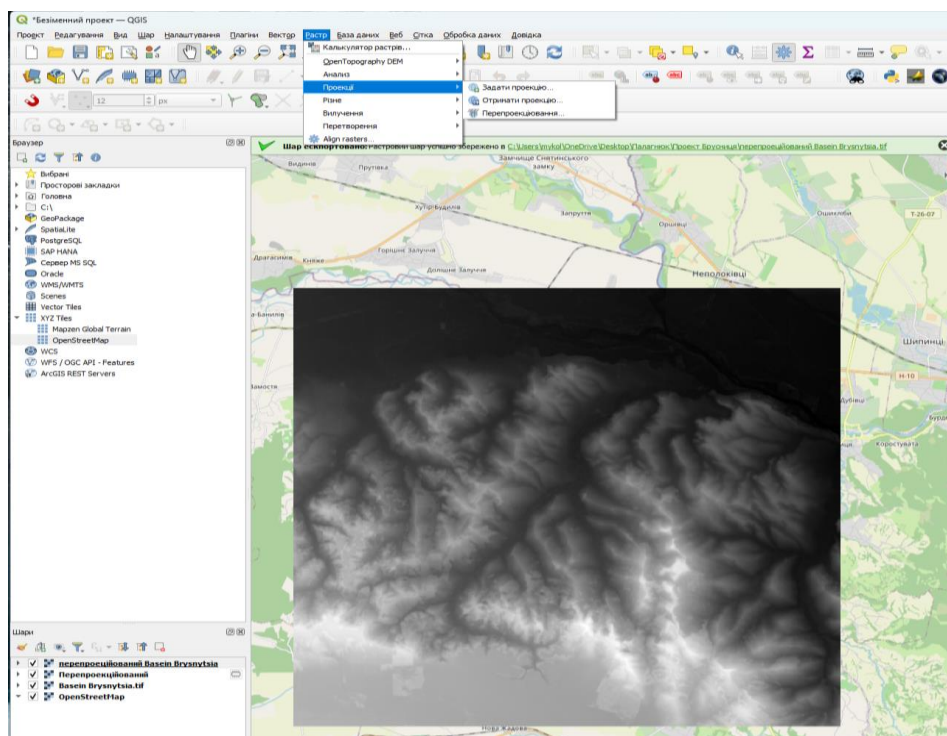


Рис. 3.3. Процес перепроеціювання обраної цифрової моделі під цифрову модель проекту

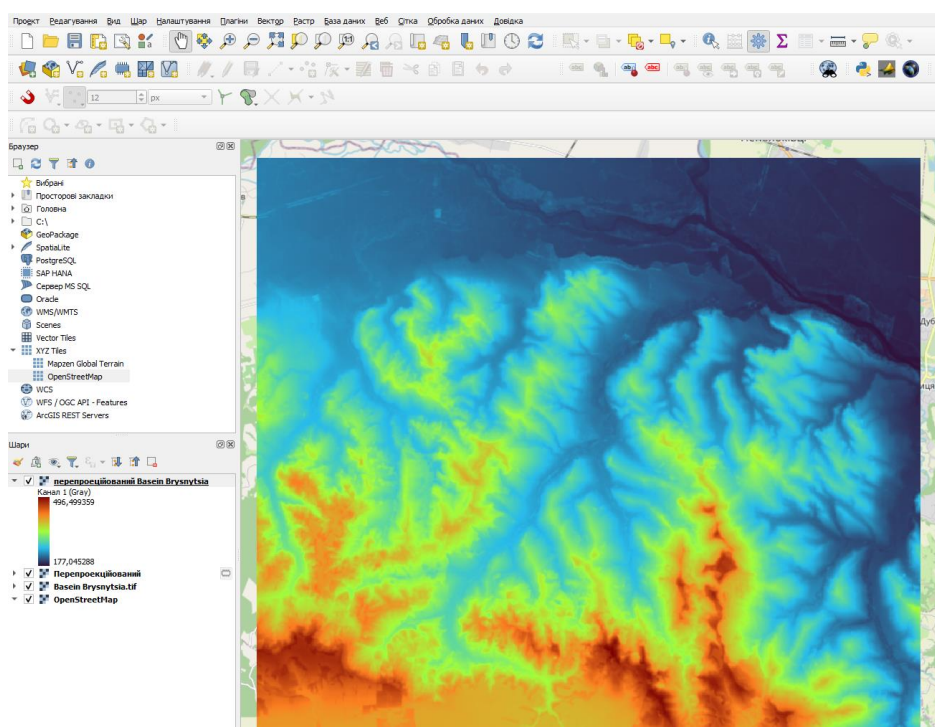


Рис. 3.4. Рекласифікація цифрової моделі рельєфу для кращої ідентифікації рельєфу.

3. Рекласифіковуємо нашу DEM: клацніть правою кнопкою миші на шарі DEM «перепроеційований Basein Brysnytsia» > «Властивості» > «Символогія» > «Відтворення діапазону» > «Тип відображення» > оберіть «Одночастотний псевдокольоровий» > натисніть «Класифікувати» > обираємо потрібний нам класифікатор і потім «ОК» (Див. Рисунок 3.4.). Перепроеціювання DEM може допомогти краще зрозуміти дані, з якими ви працюєте.

3.4. Апробація гідрологічного інструментарію SAGA на прикладі басейну річки Брусниця.

QGIS має широкий набір інструментів для гідрологічного аналізу. Нами був обраний та інстальований для апробації плагін SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses). Даний інструмент являється потужним програмним забезпеченням для геопросторового аналізу, який особливо добре інтегровано в QGIS як плагін для розширених обчислень та аналізу просторових даних. Завдяки його інструментам та алгоритмам ми можемо виконувати різноманітні геообчислення, зокрема пов'язані з гідрологією, геоморфологією, кліматичними та ландшафтними дослідженнями. SAGA розроблена як окрема програма, але у QGIS вона доступна як плагін, що надає доступ до широкого спектру її інструментів. Однією з основних переваг плагіна SAGA є його потужні гідрологічні інструменти. Вони дозволяють виконувати аналіз рельєфу та водозбору, а також моделювати поведінку води на ландшафті.

Ось деякі з найпоширеніших гідрологічних інструментів SAGA та їхні функції:

I. Fill Sinks (Wang & Liu). Інструмент для заповнення западин у цифровій моделі рельєфу (DEM). Западини можуть виникати через похибки у DEM і перешкоджають нормальному стіканню води. Цей інструмент видаляє такі западини, дозволяючи воді рухатися за реальними напрямками. Метод Wang &

LiU є одним з найпоширеніших у заповненні западин, забезпечуючи плавне розподілення потоку.

2. Flow Accumulation. Розраховує накопичення потоку, яке показує кількість води, що накопичується в кожній точці (пікселі) DEM. Це дозволяє визначити, де зосереджується потік води, які місця можуть стати каналами річок або потоків, і показує потенційні русла та басейни.

3. Flow Direction. Цей інструмент створює карту напрямків потоку для кожної точки DEM. Він показує, в якому напрямку буде стікати вода з кожної комірки. Це корисно для визначення напрямків річкових потоків та побудови гідрологічної мережі.

4. Catchment Area (Drainage Basins). Цей інструмент ідентифікує водозбірні басейни, де вода збирається і стікає в основні потоки. Він створює межі для кожного басейну, що дозволяє зрозуміти, як вода збирається і куди вона надходить. Це важливо для аналізу річкових систем та їхніх приток.

5. Channel Network and Drainage Basins. Дозволяє будувати мережу каналів і визначати межі водозбірних басейнів на основі DEM. Інструмент допомагає відокремити основні річкові канали від допоміжних потоків, що дуже корисно при моделюванні річкових систем.

6. Overland Flow Distance to Channel Network. Цей інструмент визначає відстань кожної точки поверхні до найближчого каналу. Він допомагає визначити, скільки часу займе вода, щоб дістатися до головного потоку, що корисно для аналізу паводків та гідрологічних ризиків.

7. Water Surface (Flow Depth). Моделює глибину потоку води на поверхні в залежності від накопичення води. Це може використовуватися для моделювання розливу річок або потоків, а також для оцінки ризиків затоплення.

8. Sediment Transport Capacity. Розраховує транспортну здатність осаду в залежності від рельєфу. Це корисно для розуміння ерозійних процесів і накопичення осадів у річкових системах.

Щоб отримати доступ до інструментарію Hydrology /Гідрологія, виконаємо наступні дії:

Вкладка «Панель інструментів Обробка даних панель» > Інструментарій > SAGA > «Terrain Analysis /Аналіз рельєфу» - «Hydrology /Гідрологія» (див. рис 3.6.).

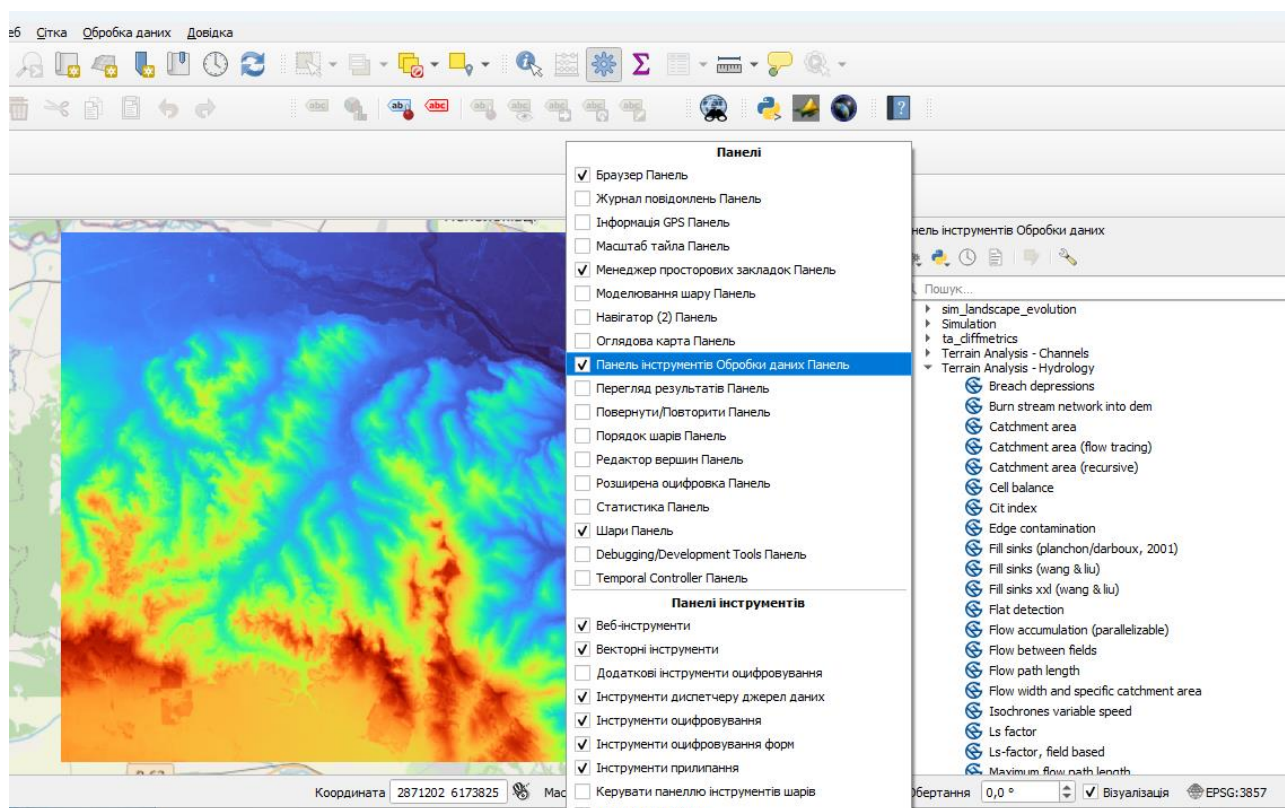


Рис 3.6. Відкриття SAGA та інструменту «Terrain Analysis /Аналіз рельєфу» - «Hydrology /Гідрологія»

Після відкриття «Terrain Analysis /Аналіз рельєфу» - «Hydrology /Гідрологія» ми бачимо довгий список різних інструментів. Деякі з них дуже схожі, і на перший погляд може бути важко зрозуміти, який інструмент використовувати та для яких цілей. Оскільки ці інструменти є частиною SAGA, у них немає вкладки допомоги, яка б пояснювала, як і чому їх використовувати на відміну від такої можливості в самому програмному забезпеченні. Ми створили короткий опис для кожного інструмента, який будемо опрацьовувати для виконання поставлених завдань у роботі.

