

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет землевпорядкування**

**ПОГОДЖЕНО**

**Декан факультету**

землевпорядкування

\_\_\_\_\_ к.е.н. доц. Олександр ШЕВЧЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри**

геоінформатики і аерокосмічних  
досліджень Землі

\_\_\_\_\_ к.т.н. доц. Антоніна МОСКАЛЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему:**

**«Геоінформаційне моделювання ризиків підтоплення територій  
внаслідок руйнування Тясминської захисної дамби»**

Спеціальність - 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітня програма – Геодезія та землеустрій

Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми**

доктор економічних наук, професор

\_\_\_\_\_

Андрій МАРТИН

(підпис)

**Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи**

к.е.н.  
ЗАЯЧКІВСЬКА

\_\_\_\_\_

Богданна

(підпис)

**Виконав**

\_\_\_\_\_

Артем ТКАЧЕНКО

(підпис)

**2025**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет землевпорядкування

Завідувач кафедри геоінформатики і  
аерокосмічних досліджень Землі  
к.т.н, доцент \_\_\_\_\_ А.А. Москаленко  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**

до виконання магістерської роботи студенту

**Ткаченку Артему Андрійовичу**

**Спеціальність** 193. Геодезія та землеустрій  
(шифр і назва)

**Магістерська програма** Геоінформаційні системи в землеустрої  
(назва)

**Орієнтація освітньої програми** освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Тема магістерської роботи** «Геоінформаційне моделювання ризиків підтоплення територій внаслідок руйнування Тясминської захисної дамби».

затверджена наказом ректора НУБіП України від «18» листопада 2024р.  
№2062 «С»

*Термін подання завершеної роботи на кафедру:* за десять днів до захисту.

*Вихідні дані до магістерської роботи:*

- цифрова растрова модель даних рельєфу SRTM;
- OpenStreetMap;
- Hybrid;
- графічні і атрибутивні матеріали офіційних відкритих даних.

*Перелік питань, що підлягають дослідженню:*

- теоретико-методологічний аналіз проблематики;
- збір картографічних матеріалів та атрибутивних даних;
- формування геопросторової моделі оцінки ризиків підтоплення;
- пропозиції за результатами досліджень.

*Дата видачі завдання* \_\_\_\_\_

**Керівник магістерської** \_\_\_\_\_ **Богданна ЗАЯЧКІВСЬКА**  
**кваліфікаційної роботи, к.е.н.** (підпис)  
**Завдання прийняв до** \_\_\_\_\_ **Артем ТКАЧЕНКО**  
**виконання** (підпис)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з списку термінів, вступу, трьох розділів з висновками до кожного з них, висновків до магістерської роботи та додатків.

**Актуальність теми:** Тясминська захисна дамба створена для реалізації проекту будівництва Чигиринської атомної станції. Тясминська захисна дамба з моменту її створення відігравала роль шляхопроводу. У 2017 році було зафіксоване просідання дамби на 0,5 метра. Як наслідок значного навантаження шляхопроводу були зафіксовані тріщини, і тому з 2018 року вона закрита для великогабаритних транспортних засобів. Дамба захищає навколишні населені пункти від підтоплення і тому її значне руйнування потенційно може завдати значних збитків. Саме тому це питання є своєчасним та актуальним.

**Мета** дослідження полягає у передбаченні потенційних наслідків можливого значного руйнування Тясминської захисної дамби.

**Об'єкт дослідження** – Тясминська захисна дамба (Черкаська область).

**Предмет дослідження** – моделювання ризиків підтоплення територій внаслідок руйнування захисної дамби.

Завдання:

- 1) аналіз природних умов;
- 2) дослідження особливостей Тясминської захисної дамби (історія створення, функціонування, проблеми її захисних функцій);
- 3) збір вихідних матеріалів (наземні вишукування, засоби дистанційного зондування тощо);
- 4) моделювання потенційних ризиків підтоплення територій;
- 5) оцінка потенційних масштабів нанесеної шкоди внаслідок руйнування захисної дамби;
- 6) відновлювальні заходи для забезпечення належного функціонування Тясминської захисної дамби.

**Головним результатом досліджень** є геопросторове моделювання ризиків підтоплення внаслідок потенційного руйнування Тясьминської захисної дамби.

**Ключові слова:** геопросторова модель, моделювання ризиків підтоплення, Тясьминська захисна дамба, підтоплення території.

За темою магістерської роботи опубліковано тези:

Ткаченко А.А. ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ ВНАСЛІДОК РУЙНУВАННЯ ТЯСЬМИНСЬКОЇ ЗАХИСНОЇ ДАМБИ / ЗБІРНИК ТЕЗ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «ГЕОРОІНТ» 6-7 березня 2025 року, стор. 159-161.

Подана наукова робота для участі в I турі Всеукраїнського наукового конкурсу студентських робіт на тему: «Геопросторовий аналіз ризиків підтоплення».

## ЗМІСТ

<u>Основні терміни</u> .....	7
<u>ВСТУП</u> .....	8
<u>РОЗДІЛ 1. Теоретичні засади і проблематика об'єкта</u> .....	11
<u>1.1 Характеристика Тясминської дамби</u> .....	11
<u>1.2 Фізико-географічна характеристика річки Тясмин</u> .....	13
<u>1.3 Роль Тясминської захисної дамби для регіону</u> .....	16
<u>Висновок до розділу 1</u> .....	21
<u>РОЗДІЛ 2. Геоінформаційне забезпечення моделювання ризиків підтоплення</u> .....	23
<u>2.1 Геоінформаційні технології для здійснення геопросторового аналізу зон підтоплення</u> .....	23
<u>2.2 Методи просторового аналізу в геоінформаційних системах</u> .....	31
<u>2.3 Робота з векторними та растровими даними</u> .....	38
<u>РОЗДІЛ 3. Геоінформаційне моделювання ризиків підтоплення та сценарії реагування</u> ...	41
<u>3.1 Просторове моделювання зон підтоплення</u> .....	41
<u>3.2 Просторове моделювання зон підтоплення Тясминської захисної дамби</u> .....	46
<u>3. Аналіз результатів моделювання. Сценарії розвитку ситуації та заходи реагування</u> .....	51
<u>Висновки до розділу 3</u> .....	55
<u>ВИСНОВКИ:</u> .....	56
<u>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</u> .....	58
<u>Додатки</u> .....	65

## ОСНОВНІ ТЕРМІНИ

ОВД – Обласна військова держадміністрація

ГІС – геоінформаційні системи

INSPIRE — Infrastructure for Spatial Information in the European Community – інфраструктура просторової інформації в Європейському Співтоваристві

ООН – організація об'єднаних націй

ООН-Хабітат — програма ООН, яка розробляє та впроваджує нормативно-правові рамки для сталого розвитку міст та населених пунктів

NASA — National Aeronautics and Space Administration — Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору

SRTM — Shuttle Radar Topography Mission — радарна топографічна місія шатла

HEC-RAS — Центр гідрологічної інженерії -

## ВСТУП

Тясминська захисна дамба – це складна гідротехнічна споруда, розташована в Черкаській області. Вона була зведена у 1980-х роках у межах масштабного проєкту будівництва Чигиринської атомної електростанції. Дамба захищає понад 26 населених пунктів і 16,5 тис. га землі, які перебувають у зоні ризику затоплення.[1] З моменту введення в експлуатацію дамба виконувала подвійну функцію – слугувала захисною спорудою від паводків і підтоплень та водночас функціонувала як автомобільний шляхопровід у складі регіональної дорожньої мережі (рис. 1.1).