Важливим кроком для побудови цифрової моделі басейну річки Брусниця є процес заповнення западин з допомогою інструменту Fill Sinks (Wang & Liu).

У вікні інструментів знайдіть SAGA > Terrain Analysis - Hydrology > Fill sinks (Wang & Liu).

У параметрах інструменту обираємо шар ЦМР який був згенерований нами в Open Topography DEM Downloader (Copernicus Global DSM) - «Basein_Brusnytsia.sdat» як вхідний шар.

Обираємо значення для Minimum Slope (мінімальний ухил). Вибір значення для Minimum Slope залежить від особливостей рельєфу басейну річки та вашої мети дослідження.

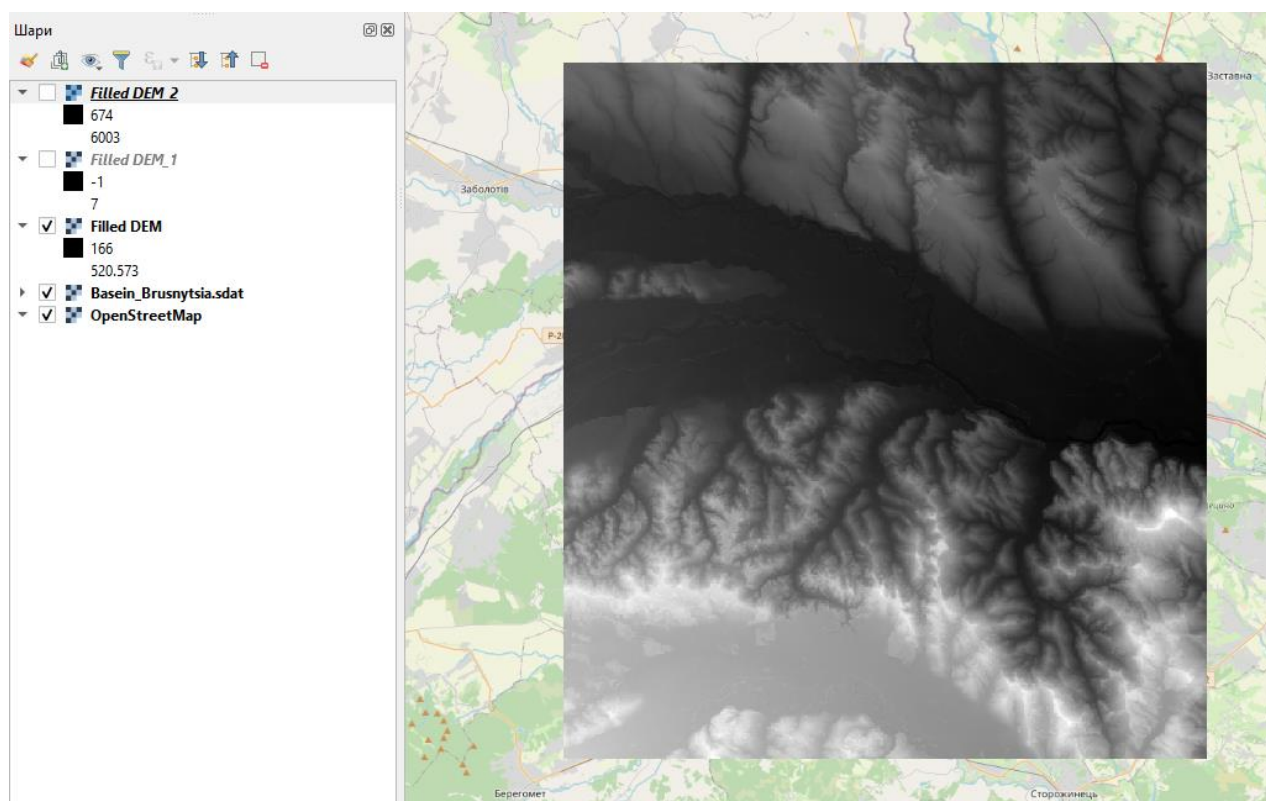


Рис 3.7. Створена модель Filled DEM для басейну річки Брусниця

Рекомендовані значення для Minimum Slope:

1. Плоскі та рівнинні території: Якщо річка протікає через плоскі або майже рівнинні райони (з невеликими ухилами), рекомендується використовувати менші значення для Minimum Slope, наприклад, 0.01 - 0.05 градусів. Це допоможе зберегти всі слабко нахилені ділянки як частину водозбору.
2. Передгір'я або помірно похилі райони:

- Для передгірського рельєфу, який має помірні ухили, варто вибрати значення 0.05 - 0.1 градусів. Це дозволить уникнути занадто дрібних западин, які можуть впливати на потоки, зберігаючи при цьому природний характер рельєфу.

3. Круті гірські райони:

- Якщо басейн річки має круті схили, можна використовувати значення 0.1 - 0.3 градусів. Це допоможе усунути глибокі западини, де можуть накопичуватися помилкові водні масиви, і зосередитися на великих потоках.

У нашому випадку, оскільки річка Брусниця знаходиться в передгірському регіоні, значення 0.05 - 0.1 градусів є оптимальним вибором для Minimum Slope. Це дозволить уникнути надмірного вирівнювання рельєфу, зберігаючи при цьому основні особливості потоку і водозбору. Отримане значення забезпечить баланс між усуненням дрібних западин і збереженням природного характеру рельєфу.

Наступним кроком буде вибір місця зберігання цифрової моделі рельєфу DEM (Filled DEM).

Результатом буде заповнений Filled DEM, який ми будемо використовувати на наступних етапах (Рис.3.7).

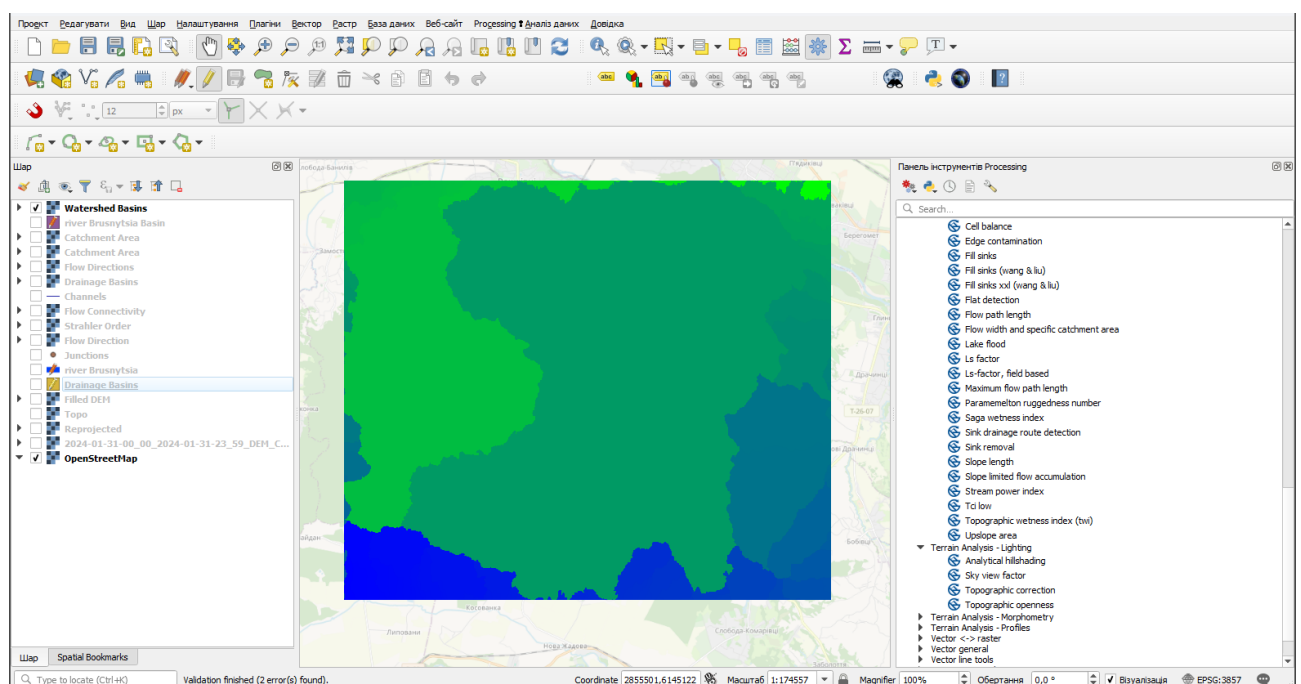


Рис 3.8. Побудована модель «Watershed Basins» плагіном для Fill Sinks (Wang & Liu) для басейну річки Брусниця

Паралельно згладженій цифровій моделі рельєфу (рис. 3.7.) було створено басейни річок, що знаходяться в межах даної ЦМР. Побудована модель «Watershed Basins», створена за допомогою інструменту Fill Sinks (Wang & Liu) для басейну річки Брусниця, дозволяє відобразити межі водозбірних басейнів на основі цифрової моделі рельєфу (DEM). Цей інструмент заповнює западини на рельєфі, які можуть викликати помилкове накопичення води в ізольованих ділянках, створюючи таким чином безперервну поверхню для моделювання стоку. Для надійності нами був побудований полігональний шар басейну річки Брусниця.

Як бачимо помітна різниця між шарами басейну Брусниці створеного автоматично і вручну. Різниця між шарами може бути пояснена кількома факторами. Цифрова модель рельєфу (DEM), що використовується в QGIS, забезпечує більш детальну і точну інформацію про висоти та рельєф, що дозволяє враховувати навіть незначні перепади висоти, які можуть не відображатися на традиційній топографічній карті. DEM здатна виявити додаткові ділянки, які також вважаються частиною водозбору, тоді як при ручному наведенні меж басейну такі зони можна не помітити. У випадку для побудови шару басейну вручну використовувалися топографічні дані з шару OpenTopoMap.org у програмі SAS Planet. Варто зазначити, що автоматизований інструмент Fill Sinks (Wang & Liu) у QGIS, базуючись на DEM, враховує всі можливі шляхи потоку води, включаючи дрібні водотоки, які можуть бути не позначені на топографічній карті. Цей підхід дозволяє уникнути суб'єктивних помилок і забезпечує

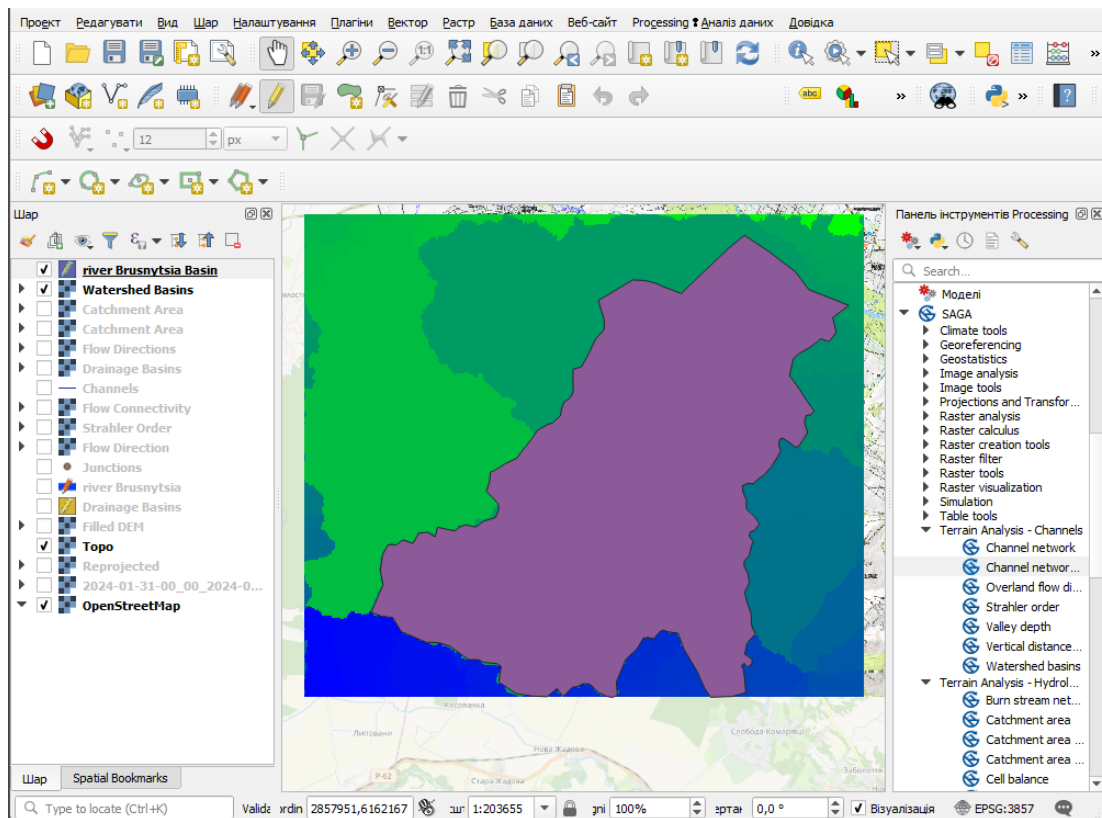


Рис 3.9. Побудований вручну полігональний шар басейну річки Брусниця

визначення меж водозбору на основі фізичних параметрів рельєфу. Однак у процесі автоматичного визначення меж басейну річки Брусниця до нього було помилково додано частину прируслових територій річки Прут, в яку впадає річка Брусниця. Ці території знаходяться в пригирловій ділянці, і хоча вони були хибно віднесені до басейну Брусниці, насправді стік з них надходить безпосередньо в річку Прут, а не в Брусницю.

Отже, використання DEM і автоматизованих інструментів для моделювання водозбору в QGIS дозволяє отримати більш точні та деталізовані межі басейну. Проте через особливості алгоритму і специфіку рельєфу можуть виникати помилки, коли до басейну додаються території, що насправді належать до іншої водозбірної системи. У даному випадку автоматизована модель включила пригирлові ділянки, стік з яких прямує безпосередньо до Пруту, а не до Брусниці.

3.4.1. Використання інструментарію «Catchment Area/ Площа водозбору»

Площею водозбору називають територію, де вода стікає по топографічному рельєфу і включає в себе стік води в навколишні річки, струмки та озера.

Створений шар Catchment Area після створення продемонструє нам:

- Площу водозбору кожної клітинки: Кожна точка на шарі відображає площу, з якої стікає вода до цієї клітинки. Це фактично сума територій, які забезпечують стік до конкретної точки.
- Напрямок і інтенсивність потоку: Зони з великою площею водозбору показують області, де буде сильніший потік води. Це може вказувати на місця потенційного формування річок, струмків або інших водотоків.
- Класифікацію за гідрологічними характеристиками: Шар дозволяє ідентифікувати верхів'я (зони з мінімальною площею водозбору), схили, де відбувається накопичення води, і основні річкові русла з найбільшою площею водозбору.

Що можна дізнатися з шару Catchment Area:

1. Гідрологічні зони водозбору: можна визначити межі водозбірних басейнів, а також підрозділи в межах басейнів, що допомагає в розумінні гідрологічної структури території.

– **Інтенсивність стоку води:** чим більше значення площі водозбору, тим більше води буде накопичуватися в цій точці під час дощу. Це дозволяє оцінити інтенсивність потоку в різних частинах рельєфу, що важливо для моделювання потоків і прогнозування ризиків паводків.

– **Можливі зони ерозії та осадження:** території з високою площею водозбору можуть бути більш схильними до ерозії через інтенсивний потік води. У місцях з меншими значеннями площі водозбору можливо буде спостерігатися накопичення осадів.

– **Розміщення та масштабування водних об’єктів:** Catchment Area допомагає визначити, де саме можуть формуватися водотоки, болота, струмки чи річки, залежно від розміру та характеристик водозбору.

– **Оцінка можливостей для водозбірних споруд:** інформація про площу водозбору може бути корисною для визначення оптимальних місць для розміщення дренажних систем, гребель чи водозбірників, оскільки в цих зонах буде природне накопичення води.

2. Аналіз ризиків паводків та зливого стоку.

Шар дозволяє оцінити, де можуть виникати паводки під час сильних дощів. Зони з великою площею водозбору ідентифікують найбільш ймовірні шляхи зливого стоку, що важливо для попередження та планування захисту від паводків.

Для створення даного шару скористайтесь наступним шляхом Панель інструментів обробки даних —> Інструментарій обробки —> SAGA —> Terrain Analysis / Аналіз рельєфу —> Hydrology / Гідрологія —> Catchment Area / Площа водозбору.

У нас відкриється вікно в якому необхідно буде прописати параметри для створення. Цифрової моделі площі водозбору.

- Elevation (Висота) > Вставте шар даних DEM

- Method (Метод) > Виберіть одну з моделей для застосування до шару даних DEM. Необхідно зазначити що ці методи обчислюють напрямки потоку, які визначають, як вода буде розподілятися на поверхні. Кожен метод має свої особливості та підходить для різних умов рельєфу.

Існує 6 методів, з яких можна обрати при визначенні площі водозбору з DEM:

- **Детерміністичний 8 (D8)**

Це класичний метод, у якому потік води переміщується від центру однієї комірки до центру однієї з навколишніх комірок першої комірки. Це обмежує напрямок потоку до кратних 45 градусів, використовуючи 8 напрямків потоку (O’Callaghan та ін., 1984) [23].

- Rho 8

Цей метод використовує алгоритм для випадкового призначення напрямку потоку до нижчих сусідніх комірок залежно від ступеня ухилу навколишніх комірок. Комірки, що оточують центральну, зважуються відповідно до ступеня їхнього ухилу, і потік призначається залежно від розрахованої ваги (Wainwright та ін., 2013) [28].

- Модель рельєфу Брауншвейга (Braunschweiger Reliefmodell)

Цей метод використовує алгоритм для визначення множинних напрямків потоку. Модель дозволяє потоку розсіюватися до кількох суміжних комірок, що знаходяться нижче по схилу від центральної комірки. Модель обмежує потік до трьох комірок, таким чином обмежуючи загальне розсіювання потоку DEM (Buchanan та ін., 2014) [21].

- Детерміністичний нескінченний (Deterministic Infinity)

Ця модель визначає потік води від однієї комірки до двох навколишніх комірок. Модель враховує двовимірну схему потоку і є рекомендованою для зменшення обмежень моделі D8 (Olaya, V., 2004) [26].

- Множинний напрямок потоку (Multiple Flow Direction)

Ця модель припускає, що потік відбувається в усіх напрямках вниз по схилу від будь-якої заданої точки (Wolock та ін., 1995) [30].

- Catchment Area → напишіть ім'я файлу та вкажіть місце розташування, обов'язково латиницею.

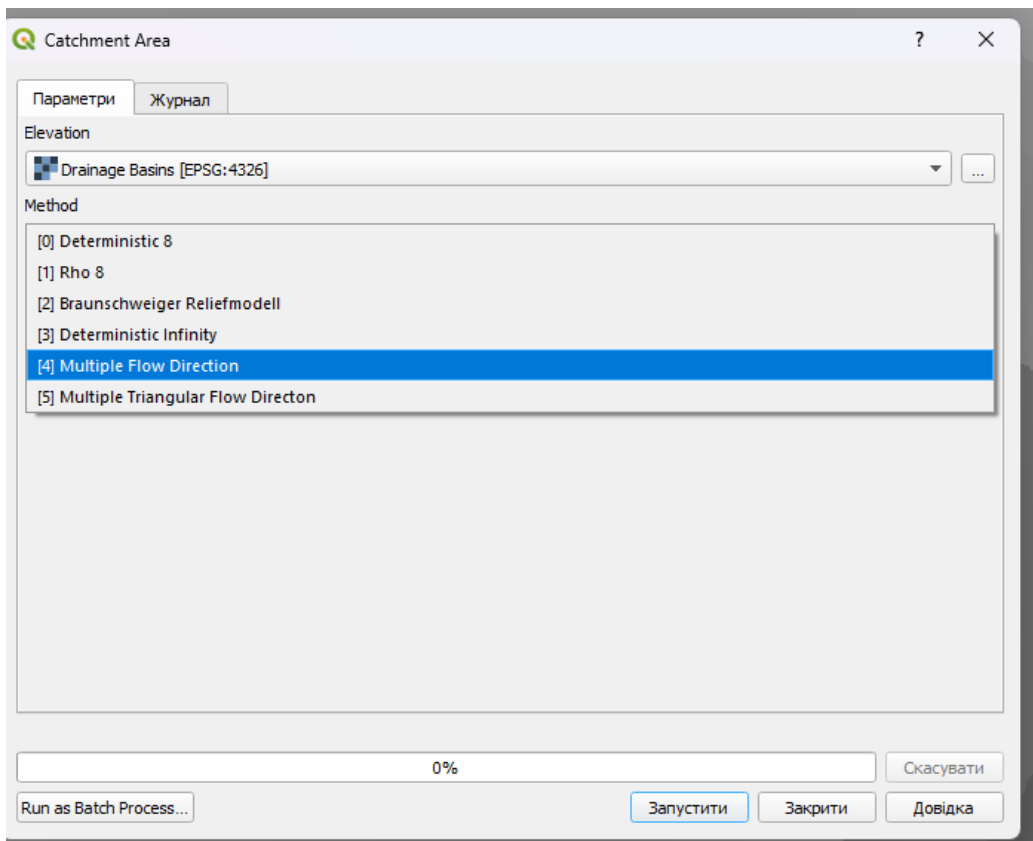


Рис 3.10. Шлях для вибору методу розрахунку напрямку потоку для басейну річки Брусниця з допомогою QGIS 3.22 (в плагіні «Площі водозбору/ Catchment Area»)

Для вибору методу розрахунку площі водозбору важливо враховувати тип рельєфу. Для рівнинних та слабо пересічених територій оптимально підходить метод детерміністичного напрямку (D8), оскільки він добре працює для простих, рівнинних ландшафтів із чітко визначеними потоками води. У гірських районах з різкими перепадами висот доцільно використовувати детерміністичний нескінченний метод (Doo) або метод множинного напрямку потоку (MFD), які забезпечують точніший розподіл потоку по складних схилах. Для передгірних територій або рельєфів зі змінними нахилами корисними є модель рельєфу Брауншвейга або метод Rho 8, які дозволяють враховувати зміни нахилів і розсіювання потоку на помірних схилах. Нарешті, для пересічених територій зі складним рельєфом краще обирати метод множинного напрямку потоку (MFD) або Deo, оскільки вони підходять для ландшафтів, де вода може розтікатися в кілька напрямків [23-30].