Рис. 1.1 Фотофіксація Тясминської захисної дамби

Однак із часом дамба зазнала деградації через системну відсутність обслуговування, перенавантаження великогабаритним транспортом та природні чинники зношення. У 2017 році було зафіксовано просідання конструкцій на 0,5 м [2], а з 2018 року об'єкт офіційно закрито для великовагового транспорту. Попри це, дамба й надалі виконує критично важливу роль у регулюванні водного режиму річки Тясмин, а її технічний стан

безпосередньо впливає на екологічну та соціально-економічну безпеку регіону.

Метою цієї роботи є передбачення можливих наслідків значного руйнування Тясминської дамби та моделювання ризиків підтоплення навколишніх територій. Весняні паводки можуть збільшити рівень води до 9 метрів — це висота дамби. У разі прориву десятки населених пунктів опиняться під загрозою затоплення. [2] Предметом дослідження є просторово-аналітичне моделювання підтоплення, а об'єктом — сама гідротехнічна споруда. Особлива увага приділяється геоінформаційному аналізу, оцінці гідрологічної ситуації, вивченню конструктивних особливостей дамби, а також прогнозуванню потенційної екологічної та інфраструктурної шкоди у разі її прориву.

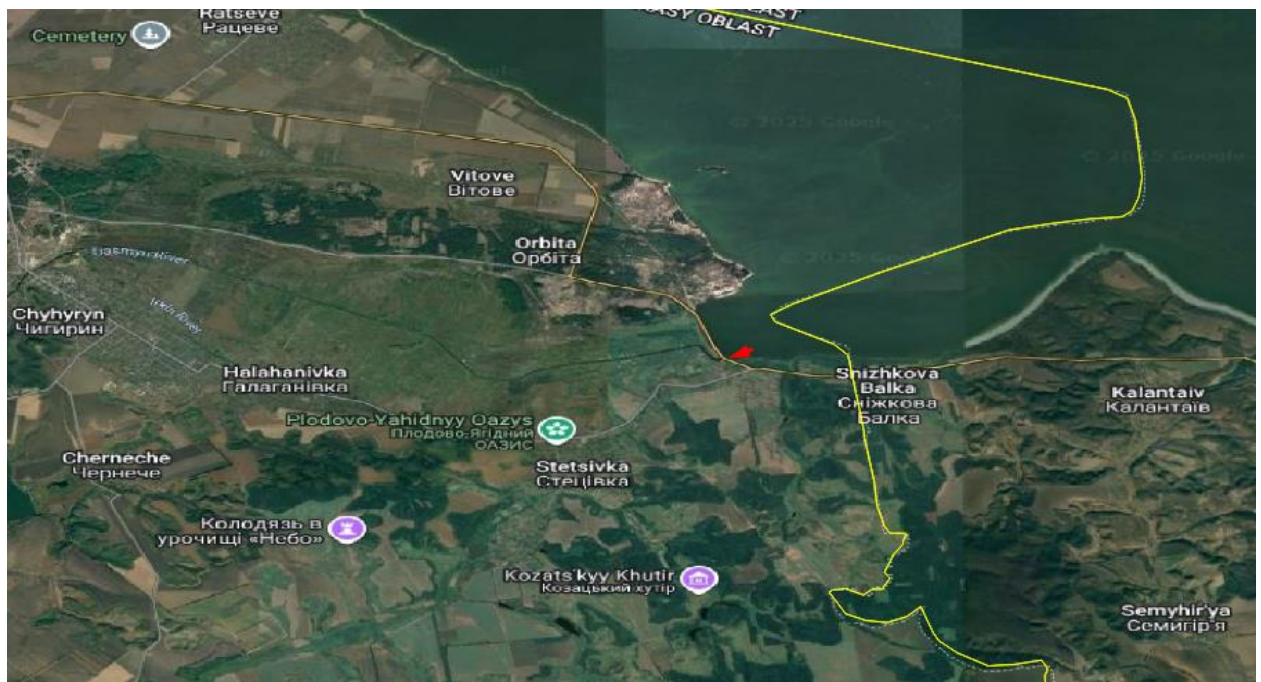


Рис. 1.2 Схема розташування Тясминської захисної дамби в масштабі 1:50

000



Рис.1.3 Схема розташування Тясминської захисної дамби в масштабі 1:5000

Насосна станція, що входить до комплексу, регулює водний режим. Зупинка може спричинити екологічну катастрофу та соціально-економічну кризу.

Для моделювання підтоплень враховуються такі параметри: довжина дамби — 1,9 км, висота — 13 м, глибина придамбового каналу — 2 м. Ці характеристики критично важливі для оцінки об'єму води у разі прориву.

За оцінками Служби автомобільних доріг, на реконструкцію Тясминської дамби потрібно щонайменше 3 мільйони гривень.

Місцеві жителі виступають проти перенаправлення транспорту через село, побоюючись руйнування доріг і зростання аварійності [3].

# РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ І ПРОБЛЕМАТИКА ОБ'ЄКТА

## 1.1 Характеристика Тясминської дамби

Тясминська захисна дамба розташована в місті Кам'янка Черкаської області — багатофункціональна гідротехнічна споруда, яка виконує як інженерні, гідрологічні, а також транспортні завдання. Довжина дамби становить приблизно 1,9 км. Вона є частиною автомобільної дороги державного значення Р-10. Конструктивні особливості споруди дамби пов'язане з незавершеним об'єктом Чигиринської атомної електростанції. А зараз внаслідок експлуатації в мережі Інтернет часто зустрічаються новини на кшталт «На Черкащині руйнується захисна дамба: десятки населених пунктів у небезпеці затоплення». [2]

Після згортання незавершеного проекту АЕС гребля залишилася в експлуатації як інфраструктурний транспортний об'єкт, виконуючи також функції шляхопроводу окрім гідрозахисту. Саме тому основна унікальність Тясминської греблі полягає в інтеграції її природної заплавної топографії з інженерними складовими.

Конструкція дамби включає:

- багат шарову систему ущільненого фундаменту,
- кам'яну накидку,
- бетонне облицювання,
- шандорні пази,
- фіксуючі компоненти.

Як зазначає «Громадське радіо» в новинах про те, що «...опори службового мосту через багаторічні навантаження та циклічні підтоплення демонструють тріщини й ознаки деградації...» [4].

До складу комплексу греблі входять 7 залізобетонних сифонних трубопроводів розміром  $2,2 \times 2,6$  м, а також насосна станція продуктивністю  $85 \text{ м}^3/\text{с}$ , яка забезпечує водовідведення з придамбової зони. Як наголошує офіційний сайт Черкаського управління захисних масивів Дніпровських

водосховищ: «Найвища точка напірних трубопроводів становить 81,5 м БС, а міст для автогужового транспорту частково опирається на стінові конструкції насосної станції, що створює додаткові навантаження на гідровузол» [5].

Разом з тим, споруда зазнала значного фізичного зносу. «Руйнування бетонної обв'язки, деградація шпунтового огородження нижньої частини та ерозійні процеси на підшві споруди є головними проблемами цього об'єкта» [4].

У квітні 2020 року проведене науково-технічне обстеження підтвердило, що споруда не розрахована на рух великовагового транспорту. «Дамба не розрахована на рух великовагового транспорту, і використання її як мосту створює критичні ризики» [4].

Критичною залишається відсутність системного моніторингу стану дамби. «Не ведеться контроль деформацій, фільтраційного тиску, сейсмічних змін та рівнів води у верхньому та нижньому б'єфах» [2]. Це означає, що споруда фактично експлуатується без належного технічного нагляду.

У 2017 році було зафіксовано вертикальне просідання окремих частин споруди до 0,5 м, що стало наслідком перевищення нормативного навантаження понад 60 тонн [2]. У 2018 році дамбу офіційно закрили для руху великогабаритного транспорту, однак, «деякі водії продовжують порушувати заборону, що створює загрозу остаточної втрати несучої здатності споруди» [4].

Місцева назва «бетонка» пов'язана з облицюванням дамби бетонними плитами, значна частина яких зазнала ерозії та механічного зносу. За результатами обстежень, технічний стан споруди оцінено як передаварійний, що потребує негайних заходів для її стабілізації [5]

За прогнозами різних онлайн видань, Тясминська дамба може підтопити 26 населених пунктів. Щодня нею їдуть сотні вантажівок, упродовж місяця – близько двох тисяч. Вага машин – від 40 тонн, однак дорога не розрахована під такі навантаження, тому що коли зводили дамбу, ваговози були в десятки разів легшими [6]

Ділянка автомобільної дороги довжиною майже 2 км стала предметом суперечок між місцевими жителями та органами влади “Бетонка”, як охрестили її місцеві, розташована на Тясминській греблі. Споруда вже понад півстоліття стримує натиск води та оберігає зо три десятки населених пунктів від затоплення» [4].

Таким чином, Тясминська дамба є прикладом інфраструктурного об'єкта, який поєднує у собі гідротехнічні, транспортні та соціальні функції, але водночас перебуває у стані, що вимагає негайних заходів з модернізації та посиленого контролю.

## **1.2 Фізико-географічна характеристика річки Тясмин**

Річка Тясмин являється правою притокою Дніпра і впадає в Кременчуцьке водосховище. Витік р. Тясмин 43 знаходиться у с. Любомирівка Олександрівського району Кіровоградської області. Гирло річки знаходиться біля с. Стецівка Чигиринського району Черкаської області. Площа водозбору р. Тясмин складає 4540 км<sup>2</sup>, довжина річки – 161 км, має притоки 279 шт загальною довжиною 1195 км, від м. Сміла русло річки каналізоване розраховане на пропускання максимальної витрати води 18 – 20 м<sup>3</sup>/сек. Дном долини служить заплава, ширина якої змінюється від 1 до 5 км, складаючи в середньому 1,5 – 2 км. Поверхня заплави злегка хвиляста, порізана низинами, балками та старицями. Ширина русла коливається в межах від 5 до 20 м [7-9].

Глибина русла в верхів'ї дорівнює 0,2 – 0,8 м далі зростає до 1,5 – 2,0 м, на окремих плесах досягає 6,0 м. Максимальні витрати спостерігаються в період проходження весняної повені та після сильних злив в літньо-осінній період.

Весняна повінь, як правило, починається в кінці лютого – на початку березня і закінчується у середині квітня.

Максимальна витрата весняної повені 10% забезпеченості дорівнює – 158 м<sup>3</sup>/сек, дощових паводків – 42 м<sup>3</sup>/сек.

Наймаловодніші періоди на р. Тясмин відмічаються зимою в січні – лютому, а при відкритому руслі в липні – жовтні, середня багаторічна мінімальна витрата дорівнює 1,4 м<sup>3</sup>/сек.

Швидкість течії становить від 0,5 м/с у верхів'ї до 0,2 у заплавах.

Поточний стан р. Тясмин на ділянці проектування можна охарактеризувати як негативний в гідрологічному, екологічному, санітарному та соціальному плані. Заплава та русло водотоку замулене, захаращене, заросле самосівом чагарників та малоцінних дерев. Місцями у завалах та побутовому смітті.

Заросле мілководдя порушує пропускну спроможність русла річки та здатність до самовідновлення, сприяє розмноженню та розповсюдженню шкідливих комах, накопиченню на дні мулистих відкладів і решток органічних речовин, що провокує загнивання та цвітіння води. При підвищенні температури в літні місяці спостерігається активна евтрофікація. Виникає дефіцит кисню у річковій воді, погіршується її якість. Створюються несприятливі умови для існування рослинного і тваринного світу.

Зниженням пропускну спроможності русла річки також сприяє підвищенню рівня ґрунтових вод, що провокує підтоплення прилеглої території, особливо в період повеней та паводків. Оскільки ділянка проектування розташована в межах населеного пункту, зазначені наслідки порушення гідрологічного режиму та екологічного та санітарного стану водотоку створюють несприятливі умови для проживання населення.

Гідрологічна ситуація р. Тясмин дуже несприятлива, оскільки гирло річки перекрите штучно спорудженою дамбою, а стік річки повністю перекачується насосною станцією у Кременчуцьке водосховище. Окрім того, руслова частина Тясмина також майже повністю зашлюзована і каналізована, перетворена на каскад малопроточних ділянок.

У межах лише міста Кам'янки протяжність річки становить майже 8 км, що збігається з довжиною міста від північного заходу до південного сходу. Особливістю є те, що річка тут має мінімальний похил русла — до 0,0007, що

значно ускладнює природний стік води. Як зазначається у звітах, «такий похил сприяє застою, замуленню та евтрофікації води, а в періоди весняної повені спостерігаються підтоплення в нижніх частинах центральної та північної Кам'янки» [10].

У 2020-х роках у місті проводилися днопоглиблювальні роботи. «Ділянка виконання днопоглиблювальних (розчистки) робіт на річці Тясмин почалася від скелі Пушкіна. Протяжність відрізка становила 5,13 км, фактично було розчищено 4,23 км русла» [10]. Це мало на меті відновлення водообміну та зменшення застійних явищ.

Науковці підкреслюють роль заплави як природного регулятора водного режиму. «Заплава виконує функцію водонакопувача, що має важливе значення для регулювання водного режиму території» [11].

За даними оцінки впливу на довкілля, «у межах міста сформувалася застійна зона, яка функціонує як “глуха частина” гідросистеми, що перешкоджає самовідновленню потоку. Зміна режиму рівнів води, зашлюзування, а також неконтрольований збір води для поливу зумовили порушення екологічної рівноваги в регіоні» [10].

Крім того, річка Тясмин має важливе історико-культурне значення. У Кам'янці розташований Тясминський каньйон, який є пам'яткою природи місцевого значення. Як зазначається у довідкових матеріалах: «Тясминський каньйон у місті Кам'янка — це унікальний геоморфологічний об'єкт, де річка прорізає гранітні породи, утворюючи мальовничі скелі та пороги» [12].