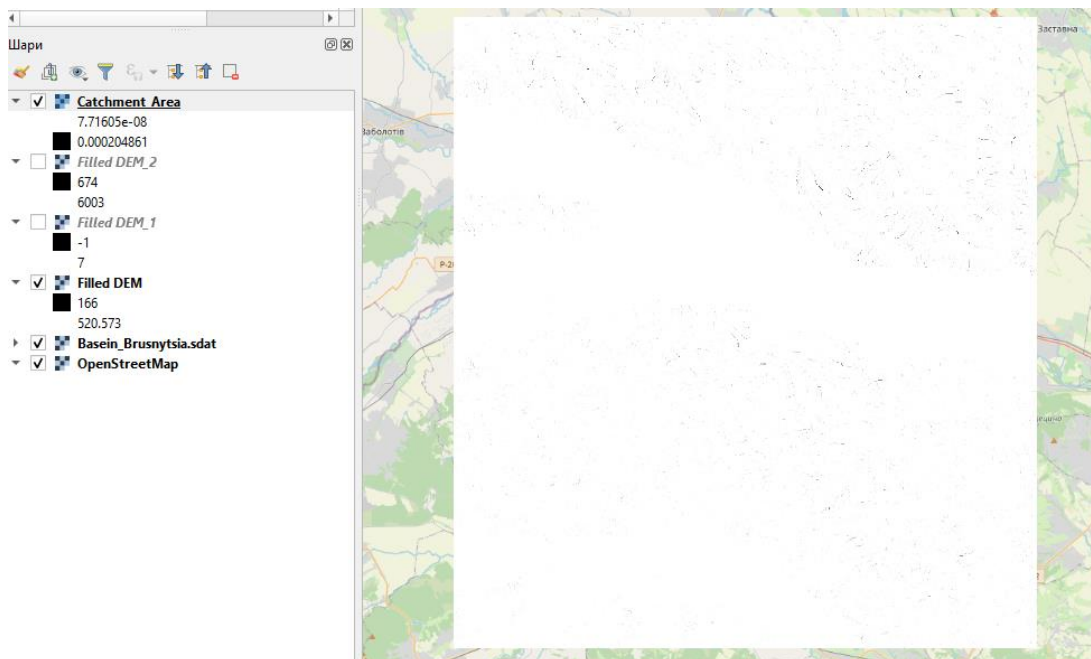


Рис 3.11. а) Результат створення «Площі водозбору/ Catchment Area» для басейну річки Брусниця з допомогою QGIS

Нами був обраний метод для визначення напрямку потоку Multiple Flow Direction (MFD). Річка Брусниця розташована в передгір'ї, де рельєф може бути різноманітним і складним. У такій місцевості потоки води не завжди спрямовані в одному чіткому напрямку, і вода може розподілятися на кілька шляхів. MFD дозволяє моделювати потік води в різних напрямках одночасно, що краще відповідає реаліям складного рельєфу.

При створенні обов'язково вказувати назву вихідного файлу латиницею і шлях до папки зберігання файлу.

Шар Catchment Area (Площа водозбору), створений за допомогою інструмента Catchment Area в QGIS, відображає площу водозбору для кожної клітинки в цифровій моделі рельєфу (DEM). Іншими словами, цей шар показує, яка кількість території "живить" кожну точку (клітинку) стоком води, що стікає з навколишніх територій.

Як можна побачити, модель створена з допомогою SAGA GIS (рис. 3.12.б.) більш інформаційна ніж в QGIS (рис 3.12. а) і краще, візуально сприйнятливніше демонструє інформацію.

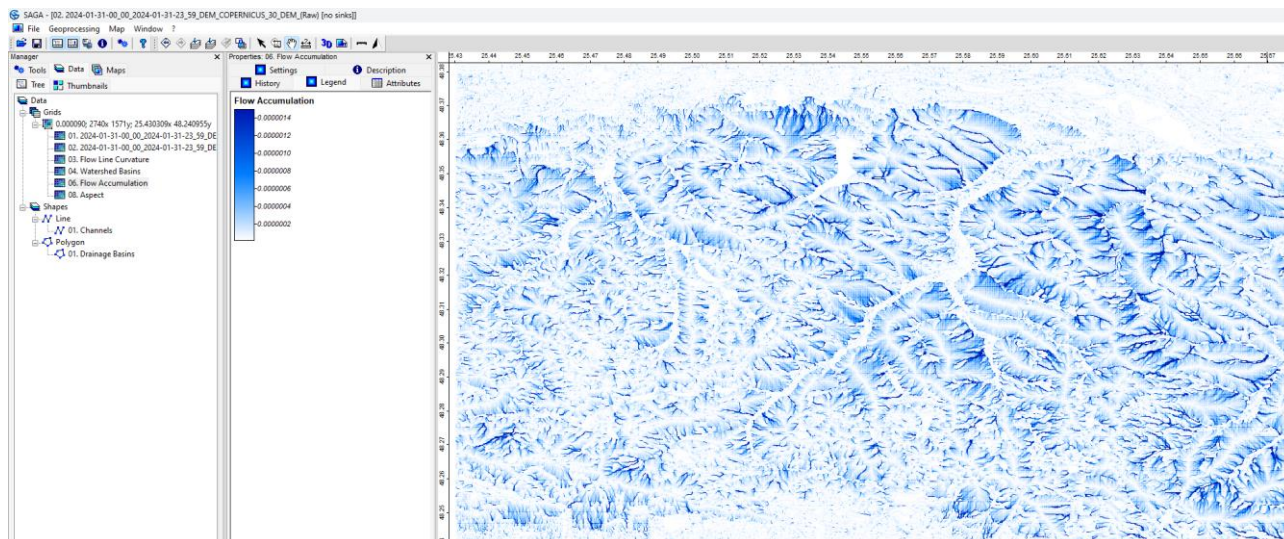


Рис 3.11. б) Результат створення «Площі водозбору/ Catchment Area» для басейну річки Брусниця з допомогою SAGA GIS 2.3.1.

Отож, шар Catchment Area показує площу водозбору кожної клітинки і дозволяє ідентифікувати зони водозбору, напрямки стоку, інтенсивність потоків і можливі зони ерозії або накопичення осадів. Він є важливим інструментом для гідрологічного аналізу, моделювання паводків, планування інфраструктури та управління природними ресурсами.

3.4.2. Використання інструментарію «Channel Network and Drainage Basins / Мережа каналів та дренажні басейни» для дослідження басейну річки Брусниця

«Channel Network and Drainage Basins / Мережа каналів та дренажні басейни» є інструментом у QGIS, який дозволяє створити кілька ключових шарів на основі цифрової моделі рельєфу (DEM). Ці шари допомагають зрозуміти гідрологічну структуру території, напрямок потоків води, розташування водозбірних басейнів, каналів та їх вузлів. Ось що означають і які дані надають кожен з цих шарів:

Flow Direction (Напрямок потоку) показує напрямок, в якому вода тече з кожної клітинки DEM. Кожна клітинка має напрямок стоку, що вказує, в яку

сторону вода буде рухатися на основі нахилу рельєфу. Даний шар дозволяє зрозуміти загальний напрямок водного потоку та побачити, як вода розподіляється по поверхні території. Він служить основою для подальшого аналізу стоку, створення водозбірних басейнів і виявлення основних шляхів руху води. Flow Direction також використовується для моделювання ризиків затоплення та оцінки розподілу опадів.

Strahler Order (Порядок Штралера) відображає гідрологічний порядок каналів, призначаючи їм значення на основі ієрархії річкової системи. Порядок зростає зі збільшенням злиття річок. Згенерований шар дозволяє ідентифікувати основні водні потоки, від малих струмків до великих річок, а також їх ієрархічну структуру. Порядок Штралера використовується для аналізу структури річкової мережі, прогнозування швидкості потоку та визначення зон із найбільшою концентрацією води.

Drainage Basins (Водозбірні басейни) показує межі басейнів, тобто області, з яких вода стікає в одну точку або річкову систему. Кожен басейн включає території, що живлять конкретний водний потік. З цього шару можна визначити межі водозборів та площу, з якої відбувається стік води до конкретного каналу або річкової системи. Він є важливим для управління водними ресурсами, планування дренажних систем та екологічного аналізу, оскільки дозволяє зрозуміти, які території впливають на обрану річку чи струмок.

Channels (Канали) представляє лінії річкових русел або потоків води, які проходять через територію. Він показує розташування основних каналів водотоків, через які тече вода. З цього шару можна визначити основні шляхи стоку води по території. Це важливо для вивчення річкових систем, аналізу стоку та планування дренажу. Канали є важливими компонентами для управління наводками, оскільки вони показують, де вода буде накопичуватися та стікати під час дощів або танення снігу.

Junctions (Вузли) показує точки злиття або розгалуження водних потоків у річковій мережі. Ці точки є важливими елементами річкової системи, де

відбувається злиття двох або більше водних потоків. Цей шар дозволяє ідентифікувати ключові точки річкової мережі, де об'єднуються різні потоки води. Це корисно для моделювання гідрологічних процесів, оцінки обсягів води, що накопичується в річковій системі, і прогнозування ймовірних зон паводків. Junctions допомагають визначити місця, де відбувається максимальне накопичення води або відбувається зміна напрямку потоку.

Отож даний інструментарій дозволяє створити мережу каналів і водозбірні басейни на основі цифрової моделі рельєфу. Для того щоб запустити інструментарій Channel Network and Drainage Basins у QGIS, виконаємо наступні дії:

1. Відкриваємо Панель інструментів обробки у QGIS (меню Обробка —» Інструментарій обробки або натисніть F7).

2. У панелі інструментів знаходимо SAGA → Terrain Analysis → Hydrology → Channel Network and Drainage Basins.

У діалоговому вікні Channel Network and Drainage Basins (див. рис. 3.12) налаштуйте наступні параметри:

Elevation (DEM): вибираємо шар, який представляє нашу цифрову модель рельєфу (DEM) після опрацювання у Fill Sinks (Wang & Liu). Це базовий шар, на основі якого будуть визначатися водозбори і канали.

Threshold (Поріг): вводимо числове значення для порогового значення. Цей параметр визначає мінімальну площу водозбору, необхідну для початку каналу. Він дозволяє контролювати щільність річкової мережі, що створюється на основі цифрової моделі рельєфу (DEM). Для визначення значення порогу слід враховувати масштаби території. Для великих водозбірних басейнів, таких як річкові системи, рекомендується використовувати вище значення порогу, щоб сформувати лише основні канали. Для малих річок або дрібних водозборів можна використовувати нижчі значення порогу, щоб отримати більше деталей і менші канали.

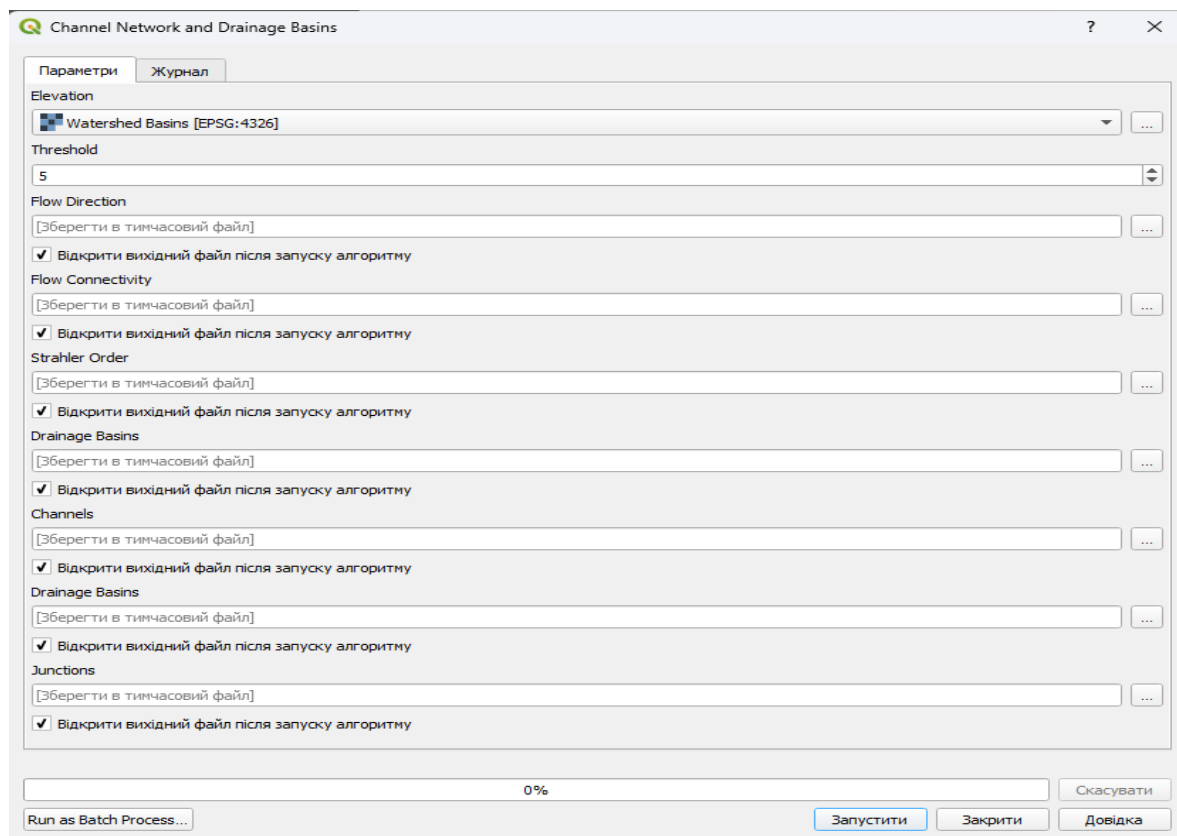


Рис. 3.12 Налаштування параметрів інструменту «Channel Network and Drainage Basins» у QGIS для розрахунку мережі каналів та водозбірних басейнів

Менші значення порогу, наприклад 1-5, дозволяють створити густішу мережу каналів. Це підходить для детального аналізу на невеликих площах або в місцях з дрібними водотоками. Вищі значення порогу, наприклад 50 або більше, створюють менш щільну мережу каналів, залишаючи лише головні водні шляхи. Це корисно для великих водозбірних територій, де важливо виділити основні потоки. Наприклад, якщо поріг встановлено на значення 5, це означає, що канал почне формуватися, коли площа водозбору досягає 5 клітинок (враховуючи розмір клітинки DEM). Це значення фактично контролює, які ділянки вважаються достатньо великими для початку річкового потоку. Для рівнинних територій часто використовують нижчі значення порогу, оскільки рельєф може бути менш вираженим, і дрібні потоки є важливими. У гірських регіонах, де канали зазвичай формуються тільки на більших площах водозбору через різкі схили, можна встановити вищий поріг. Таким чином, значення

порогу варіюється в залежності від цілей дослідження, типу рельєфу та масштабу території, яку аналізують.

Flow Direction: Вибираємо шлях у папку куди формується даний файл для збереження шару. Даний файл визначає напрямок потоку води з кожної клітинки DEM.

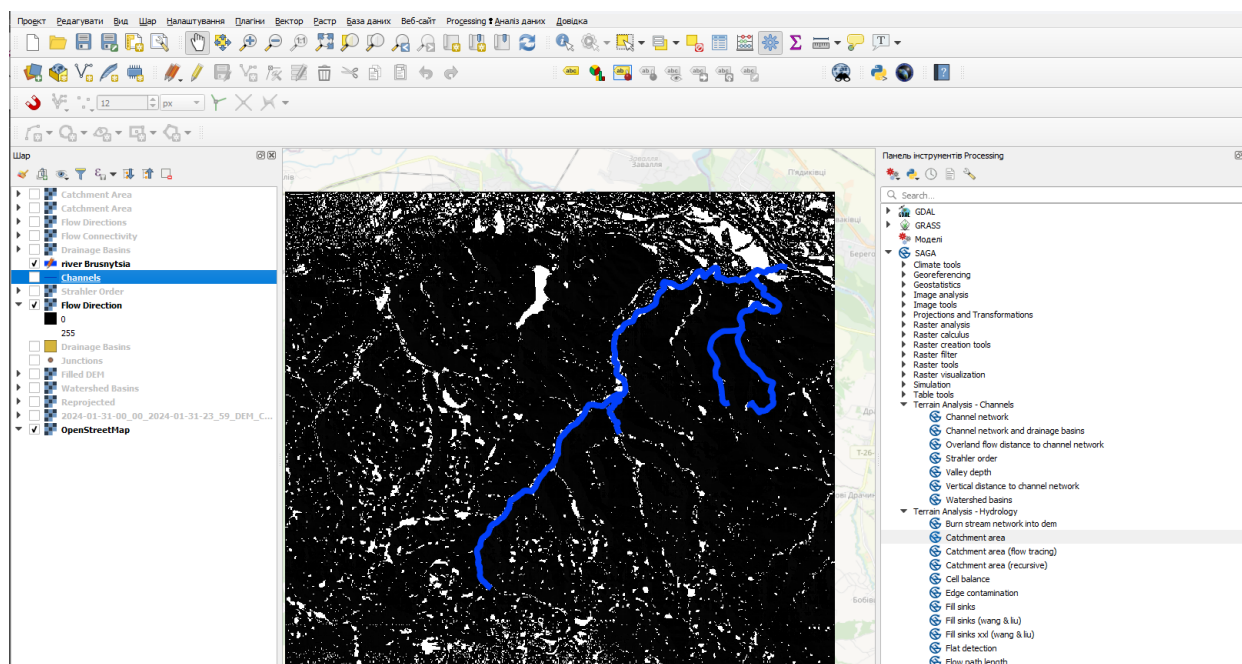


Рис. 3.13 Шар «Flow Direction» створений для басейну річки Брусниця з наведеною гідрологічною мережею з допомогою QGIS 3.22

Flow Connectivity: Вибираємо шлях у папку куди формується даний файл для збереження шару. Даний шар покаже, наскільки клітинки пов'язані одна з одною у водозбірній мережі.

Strahler Order: Вибираємо шлях у папку куди формується даний файл для збереження шару. Він використовується для визначення ієрархічної структури каналів.

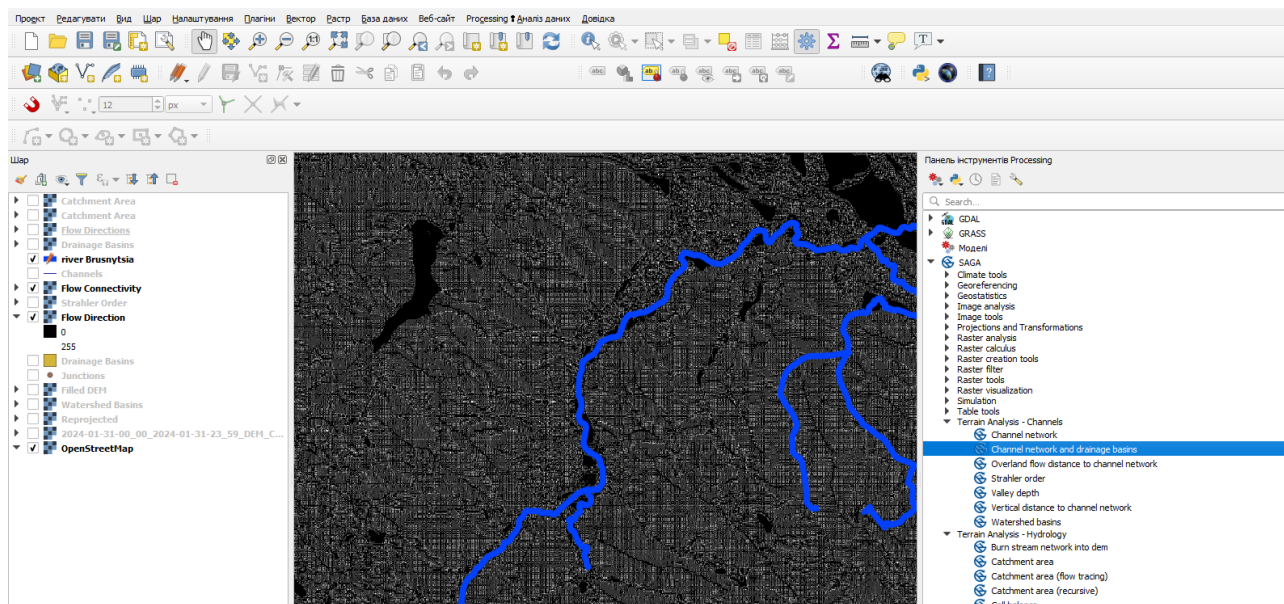


Рис. 3.14 Шар «Flow Connectivity» створений для басейну річки Брусниця з наведеною гідрологічною мережею з допомогою QGIS 3.22

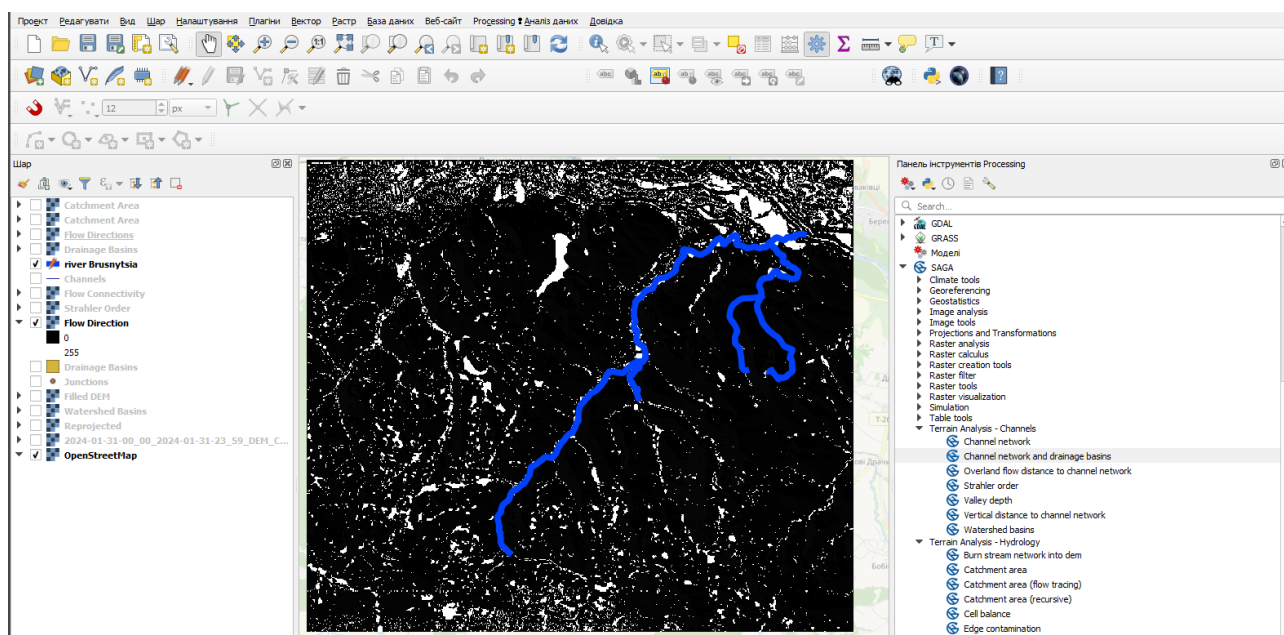


Рис. 3.15 Шар «Strahler Order» створений для басейну річки Брусниця з наведеною гідрологічною мережею з допомогою QGIS 3.22

Drainage Basins: Вибераємо шлях у папку куди формується даний файл для збереження шару. Створений шар покаже межі водозбірних басейнів.