У наукових описах підкреслюється: «Тясминський каньйон утворений у протерозойських гранітах, вік яких оцінюється у 2 мільярди років. Стрімкі, майже прямовидні скелі на лівому боці річки піднімаються вгору подекуди на 12–15 метрів» [13].

На офіційному сайті Кам'янської громади підкреслюють особливість каньйону «...його унікальність полягає в геологічній історії, що сягає 2 мільярдів років, коли на цьому місці існували високі гори. Внаслідок природних процесів ці гори були зруйновані, а їхні “коріння” у вигляді

кристалічних порід (гранітів, гнейсів, кварцитів та магматитів) виходять на поверхню, утворюючи скелі каньйону» [14-18].

Як для туристичних цілей «...річка спокійна і неглибока, з каламутною коричневою водою, яка протікає серед протерозойських гранітів. Місце, де граніт підноситься над річкою на висоту 12–15 метрів, утворює каньйон довжиною не більше 1–2 кілометрів» [15]. У межах Тясминського каньйону зустрічаються рідкісні види флори, зокрема «папороть багатоніжка звичайна, мохи та лишайники, що ростуть на гранітних скелях» [12].

### **1.3 Роль Тясминської захисної дамби для регіону**

Тясминська дамба — ключовий елемент гідротехнічної інфраструктури регіону, яка водночас виконує не лише інженерно-гідрологічну функцію, але й критично важливу соціальну, транспортну й екологічну роль [10]. Розташована майже на межі Черкаської та Кіровоградської областей, дамба відокремлює зону заплави від житлової забудови, промислових об'єктів і транспортної мережі. Основна функція дамби – захист міста Чигирин та прилеглих до нього сільськогосподарських угідь від щорічних паводків та надмірного зволоження в періоди інтенсивних опадів [10].

У технічному висновку щодо стану дамби вказано, що «руйнування Тясминської дамби потенційно може спричинити екологічні, соціальні та економічні катастрофи – знищення майна, сільгоспугідь, житлової забудови, загнивання вод, гуманітарні наслідки. Згідно з оцінкою проектною документації, прогнозоване затоплення у випадку прориву перевищить площу 110 га. У цю зону ризику входять житлові квартали, трансформаторна підстанція, насосна станція, сільськогосподарські підприємства та складські приміщення [19].

Особливість Тясминської гідросистеми полягає в тому, що природний стік річки порушено: «річка в межах міста зашлюзована, каналізована, з поганим самовідновленням, у гирлі – повністю перекрита дамбою, стік – через

насосну станцію» [10]. Це означає, що роль дамби – не лише стримування води, а й регулювання обсягів водного обміну між верхнім б'єфом (заплатою) та Кременчуцьким водосховищем.

Водосховище, до якого відкачується вода, регулюється потужною насосною станцією, здатною перекачувати до 11 800 м<sup>3</sup>/с [10]. Будь-яке порушення в роботі цього комплексу створює ситуацію неконтрольованого підйому рівня в заплаві, а отже – підвищення гідростатичного навантаження на конструкції дамби. У звіті ОВД наголошується, що «в разі зупинки насосної станції або прориву дамби виникає ризик підтоплення житлових кварталів, розташованих у понижених частинах північної Кам'янки, а також інфраструктурних об'єктів на її південному заході» [10].

Дамба також виконує роль транспортної артерії. Частина автомобільної дороги Р-10 проходить по гребеню дамби. Згідно з кресленнями, в її конструкцію інтегровано багат шарову насипну структуру, армовану кам'яною накидкою та плитами, однак ці елементи мають високий ступінь зношення, що унеможлиблює експлуатацію великовантажного транспорту [10].

Через руйнування конструкцій упродовж останніх двох десятиліть частина «бетонки» зазнала обмеження руху, хоча окремі види транспорту продовжують її використовувати. Це сприяє додатковому навантаженню на гідроспоруду, особливо в умовах підвищеного рівня води у верхньому б'єфі [10].

Найбільшу загрозу створює відсутність альтернативного водовідведення. У звітах вказано: «Відсутність фонових водовідвідних каналів збільшує навантаження на дамбу під час злив або весняного паводку» [10]. Це означає, що вся водна маса акумулюється на території заплави, збільшуючи ймовірність прориву. За висновками експертів: «Фонові відвідні канали або додаткові шлюзові регулятори не були закладені в конструктивному проєкті дамби, що є критичним недоліком» [19].

У нижній течії річки після дамби розташовано трансформаторну підстанцію, об'єкти агропромислового сектору та каналізовані резервуари, які потенційно можуть зазнати техногенного забруднення внаслідок аварії. У висновку ОВД зазначено, що «в зоні затоплення потрапляє об'єкт накопичення нафтопродуктів – резервуари колишнього АТП, а також складські території з мінеральними добривами» [10]. У разі контакту з водою ці речовини можуть спричинити вторинне забруднення ґрунтів і водойм.

Важливим соціальним аспектом є гуманітарні наслідки. У «Звіті з оцінки впливу на довкілля» наголошено: «Застій вод, утворених унаслідок прориву, створить осередки бактеріального загнивання, спричинить мікробіологічну деградацію та поширення інфекційних агентів» [10]. Із цим пов'язаний ризик виникнення гуманітарної кризи в умовах порушення питного водопостачання, утрудненого доступу до комунікацій та евакуаційних маршрутів.

Таким чином, роль дамби виходить далеко за межі гідротехнічної функції – вона є основним бар'єром між техногенним затопленням і життєдіяльністю низки населених пунктів. Її потенційне руйнування матиме значні наслідки для людей, економіки, екосистем і інфраструктури в зоні впливу.

Рельєф місцевості має вкрай малий похил, що сприяє застою води, замуленню русла та накопиченню органічного матеріалу. У звіті зазначено, що «долина річки характеризується послабленим самостійним стоком, що призводить до заболочення та формування тривалих застійних зон» [10].

Топографічна структура заплави сприяє підвищеному ризику весняних паводків і нагромадженню надлишкової вологи. Далеко від Тясминської захисної дамби річка Тясмин спокійна і мілководна, так «в межах нижньої частини Кам'янки, зокрема у східному секторі міста, зафіксовані болотні фітоценози, що вказує на порушення дренажу» [10].

У «Звіті з інженерно-геодезичних досліджень» також вказано, що «у весняний період щороку фіксуються підтоплення присадибних територій у центральній і північній частинах міста, де висотні відмітки опускаються нижче

108,5 м» [19]. Це підтверджується даними топографічних планів у межах ПК0 – ПК51+30 [10].

Мікрорельєф заплави складається з локальних депресій, які є залишками старих русел і проток, заповнених болотними осадами. За словами експертів: «Значна частина поверхневого стоку не доходить до головного русла через замуленість дренажних каналів і каналізовані фрагменти русла» [10].

Екологічний стан водозбірної площі значно ускладнений: у зоні впливу дамби спостерігається евтрофікація (заростання очеретом, зниження прозорості води, зменшення вмісту кисню), спричинена тривалими застійними процесами [10].

У дослідженні також йдеться про активний процес самосійного заростання русла: «У межах придамбової ділянки помітно сформовані очеретяні мікроекосистеми, що функціонують незалежно від головного стоку» [19].