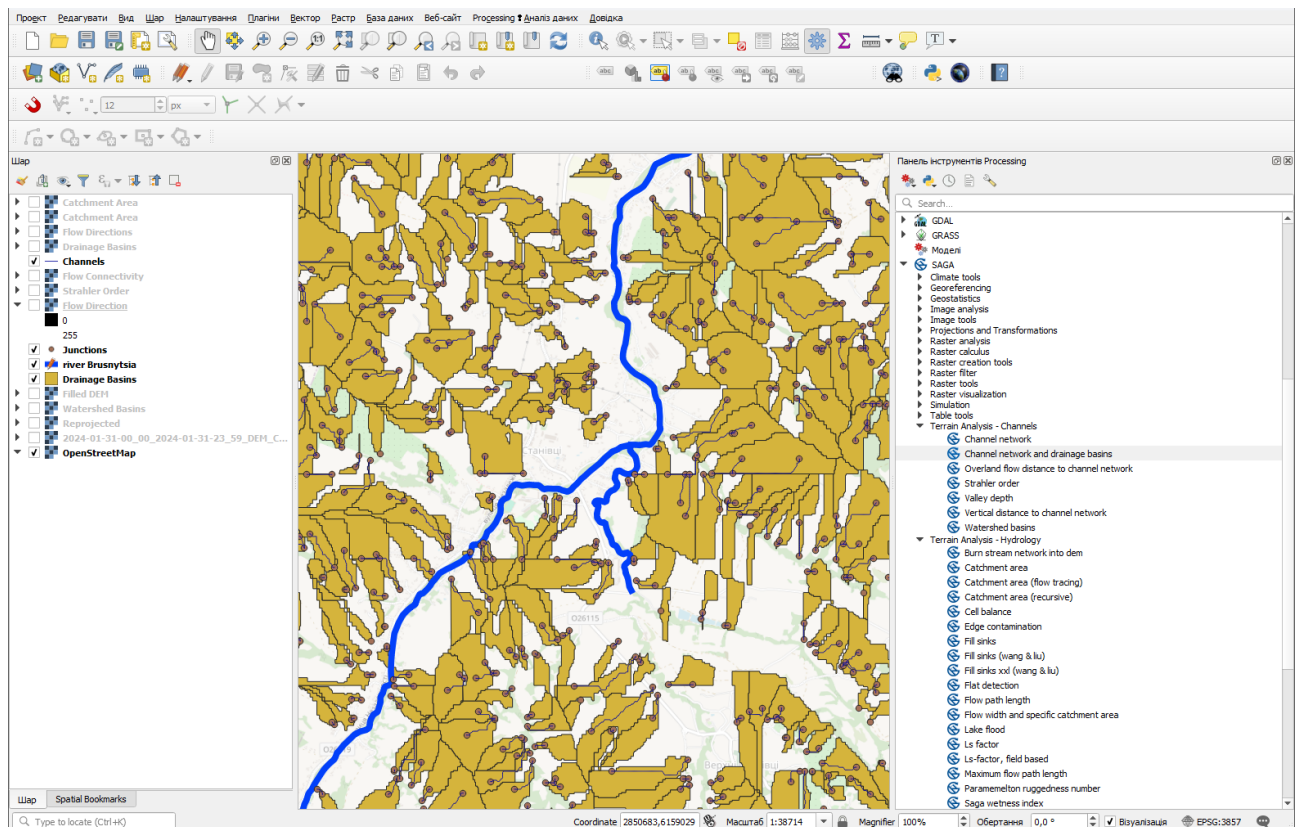


Рис. 3.16 Шари «Drainage Basins». «Channels» та «Junctions» створені для басейну річки Брусниця з наведеною гідрологічною мережею з допомогою QGIS 3.22

Channels: Вибираємо шлях у папку куди формується даний файл для збереження шару. Отриманий шар дозволить відобразити мережу річкових каналів.

Junctions: Вибираємо шлях у папку куди формується даний файл для збереження шару. Цей шар показує точки злиття різних водних потоків у мережі.

Використання інструментарію «Channel Network and Drainage Basins» у QGIS дозволило створити детальну гідрологічну модель басейну річки Брусниця, забезпечуючи глибоке розуміння структури водозбору та мережі каналів. Шари, згенеровані на основі цифрової моделі рельєфу (DEM), дали можливість проаналізувати напрямки потоку (рис. 3.11), ієрархію каналів (рис. 3.12 - 3.13), межі водозбірних басейнів, а також визначити ключові точки злиття водних потоків (рис. 3.16). Кожен із створених шарів, зокрема Flow Direction,

Strahler Order, Drainage Basins, Channels та Junctions, надає унікальну інформацію про рельєф і гідрологічні особливості території, що може бути корисним для планування водних ресурсів, управління паводками та екологічного моніторингу. Відповідний вибір параметра Threshold (Поріг) дозволяє налаштувати густоту річкової мережі, враховуючи масштаб і характер території, що аналізується.

Висновки до 3 розділу

У даному розділі було виконано комплексне формування цифрової бази даних для басейну річки Брусниця, що включає просторову інформацію про гідрологічні та геоморфологічні характеристики території. Метою роботи було створення багат шарової моделі, яка б дозволила всебічно охарактеризувати басейн річки, зокрема його рельєф, напрямки потоків, структуру річкової мережі та межі водозбору. Завдяки використанню цифрової моделі рельєфу (DEM) та інструментів програмного забезпечення SAGA GIS і QGIS, вдалося отримати точну й об'єктивну картину гідрологічної структури території.

Основою цифрової моделі став шар висот DEM, який був попередньо оброблений за допомогою інструмента Fill Sinks (Wang & Liu) для усунення западин і точок, що можуть викликати накопичення води в рельєфі. Ця операція забезпечила створення безперервної поверхні, що дозволило знизити помилки у розрахунках напрямку стоку і визначенні меж водозборів. Після заповнення западин було виконано побудову шару Flow Direction (Напрямок потоку), який відображає напрямок водного потоку з кожної клітинки DEM. Цей шар дозволяє зрозуміти загальний напрямок водного потоку на території басейну, а також побачити, як вода розподіляється по поверхні, рухаючись від високих до нижчих точок рельєфу. Отриманий шар напрямку потоку є основою для подальшого аналізу стоку та формування водозбірних басейнів.

Для гідрологічного упорядкування річкової системи було створено шар Strahler Order (Порядок Штралера). Цей інструмент призначає кожному каналу

номер, що відповідає його ієрархічній позиції в річковій мережі: від дрібних потоків до основних річок. Шар Strahler Order дозволяє ідентифікувати основні водні потоки та їх структуру, допомагаючи зрозуміти, як дрібні потоки об'єднуються, утворюючи більші річки. Це є важливим елементом для прогнозування швидкості потоків, аналізу водного балансу, визначення зон із найбільшою концентрацією води, що особливо актуально для управління водними ресурсами та планування дренажних систем.

Ключовим етапом роботи було створення шару Drainage Basins (Водозбірні басейни), який дозволяє побачити межі басейну річки Брусниця. Цей шар визначає території, з яких вода стікає в певну річкову систему чи точку. Розрахунок меж водозбору є важливим аспектом для визначення впливу певних територій на обрану річкову систему та управління її водними ресурсами. Модель водозбірних басейнів була побудована на основі результатів попередніх шарів, зокрема напрямку потоку та моделі рельєфу, що забезпечує точність і надійність визначення меж водозбору. Завдяки цьому шару вдалося визначити площу, з якої здійснюється стік у річкову систему Брусниці, що є важливим для оцінки водного балансу, управління ризиками паводків та екологічного моніторингу.

Ще одним значущим компонентом бази даних став шар Channels (Канали), який відображає мережу річкових русел, через які здійснюється основний стік води. Цей шар був створений на основі гідрологічного аналізу рельєфу і дозволяє побачити основні шляхи руху води по території басейну. Мережа каналів є важливою для вивчення річкових систем, планування заходів щодо управління паводками, розробки дренажних систем та оцінки впливу антропогенної діяльності на річкову систему. Визначення розташування каналів дає змогу передбачити, де вода буде накопичуватися або розподілятися під час інтенсивних опадів чи танення снігу, що є критично важливим для запобігання паводковим явищам.

Окрім того, створений шар Junctions (Вузли) показує ключові точки в річковій мережі, де відбувається злиття або розгалуження потоків води. Цей

шар дозволяє ідентифікувати місця, де об'єднуються кілька потоків, утворюючи більші водні потоки. Аналіз вузлів річкової мережі важливий для моделювання гідрологічних процесів, прогнозування обсягів накопичення води та оцінки ризиків паводків, оскільки в цих точках можуть накопичуватися значні обсяги води, які впливають на гідрологічну ситуацію в басейні.

Таким чином, у четвертому розділі було досягнуто основної мети роботи — сформувати цифрову базу даних басейну річки Брусниця, що включає ключову просторову інформацію про його гідрологічні та геоморфологічні характеристики. Отримана база даних є комплексною та містить шари, що дозволяють детально аналізувати водозбірний басейн, його рельєфні особливості, напрямки стоку та структуру річкової мережі. Створена модель надає об'єктивну інформацію, яка може бути використана для екологічного моніторингу, прогнозування паводків, управління водними ресурсами та в подальших наукових дослідженнях щодо території басейну річки Брусниця.

ВИСНОВКИ

Малі річки тісно пов'язані з економікою прилеглих територій і відіграють значну роль у розвитку соціального середовища. Проведені дослідження гідроекологічного стану поверхневих вод Кіцманського району дали змогу зробити наступні висновки:

1) незважаючи на ряд досліджень вченими-гідрологами ЧНУ під керівництвом професора М.І. Кирилюка та спеціалістами управління малих річок - річки Рокитна, Гуків, Черлена, Динівці та Рингач, як і багато інших в нашому краї, ще не достатньо обстежені та вивчені. На них немає стаціонарних гідрологічних постів, не в повній мірі проводиться моніторинг їхнього екологічного стану; територія району характеризується густою мережею водотоків. Середня густота річкової сітки $0,8 \text{ км/км}^2$. Основними водними артеріями району є Прут і Черемош, а найменшими - Брусниця, Совиця Ставчанська, Совиця Кіцманська. Крім річок, гідрографічна мережа представлена струмками та тимчасово діючими потоками, а також водоймищами: ставками і озерами. Можна стверджувати, що досліджувана територія достатньо забезпечена водними ресурсами.

2) На Кіцманщині знаходиться багато агропідприємств і спілок, які в процесі своєї діяльності, через обробіток сільськогосподарських угідь з нераціональним використанням добрив, гербіцидів та пестицидів завдають великої шкоди водним джерелам; водні ресурси досліджуваної території потерпають від забруднень стічними водами, які скидаються житлово-комунальними господарствами, підприємствами та установами. Найбільші з них: Лужанський експериментальний завод, Неполоківецький комбінат хлібопродуктів, Неполоківецький ДОК, Неполоківецький гравійно-піщаний кар'єр, Ошихлібський консервний завод, птахофабрика с. Мамаївці, ремонтно-транспортні підприємства м. Кіцмань, Брусницька водолікарня, житлові будинки м. Кіцмань, с. Мамаївці та с. Малятинці, ДДУ с. Кліводин, ЗНЗ с. Лашківка, ДДУ і ЗНЗ с. Іванківці, ЗНЗ с. Малятинці. ДДУ і ЗНЗ с. Брусниця,

ЗНЗ с. Реваківці, ДДУ с. Оршівці; під впливом джерел забруднення відбуваються значне погіршення санітарно-екологічного стану чотирьох основних артерій досліджуваної території: Прут, Брусниця, Совиця Кіцманська, Совиця Ставчанська; надміру інтенсивне використання в народному господарстві як самих річок, так і водозборів порушує їх природний гідрохімічний та гідробіологічний режим, зменшує водність і глибину, річки замулюються і заростають, збільшується їх евтрофікація за рахунок накопичення сполук азоту, фосфору та калію. Відмічено повсюдне забруднення води і донних відкладень річок господарсько-побутовими стоками, які вміщують величезну кількість органічних та біогенних елементів, пестицидів, важких металів, детергентів тощо порівнюючи дані хімічного і бактеріологічного аналізу підземних вод за 2011-2014 роки, можна констатувати факт, що відсоток позитивних бактеріологічних проб в два три рази перевищує відсоток негативних хімічних, які не відповідають гранично допустимим нормам (ГДН). Одже актуальність вивчення бактеріологічного забруднення підземних вод потребує подальшого систематичного, глибокого вивчення; ми провели також класифікацію річок за Водною рамковою директивою за двома системами - системою А та системою В, що подані в роботі, а також обчислили ступінь антропогенної перетвореності басейнів даних річок; покращити санітарно- екологічний стан поверхневих та підземних вод можливо тільки за рахунок: заміни старих, фізично і морально застарілих очисних споруд, на нові більш досконалі, які відповідають світовим нормам та стандартам, а також безперервний і жорсткий контроль за їх функціонуванням; створення нових та впорядкування існуючих сміттєзвалищ; зміни світогляду та світобачення громадян району до проблем пов'язаних з охороною навколишнього природного середовища.

3) У четвертому розділі кваліфікаційної роботи основний акцент зроблено на використанні програмного забезпечення QGIS 3.22 та SAGA GIS для створення цифрової бази даних басейну річки Брусниця. Використано кілька важливих інструментів і плагінів, серед яких ключовими були SAGA GIS для

моделювання рельєфу та аналізу гідрологічних параметрів. Особливу увагу приділено інструментам "Fill Sinks (Wang & Liu)" для заповнення западин у цифровій моделі рельєфу, що забезпечило безперервну поверхню для аналізу стоку. Це дозволило мінімізувати помилки, пов'язані з накопиченням води у замкнених областях рельєфу, що є важливим для точного визначення напрямків потоку. Також використано інструмент "Flow Direction" для побудови шару напрямків потоку, який показує рух води по території та дозволяє чітко зрозуміти, як вода розподіляється по басейну. Цей шар слугує базою для формування водозбірних басейнів та аналізу структури річкової мережі. Додатково застосовано плагін "Strahler Order", який допомагає визначити ієрархію річкових потоків, що сприяє детальному аналізу водних шляхів та їх злиття, а також дозволяє виділити основні й другорядні потоки у річковій мережі. Результатом роботи стала детальна багатошарова модель басейну річки Брусниця, що включає межі водозбору, канали, вузли та інші гідрологічні параметри. Ця модель дозволяє отримати точну і надійну інформацію про гідрологічну структуру території, яка є корисною для подальшого екологічного моніторингу, управління водними ресурсами та планування дренажних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз діяльності санепідемслужби по розділу комунальної гігієни та охорони навколишнього середовища. - Чернівці, - 2003. - 5 с., рукопис
2. Байрак Г. Зміни русел малих рік в контексті змін лісистості їхніх басейнів (на прикладі р.Підбуж Старосамбірського району). Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій, 2016. Вип. 1. - С. 18-31.
3. Географія Чернівецької області: Навч. посібник, Чернівці: Управління освіти Чернівецької обласної державної адміністрації / за ред. Я. І. Жупанського, 1993. - С. 32-38.
4. Гідрологічні та водно-балансові розрахунки / Під ред. М.Г. Галущенко - К.: Вища школа, 1985. - 215 с.
5. Горев Л.М. Гідрохімія України /Л.М. Горев, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський. - К.: Вища школа., 1995. - 307 с.
6. Горев Л.М. Регіональна гідрохімія / Горев Л.М., Никаноров А.М., Пелешенко В.І. - К: Вища школа., 1989. - 280 с.
7. Гуцуляк В.М. Ландшафтно геохімічна екологія / Гуцуляк В.М. - Чернівці: Рута. 2002. - 272 с.
8. Державні санітарні правила і норми «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання, - 23.12.1996.-46с.
9. Звіт Кіцманської СЕС «Про санітарний стан річок району», від 25.01.2012. -4с., рукопис
10. Звіт Кіцманської СЕС «Про санітарний стан річок району», від 29.01.2013. -4с., рукопис
11. Звіт Кіцманської СЕС «Про санітарний стан річок району», від 02.02.2014. -4с., рукопис
12. Звіт Кіцманської СЕС «Про санітарний стан річок району», від 14.01.2015. -4с., рукопис

13. Місевич В.С. Географія Кіцманщини /В.С. Місевич - Чернівці: Прут. 1995.-248 с.
14. Природа Чернівецької області /за ред. К.І. Геренчука - Львів: Вища школа. 1978 - 158 с.
15. Річний звіт бактеріологічної та санітарно-гігієнічної лабораторій Кіцманської СЕС по розділу: Вода відкритих водоймищ та вода централізованого і децентралізованого водопостачання, -2014.-4 с., рукопис
16. Сніжко С.І.: Оцінка та прогнозування якості питних вод: - К.: Ніка-Центр, 2001.- 264 с.
17. Технічна документація по встановленню водоохоронних зон і прибережних смуг малих річок і водоймищ Кіцманського району Чернівецької області, Чернівці: 1981.-31 с., рукопис
18. Exploring Hydrological Analyses using SAGA GIS. Retrieved from https://dges.carleton.ca/CUOSGwiki/index.Dhp/Exploring_Hydrological_Analyses_using_SAGA_GIS
19. Exploring Hydrological Analyses using ILWIS. Retrieved from https://dges.carleton.ca/CUOSGwiki/index.php/Exploring_Hydrological_Analyses_using_ILWIS
20. Exploring the Hydrological Tools in QGIS. Retrieved from https://dges.carleton.ca/CUOSGwiki/index.php/Exploring_the_Hydrological_Tools_in_QGIS
21. Buchanan, B. P., Fleming, M., Schneider, R. 1., Richards, B. K., Archibald, J., Qui, Z., & Walter, M. T. (2014). Evaluating topographic wetness indices across central New York agricultural landscapes. Hydrology and Earth System Sciences. 18, 3279-3299. <https://doi.org/10.5194/hessd-10-14041-2013>
22. Maidment, D.. & Djokic, D. (2000). Hydrologic and Hydraulic Modeling Support with Geographic Information Systems. Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, California. 213pp. Retrieved from https://books.google.ca/books?id=A_iTo003UUAC&pg=PA217&lpg=PA217&dq=Hydrologic-and-Hydraulic-Modeling-Support-with-Geographic-Information-Systems

mation+Svstems&source=bl&ots=2bL f hode&sig=vzgJxo86Khtfb9ySitOXD
AVnNE&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwiPvfSnrtLJA hVBHD4KHdmgCb4Q6
AEILDAC#v=onepage&q=Hvdrologic%20and%20Hvdraulic%20Modeling%2
0Support%20with%20Geographic%20Information%20Svstems&f=false

23. O'Callaghan, J. F., & Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28(3), 323-344. [https://doi.org/10.1016/S0734-189X\(84\)80011-0](https://doi.org/10.1016/S0734-189X(84)80011-0)

24. Seibert, J., & McGlynn, B. L. (2007). A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models. *Water Resources Research*. 43(4). <https://doi.org/10.1029/2006WR005128>

25. Shamsi, U. M. (2005). *GIS Applications for Water, Wastewater, and Stormwater Systems*. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida. 398pp. Retrieved from <https://books.google.ca/books?id=XiHNBOAAOBAJ&pg=PA6&lpg=PA6&dq=GIS+Applications+for+Water.+Wastewater.+and+Stormwater+Svstems&source=bl&ots=IUZCoz2XWj&sig=hUIODePrP6qYS7xvObI191EPPMA&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjEu7inrtLJA hWKNT4KHWQZCYsO6AEIRiAH#v=onepage&q=GIS%20Applications%20for%20Water%2C%20Wastewater%2C%20and%20Stormwater%20Systeins&f=false>

26. Olaya. V. (2004). *A gentle introduction to SAGA GIS*. Edition 1.1. revised December 9, 2004. Revised by Javier Pineda (AESIA Desarrollo y Proyectos Medioambientales, S.L., Madrid, Spain) and Victor Olaya. Retrieved from <http://7geosun1.uni-geog.gwdg.de/saga/html/index.php>

27. Wainwright, J., & Mulligan, M. (2013). *Environmental Modeling: Finding Simplicity in Complexity*. John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex, UK. 496pp. Retrieved from

<https://books.google.ca/books?id=OMrYDOGprVwC&printsec=frontcover&source=gbsgesummaryr&cad=Q#v=onepage&q&f=false>

28. Wagener. T., Sivapalan, M., Troch, P., & Woods. R. (2007). Catchment classification and hydrologic similarity. *Geography Compass*, 1(4), 901-931. Retrieved from

<https://books.google.ca/books?id=OMrYDOGprVwC&printsec=frontcover&source=gbsgesummaryr&cad=0#v=onepage&q&f=false>