Варто зазначити, що ситуація ускладнюється й несанкціонованим водозбором у літній період для поливу сільськогосподарських угідь. Зокрема, згідно з актами інспекцій, «на ділянці нижче дамби виявлено понад 10 точок несанкціонованого водозбору з відкритих каналів та магістрального русла Тясмину» [19].

Сумарно, фізико-географічне положення Тясминської дамби, що розміщена в зоні з малою ухилістю, заплавною заболоченістю та утрудненим дренажем, визначає її підвищену чутливість до гідрологічних катастрофічних сценаріїв. Глибокий аналіз цих характеристик є критичним для адекватного прогнозування наслідків потенційного руйнування дамби та масштабного підтоплення прилеглих територій. у південній частині Черкаської області, майже на межі з Кіровоградською областю. Територія міста витягнута з північного заходу на південний схід і має протяжність близько 8 км. Через усе місто протікає річка Тясмин – права притока Дніпра, довжина якої становить 161 км, а площа водозбору – 4540 км<sup>2</sup>. [10]

Формування рельєфу пов'язане з Середньодніпровською терасовою рівниною та Придніпровською височиною. Долина річки Тясмин має трапецієвидну форму, помітно асиметрична: лівий схил формують тераси з уступами заввишки 5–20 м, правий – крутіший, сягає 70 м. Поверхня заплави – злегка хвиляста, з численними старицями, балками, пониженнями, заболоченими ділянками. [10]

Ширина заплави коливається в межах 1–5 км, ширина русла – 5–20 м, глибина – від 0,2–0,8 м у верхів'ї до 6 м на плесах. Абсолютна висота поверхні заплави становить 100–102 м БС, тоді як середній рівень води досягає 109,1 м. Така ситуація вказує на роль заплави як водонакопичувача. [10]

У межах міста Кам'янки річка має мінімальний похил русла – до 0,0007, що ускладнює природний стік води, сприяє застою, замуленню та евтрофікації. У періоди весняної повені спостерігаються підтоплення в понижених частинах центральної та північної Кам'янки. Зарослі ділянки свідчать про деградацію руслової системи та зміни у гідрологічному режимі. [10]

Людська діяльність значно змінила природний ландшафт Кам'янки. «Зашлюзування річки, будівництво дамб і мостів, а також днопоглиблювальні роботи призвели до зміни природного гідрологічного режиму» [19]. Крім того, урбанізація та транспортне навантаження створюють додаткові ризики. «Зростання кількості автомобільного транспорту в містах Черкащини призводить до підвищення рівня забруднення атмосферного повітря та шумового навантаження» [17].

Додатковим чинником ризику є геологічна будова території. За даними геоморфологічних описів, «Тясминський каньйон утворений у протерозойських гранітах, вік яких оцінюється у 2 мільярди років. Стрімкі, майже прямовидні скелі на лівому боці річки піднімаються вгору подекуди на 12–15 метрів». Це означає, що основа долини сформована кристалічними породами, які створюють природний бар'єр для фільтрації води, але водночас ускладнюють дренажні процеси. У матеріалах Кам'янської міської громади

підкреслюється: «Його унікальність полягає в геологічній історії, що сягає 2 мільярдів років, коли на цьому місці існували високі гори. Внаслідок природних процесів ці гори були зруйновані, а їхні “коріння” у вигляді кристалічних порід (гранітів, гнейсів, кварцитів та магматитів) виходять на поверхню, утворюючи скелі каньйону» [6]. Така геологічна структура сприяє формуванню локальних застійних зон, де вода накопичується у пониженнях і створює додатковий тиск на дамбу.

Тясминська дамба є не лише інженерною спорудою, а й критичним елементом безпеки регіону. Її фізико-географічне положення, геологічні особливості та технічний стан визначають підвищену чутливість до катастрофічних сценаріїв. Потенційне руйнування дамби матиме каскадні наслідки: від локальних підтоплень і техногенного забруднення до гуманітарної кризи та втрати культурної спадщини. Забір води для поливу зумовили порушення екологічної рівноваги. [10]

### **Висновок до розділу 1**

Поганий технічний стан Тясминської дамби, екологічна деградація річки Тясмин, а також забудова та замулення – все в комплексі створює потенційну загрозу масштабного підтоплення. Додатковим фактором ризику для Тясминської дамби є поєднання виконання гідротехнічної, соціальної та транспортної функцій та від її стану залежить безпека тисяч мешканців.

Природний гідрологічний баланс річки Тясмин порушено, а будь-які збої у роботі насосної станції створюють ризик підтоплення. Тясминська дамба може підтопити 26 населених пунктів. Рух вантажівок, в тому числі великовантажні, вчиняють транспортне навантаження, що значно перевищує проєктні параметри та пришвидшує руйнування конструкцій.

Поєднання технічного зношення дамби, екологічної деградації річки, антропогенного навантаження та геологічних особливостей території створює комплексну загрозу для прилеглих міст. Потенційне руйнування дамби може

призвести не лише до локального підтоплення, а й до масштабної екологічної та соціальної кризи.

Отже, аналіз технічного стану Тясминської дамби та гідрологічних особливостей річки Тясмин свідчить про наявність комплексної проблеми, що поєднує інженерні, екологічні та соціальні аспекти. Стан споруди та водотоку не відповідає сучасним вимогам безпеки, а відсутність системного моніторингу та належного обслуговування лише посилює ризики. У випадку аварійної ситуації наслідки можуть мати регіональний масштаб, зачіпаючи не лише навколишні населені пункти, а й транспортну та господарську інфраструктуру.

Таким чином, подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку геоінформаційних моделей, здатних відтворити можливі сценарії підтоплення та оцінити масштаби потенційної шкоди. Це дозволить не лише прогнозувати наслідки руйнування дамби, але й виробити практичні рекомендації щодо запобігання кризовим ситуаціям та забезпечення сталого функціонування гідротехнічної споруди.

У цьому контексті дослідження проблематики Тясминської дамби має не лише теоретичне, а й практичне значення. Воно дозволяє оцінити рівень ризику для навколишніх територій, визначити масштаби можливих підтоплень та сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо запобігання кризовим ситуаціям.

Враховуючи викладене, можна стверджувати, що Тясминська дамба є стратегічним об'єктом, від стану якого залежить екологічна стабільність та соціально-економічна безпека значної частини Черкаської області. Її технічна деградація та порушення природного гідрологічного режиму річки Тясмин формують передумови для виникнення надзвичайних ситуацій, що можуть мати довготривалі наслідки для населення та господарської діяльності регіону.

## РОЗДІЛ 2. ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ ПІДТОПЛЕННЯ

### 2.1 Геоінформаційні технології для здійснення геопросторового аналізу зон підтоплення

Геоінформаційні системи (ГІС) стали фундаментальною основою для управління земельними ресурсами, екологічного моніторингу та просторового планування. Як зазначає М. Гудчайлд, «ГІС можна визначити як комп'ютерну систему для збору, зберігання, перевірки, інтеграції, аналізу та відображення даних, що мають просторове розташування» [20]. Це визначення підкреслює універсальність ГІС як інструменту для роботи з просторовою інформацією. У класичній праці П. Лонглі та співавторів наголошується, що «геоінформаційні системи є не лише технологією, а й науковою парадигмою, яка дозволяє досліджувати просторові закономірності та взаємозв'язки» [21]. Таким чином, ГІС виступають не лише прикладним інструментом для картографування, а й методологічною основою для аналізу складних соціально-економічних та екологічних процесів.