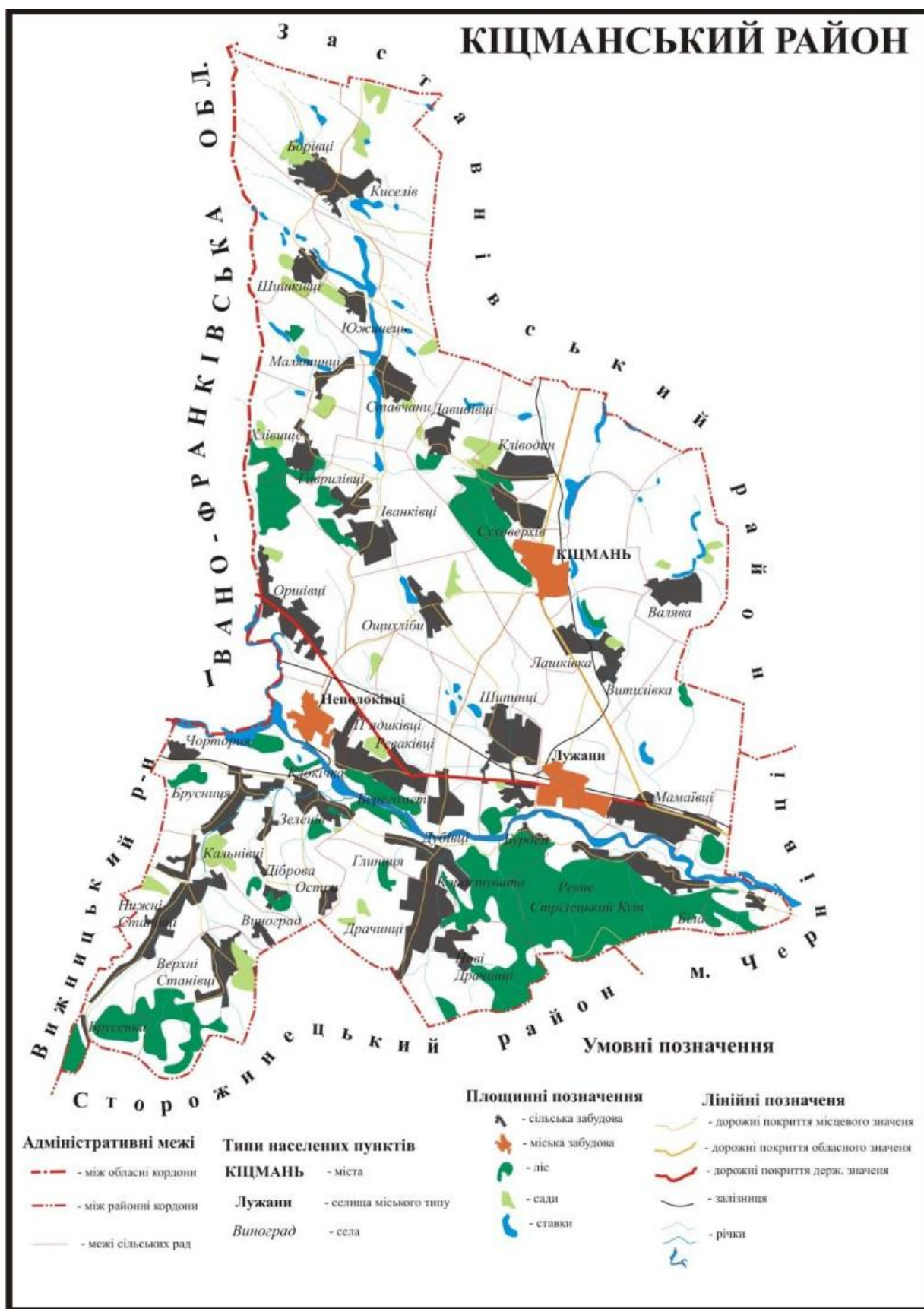
29. Wolock, D. M., & McCabe Jr., G. J. (1995). Comparison of single and multiple flow direction algorithms for computing topographic parameters in TOPMODEL. *Water Resources Research*, 31(5), 1315-1324.

<https://doi.org/10.1029/95WR00471>

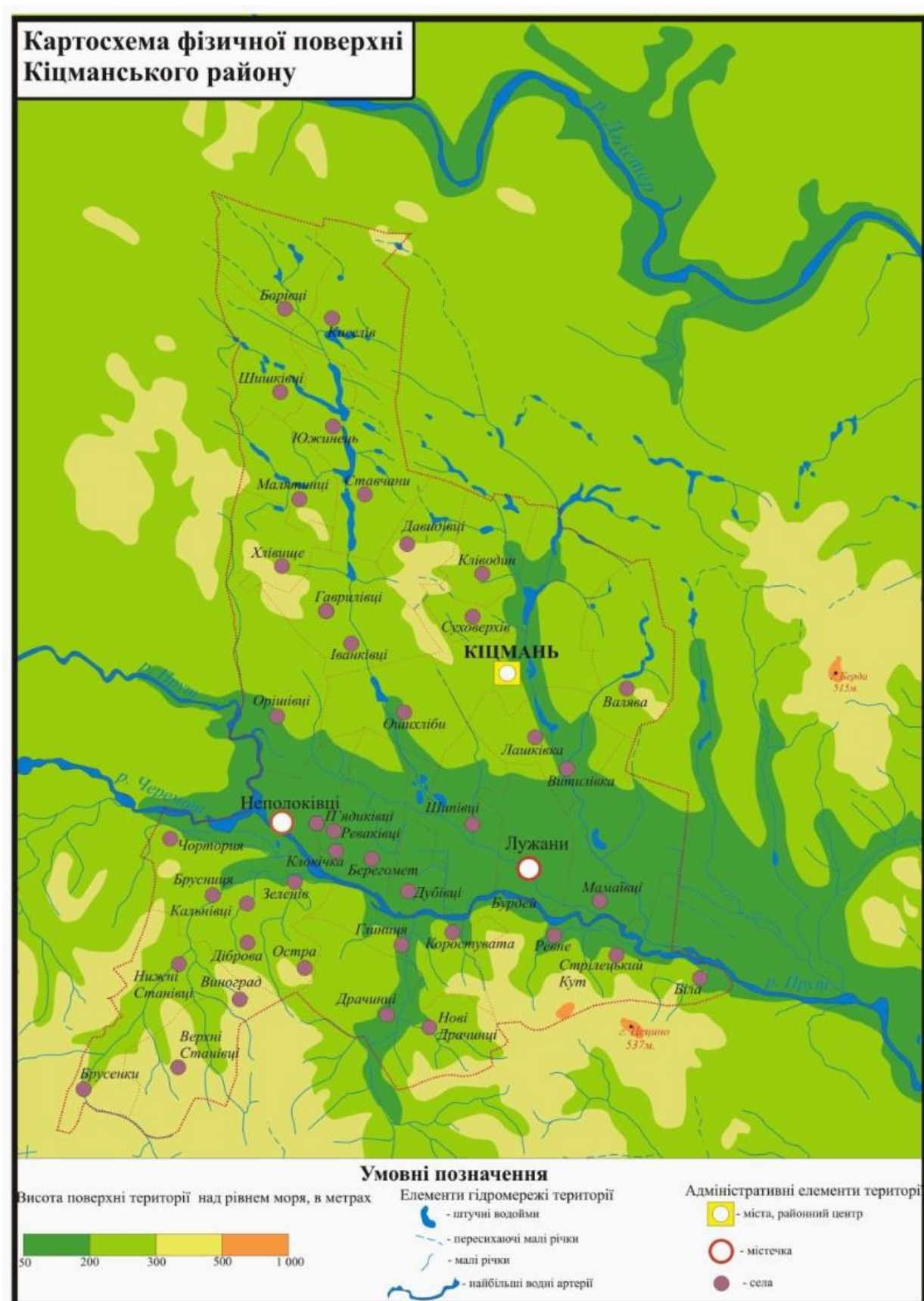
30. Copernicus Land Monitoring Service. Products including DEM. Retrieved from <https://land.copernicus.eu/>

ДОДАТКИ

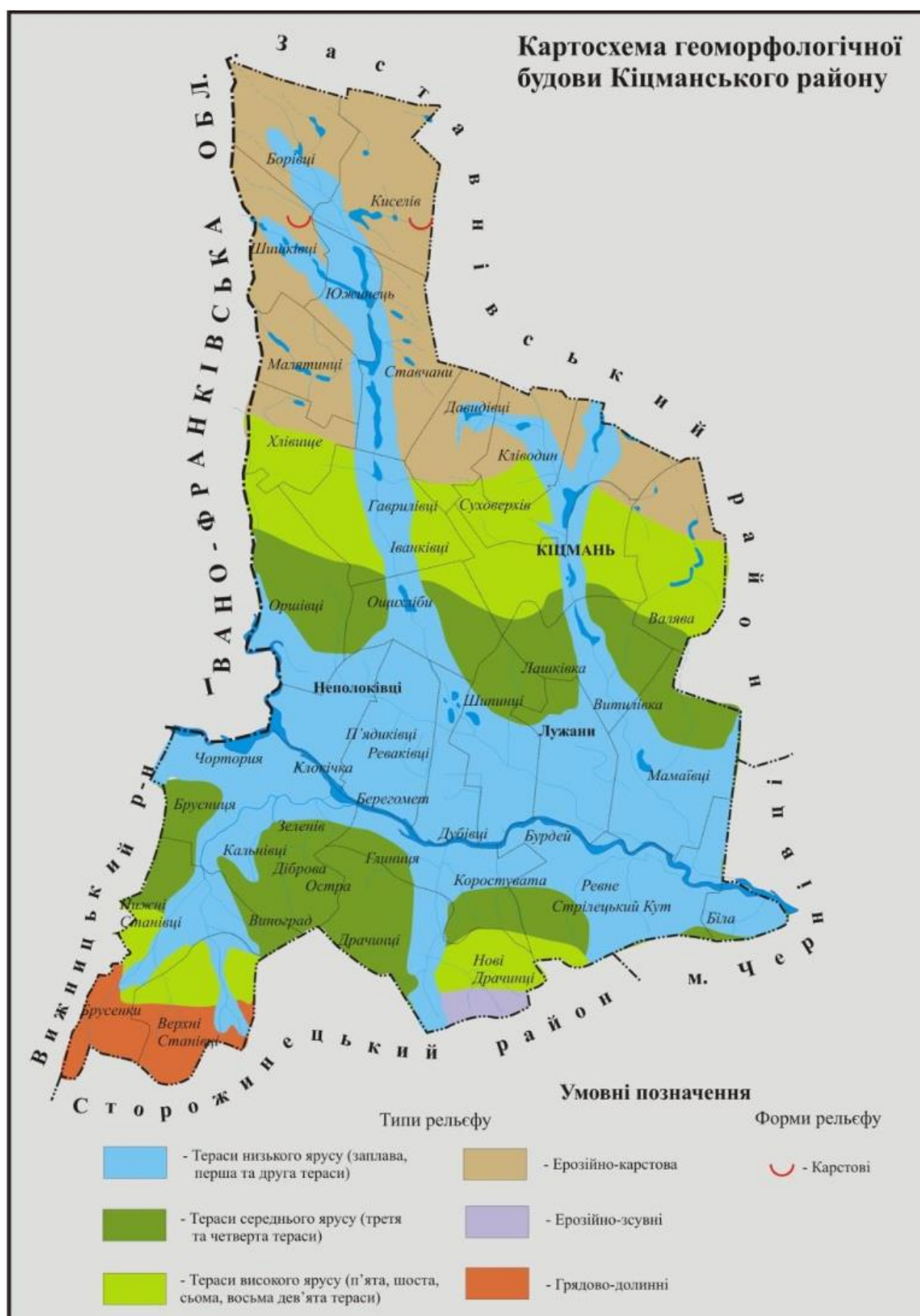
Топографічна карта Кіцманського району



Фізична поверхня Кіцманського району



Геоморфологічна будова Кіцманського району



Населення Кіцманського району