Серед спеціалізованих програмних продуктів важливе місце займає **IDRISI TerrSet**, який орієнтований на екологічні дослідження та прогнозування змін землекористування. У документації Clark Labs зазначено: «TerrSet — це інтегрована геопросторова програмна система для моніторингу та моделювання земної системи» [22]. Завдяки наявності модулів для моделювання змін земного покриву, оцінки біорізноманіття та вуглецевих запасів, ця система широко використовується у природоохоронних і кліматичних дослідженнях.

**ArcGIS Pro**, у свою чергу, є універсальною платформою для просторового аналізу, картографування та 3D-моделювання. За визначенням компанії Esri, «ArcGIS Pro — це провідний настільний ГІС-додаток, що забезпечує професійне 2D та 3D картографування в інтуїтивному інтерфейсі» [23]. Його сильними сторонами є інтеграція з хмарними сервісами ArcGIS Online, підтримка великих обсягів даних та можливість створення

інтерактивних картографічних продуктів, що робить його незамінним у містобудуванні, транспортному плануванні та управлінні територіями.

Відкрита альтернатива комерційним системам — **QGIS**. У документації підкреслюється: «QGIS — це вільна та відкрита геоінформаційна система» [24]. Вона підтримує численні формати просторових даних, інтегрується з PostGIS та має велику кількість плагінів, що забезпечує її гнучкість і доступність. Завдяки відкритому коду та активній спільноті користувачів QGIS активно застосовується у наукових дослідженнях, освітніх програмах та практичних проектах з обмеженим фінансуванням.

Окреме місце у сучасних геоінформаційних дослідженнях займає обробка космознімків та аналітика над растрами. Особливе значення мають цифрові моделі рельєфу, отримані в результаті місії SRTM. У звіті підкреслюється: «Місія радіолокаційного топографічного знімання шаттлом (SRTM) створила найбільш повну високоточну цифрову топографічну базу даних Землі» [25]. Ці дані широко застосовуються для морфометричного аналізу, моделювання гідрологічних процесів, в тому числі і підтоплення, оцінки ерозійних ризиків та планування інфраструктури.

Подальший розвиток геоінформаційних технологій тісно пов'язаний із використанням даних дистанційного зондування Землі. Як зазначають Дж. Річардс і С. Цзя, «цифровий аналіз зображень дистанційного зондування дозволяє виявляти та класифікувати об'єкти на основі їх спектральних характеристик» [26]. Це означає, що супутникові знімки стають основою для створення тематичних карт земного покриву та моніторингу змін у довкіллі. Важливим напрямом розвитку є інтеграція геоінформаційних систем із методами машинного навчання. Як зазначають А. Максвелл та співавтори, «методи машинного навчання дозволяють автоматизувати процес класифікації супутникових знімків і підвищити точність результатів» [27]. Це відкриває нові перспективи для моніторингу землекористування та прогнозування екологічних змін.

Сучасні дослідження підкреслюють значення відкритих супутникових програм. Так, у публікації М. Вулдера та колег зазначено: «супутникові дані Landsat і Sentinel створюють довготривалі архіви, які є безцінними для моніторингу змін земного покриву та землекористування» [28]. Це сприяє демократизації доступу до геопросторової інформації та розширює можливості для міждисциплінарних досліджень.

Застосування геоінформаційних систем у сфері земельного кадастру має стратегічне значення для забезпечення прозорості та ефективності управління земельними ресурсами. У Законі України «Про Державний земельний кадастр» прямо зазначено: «Державний земельний кадастр — єдина державна геоінформаційна система відомостей про землі, розташовані в межах державного кордону України, їх цільове призначення, обмеження у використанні, а також дані про кількісну і якісну характеристику земель» [29]. Це визначення підкреслює, що кадастр є не лише реєстром прав, а й комплексною геоінформаційною системою, яка інтегрує просторові та правові дані.

У науковій літературі наголошується, що «управління земельними ресурсами стосується процесів визначення, реєстрації та поширення інформації про право власності, вартість і використання землі» [30]. Таким чином, геоінформаційні системи виступають базовим інструментом для реалізації цих процесів, забезпечуючи точність, актуальність та доступність інформації.

Важливим є також інтеграційний аспект. На думку І. Вільямсон та співавторів, «сталий розвиток вимагає систем управління земельними ресурсами, які підтримують безпеку прав власності, функціонування ринку землі, оподаткування, планування землекористування та управління довкіллям» [31]. Отже, сучасні кадастрові системи повинні бути інтегровані з містобудівними та екологічними інформаційними системами, створюючи єдиний інформаційний простір для прийняття управлінських рішень.

На європейському рівні інтеграція геопросторових даних регламентується Директивою INSPIRE, згідно з якою «загальною метою INSPIRE є створення інфраструктури просторової інформації в Європі для цілей екологічної політики Співтовариства та будь-якої іншої політики чи діяльності, яка може мати вплив на довкілля» [32]. Згідно нього, геоінформаційні системи розглядаються як стратегічний інструмент не лише для управління територіями, а й для реалізації екологічної політики.

Використання геоінформаційних систем у сфері екологічного моніторингу має стратегічне значення для забезпечення сталого розвитку. Як зазначає Дж. Дженсен, «дистанційне зондування забезпечує можливість отримання інформації про об'єкти або території на відстані, зазвичай з літаків або супутників» [33]. Отже, саме поєднання даних дистанційного зондування та геоінформаційних технологій створює основу для комплексного аналізу стану довкілля.

Відповідно до досліджень міського середовища, «теплове дистанційне зондування міських кліматів надає критично важливу інформацію про поверхневі температури та теплові острови» [34]. Отже, супутникові дані дозволяють виявляти просторові закономірності у розподілі теплових аномалій, що є важливим для оцінки впливу урбанізації на кліматичні умови.

У сфері збереження біорізноманіття широко застосовується систематичне планування охоронюваних територій. Як зазначають К. Маргулес і Р. Прессі, «систематичне планування охорони природи спрямоване на визначення та проектування охоронюваних територій для досягнення чітко визначених цілей зі збереження біорізноманіття» [35]. Саме ГІС-технології дозволяють визначати території, що потребують охорони, та формувати екологічні мережі.

Управління природоохоронними територіями також потребує врахування кліматичних змін. У звітах Міжурядової групи експертів зі зміни клімату підкреслюється, що «зміна клімату, за прогнозами, збільшить ризики вимирання видів та деградації екосистем» [36]. Тому застосування

геоінформаційних систем необхідне для прогнозування впливу кліматичних сценаріїв на природні екосистеми з метою розробки адаптаційних стратегій.

Інтеграція геоінформаційних систем із сучасними технологіями аналізу даних відкриває нові перспективи для просторових досліджень. Як підкреслюють А. Максвелл та співавтори, «класифікація на основі машинного навчання стає дедалі популярнішою у дистанційному зондуванні завдяки здатності працювати зі складними, нелінійними залежностями у даних» [37]. Це дозволяє значно підвищити точність дешифрування супутникових знімків і автоматизувати процеси моніторингу.

У сфері аналізу великих даних наголошується, що «аналітика Big Data забезпечує можливість обробки та аналізу величезних обсягів геопросторової інформації майже в режимі реального часу» [38]. Це положення демонструє, що поєднання ГІС із Big Data дозволяє працювати з масивами інформації, які надходять від супутників, сенсорних мереж та мобільних пристроїв.

Важливим напрямом є також використання хмарних платформ. Відповідно до технічної документації Google Earth Engine, «Google Earth Engine поєднує багатопетабайтний каталог супутникових знімків та геопросторових наборів даних із можливостями планетарного аналізу» [39]. Таким чином дослідники з усього світу мають однаковий доступ до зібраних відкритих даних, глобальних архівів супутникових даних та інструментів для їх обробки, окрім того і без необхідності локального зберігання.

Як підкреслює М. Гудчайлд, «майбутнє ГІС полягає у здатності інтегруватися з іншими інформаційними технологіями, включаючи штучний інтелект, щоб забезпечити глибше розуміння просторових явищ» [40]. Це визначає стратегічний напрям розвитку геоінформаційних технологій у XXI столітті.

Сучасні тенденції розвитку геоінформаційних технологій тісно пов'язані з містобудуванням та транспортним плануванням. Як зазначає М. Батті, «міста можна розглядати як складні системи, що формуються з численних взаємопов'язаних процесів, і саме геоінформаційні технології

дозволяють моделювати ці процеси у просторі та часі» [41]. Це означає, що ГІС стають ключовим інструментом для аналізу урбаністичних структур і прогнозування розвитку міських територій.

У сфері транспортного планування підкреслюється, що «геоінформаційні системи забезпечують можливість моделювання транспортних потоків, оптимізації маршрутів та оцінки доступності інфраструктури» [42]. Це дозволяє органам місцевого самоврядування приймати обґрунтовані рішення щодо розвитку транспортної мережі та зменшення заторів.

Важливим напрямом є також використання ГІС для оцінки екологічних наслідків урбанізації. Як зазначають Ч. Альберті та співавтори, «інтеграція просторових даних про землекористування, транспорт і довкілля дозволяє оцінювати вплив міського розвитку на якість повітря, шумове забруднення та зелені зони» [43]. Це створює основу для формування політики сталого розвитку міст.

У сучасних дослідженнях наголошується, що «поєднання ГІС із тривимірним моделюванням та візуалізацією дозволяє створювати цифрові двійники міст, які використовуються для планування, управління та участі громадськості у прийнятті рішень» [44]. Безсумнівно, геоінформаційні системи стають не лише технічним інструментом, а й платформою для інтерактивного діалогу між владою, бізнесом та громадою.

Сучасні концепції розвитку територій дедалі частіше пов'язуються з ідеєю **Smart City**. Як зазначає Р. Гіффінгер, «розумне місто — це місто, яке добре виконує функції у шести вимірах: економіка, мобільність, довкілля, люди, життя та управління, і яке будується на розумному поєднанні традиційного та сучасного» [45]. Це визначення підкреслює, що ГІС є одним із ключових інструментів для інтеграції даних у цих сферах.

У дослідженнях підкреслюється, що «розумні міста використовують інформаційні та комунікаційні технології для підвищення якості життя, ефективності міських операцій та послуг, а також конкурентоспроможності,

забезпечуючи при цьому задоволення потреб нинішніх і майбутніх поколінь» [46]. Це означає, що геоінформаційні системи стають основою для управління міською інфраструктурою, транспортом, енергетикою та екологією.

Особливу увагу приділяють створенню **цифрових двійників територій**. Як зазначають К. Кітчін та співавтори, «цифровий двійник міста — це динамічна цифрова репрезентація міста, яка оновлюється в реальному часі за допомогою потоків даних із сенсорів, соціальних мереж та адміністративних джерел» [47]. Це дозволяє моделювати сценарії розвитку, прогнозувати наслідки управлінських рішень та залучати громадськість до процесів планування.

У сфері сталого розвитку міст важливим є також екологічний аспект. Відповідно до концепції ООН-Хабітат, «сталий розвиток міст вимагає інтеграції просторового планування, управління ресурсами та участі громадян у прийнятті рішень» [48]. Це положення демонструє, що ГІС виступають не лише технічним інструментом, а й засобом демократизації управління територіями.

Геоінформаційні системи відіграють ключову роль у сфері кризового управління та реагування на надзвичайні ситуації. Як зазначає Т. Томлінсон, «ГІС забезпечують критичну підтримку у прийнятті рішень під час стихійних лих, дозволяючи швидко інтегрувати просторові дані та візуалізувати масштаби катастрофи» [49]. Це означає, що у випадках землетрусів, повеней чи пожеж геоінформаційні технології стають незамінним інструментом для координації дій рятувальних служб.

У дослідженнях підкреслюється, що «поєднання даних дистанційного зондування та ГІС дозволяє оперативно оцінювати масштаби руйнувань і визначати найбільш уражені території» [50]. Це створює основу для ефективного розподілу ресурсів і планування евакуаційних заходів.

Важливим напрямом є також використання ГІС у сфері громадської безпеки. Як зазначають К. Хагер та співавтори, «геоінформаційні системи дозволяють відстежувати просторові закономірності злочинності, аналізувати

ризиками та підтримувати діяльність правоохоронних органів» [51]. Це свідчить про універсальність ГІС як інструменту управління ризиками не лише природного, а й соціального характеру.

Крім того, у звітах ООН наголошується: «ефективне управління ризиками катастроф вимагає інтеграції просторових даних, прогнозних моделей та участі громад у процесах планування» [52]. Це положення підкреслює, що ГІС стають не лише технічним засобом, а й платформою для залучення суспільства до процесів підвищення стійкості територій.

У сільському господарстві геоінформаційні системи та дані дистанційного зондування Землі відкривають нові можливості для моніторингу та управління земельними ресурсами. Як зазначає Ф. Пірс, «точне землеробство ґрунтується на використанні геоінформаційних технологій для оптимізації застосування добрив, води та засобів захисту рослин» [53]. Це означає, що ГІС дозволяють не лише картографувати поля, а й аналізувати просторові відмінності у врожайності та стані ґрунтів.

У дослідженнях підкреслюється, що «дані дистанційного зондування забезпечують можливість оцінки стану посівів, прогнозування врожайності та виявлення стресових факторів у рослин» [54]. Це створює основу для своєчасного прийняття управлінських рішень у сільському господарстві.

Особливе значення має використання цифрових моделей рельєфу для аграрних потреб. У звіті NASA зазначено: «дані SRTM забезпечують глобальне покриття цифровими моделями висот, які можуть бути використані для моделювання стоку води, ерозійних процесів та планування іригаційних систем» [55]. Це дозволяє аграріям ефективніше управляти водними ресурсами та зменшувати ризики деградації земель.

Також у сучасних публікаціях наголошується, що «поєднання ГІС, супутникових даних та алгоритмів машинного навчання створює нову парадигму у моніторингу сільськогосподарських угідь» [56]. Це свідчить про поступовий перехід від традиційних методів аграрного аналізу до інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

## 2.2 Методи просторового аналізу в геоінформаційних системах

Цифрові моделі рельєфу (ЦМР) є фундаментальною складовою сучасних геоінформаційних систем, оскільки вони забезпечують цифрове відображення топографічної поверхні у вигляді регулярної сітки комірок (GRID DEM) або нерегулярної триангуляційної мережі (TIN). Обидва способи подання взаємно конвертовані, що дозволяє дослідникам обирати найбільш зручний формат залежно від завдань аналізу. У структурі геоінформаційних систем ЦМР виступає як один із базових шарів інформаційного блоку, що містить цифрові дані про висотні відмітки поверхні у вигляді растрової або векторної моделі [57].

Дані про рельєф можуть бути отримані різними методами. Найбільш поширеним є регулярне розміщення точок на прямокутних, трикутних чи шестикутних сітках, що формується в результаті тахеометричної зйомки або спеціальних видів площинного нівелювання. Інший підхід передбачає нерегулярне подання точок по структурних лініях, профілях чи локальних ділянках, що збираються під час інструментальних зйомок або картометричних робіт. Третій спосіб полягає у цифруванні горизонталей топографічних карт, що дозволяє створювати цифрові моделі на основі вже існуючих картографічних матеріалів [58].

Завдяки своїй універсальності ЦМР застосовуються для вирішення широкого спектра завдань. Серед них – візуалізація рельєфу у двовимірному та тривимірному форматах, визначення морфометричних характеристик поверхні, створення картограм крутизни та експозицій схилів, обчислення зон видимості й невидимості, побудова профілів, виділення структурних ліній рельєфу, включаючи ерозійну мережу, вододіли та оконтурювання водозборів. Крім того, цифрові моделі рельєфу активно використовуються як топографічна основа для проектних робіт, а також інтегруються з базами геоданих і програмними засобами для складання та оформлення картографічних матеріалів [59].

Оцінка точності цифрових моделей рельєфу є одним із ключових аспектів їх використання. До основних показників точності належать точність вимірів, точність обчислень та точність подання. Точність вимірів визначається якістю приладів, якими здійснюється зйомка, точність обчислень залежить від кількості значущих цифр після коми у розрахунках, а точність подання характеризується кількістю розрядів, за допомогою яких представляються координатні дані. У стандартах якості цифрових карт додатково враховуються такі параметри, як позиційна точність, точність атрибутів, логічна несуперечність даних, повнота даних та походження. Позиційна точність визначається ступенем відхилення даних у геоінформаційній системі від істинного розташування об'єкта на місцевості (наприклад, 0,4 мм для карт масштабу 1:25 000, що відповідає 10 м на місцевості). Точність атрибутів характеризується близькістю значень атрибутів до їх реальних величин, логічна несуперечність пов'язана з правильністю структур даних, повнота даних визначає ступінь охоплення множини об'єктів, а походження враховує джерела та методи обробки інформації [60].

У векторних системах представлення поверхні здійснюється за допомогою моделі нерегулярної триангуляційної мережі (TIN), яка є одним із способів відображення Z-величин. Такі моделі можуть бути засновані на точках або на лініях. У випадку моделей, побудованих на основі ліній, вони є графічним еквівалентом методу ізоліній, що часто створюються шляхом цифрування існуючих горизонталей. Після введення дані можуть представлятися як лінійні об'єкти або як полігони з визначеною висотою. Зазвичай ЦМР конвертують у растрову модель, відому як дискретна матриця висот, де кожен піксель має лише одне значення висоти. Це фактично перетворює безперервне просторове явище на дискретне представлення, що впливає на результати подальших обчислень. Важливим фактором є розмір пікселя та розташування в його межах реального значення висоти, яке може бути визначене у центрі або в одному з кутів пікселя. Регулярна сітка може

призводити до надмірності даних у зонах з мінімальною топографічною інформацією та до їх нестачі у місцях, що потребують високої деталізації, тоді як нерегулярна сітка дозволяє уникнути цих проблем. Якщо дані представлені у формі нерегулярної сітки, виникає необхідність інтерполяції або прогнозування відсутніх значень [61].

Таким чином, цифрові моделі рельєфу є не лише інструментом візуалізації, але й основою для складних просторових розрахунків, що дозволяють моделювати підтоплення, оцінювати гідрологічні процеси та прогнозувати наслідки руйнування гідротехнічних споруд. Їх застосування забезпечує інтеграцію просторових даних різних типів, підвищує точність прогнозів і формує науково обґрунтовані сценарії управління ризиками [62].

Аналіз оточення (buffer analysis) є одним із найпоширеніших методів просторового аналізу, що дозволяє визначати зони впливу об'єктів. Суть цього методу полягає у створенні буферних зон навколо точкових, лінійних або полігональних об'єктів на заданій відстані. Наприклад, формування буферів навколо річки Тясмин дає змогу визначити території, які потрапляють у зону ризику підтоплення у випадку прориву дамби. Аналогічно, буферні зони навколо транспортних шляхів чи інженерних споруд дозволяють оцінити рівень їх доступності або потенційного впливу на довкілля [63].

Застосування аналізу оточення є надзвичайно широким. У контексті дослідження підтоплень він використовується для визначення населених пунктів, що опиняються у межах небезпечної зони, а також для оцінки територій, які можуть зазнати найбільшого впливу у разі аварійної ситуації. У містобудуванні буферний аналіз застосовується для визначення санітарно-захисних зон навколо промислових підприємств, у транспортній сфері – для аналізу доступності доріг, а в екологічних дослідженнях – для оцінки впливу джерел забруднення на навколишнє середовище [64].

Важливим інструментом у просторовому аналізі є використання булевої алгебри. Вона дозволяє здійснювати логічні операції над просторовими даними, зокрема об'єднання (Union), перетин (Intersection) та віднімання

(Difference). Такі операції дають змогу створювати нові шари даних, що поєднують інформацію з кількох вихідних шарів. Наприклад, перетин шару населених пунктів із шаром зони можливого затоплення дозволяє визначити конкретні поселення, які потрапляють у небезпечну зону. Операція об'єднання може бути використана для формування єдиної карти ризиків, що включає кілька факторів безпеки, тоді як віднімання дозволяє виділити території, які залишаються поза межами впливу [65].

Таким чином, аналіз оточення у поєднанні з булевою алгеброю формує потужний інструментарій для просторового моделювання. Він дозволяє не лише виявляти території ризику, але й інтегрувати різні фактори у єдину систему оцінки, що є критично важливим для прогнозування наслідків руйнування гідротехнічних споруд та планування заходів реагування.

Аналіз місцезнаходження є ще одним важливим методом просторового аналізу, що дозволяє оцінювати взаємне розташування об'єктів у межах досліджуваної території. Його сутність полягає у визначенні просторових відносин між різними типами географічних об'єктів, наприклад, між населеними пунктами та зонами можливого підтоплення. У практиці геоінформаційного моделювання цей метод застосовується для виявлення об'єктів, які потрапляють у межі певних полігонів, або для визначення відстаней між ними.

Найбільш поширеними прикладами є операції «точка в полігоні» та «лінія в полігоні». У першому випадку визначається належність точкових об'єктів (наприклад, шкіл, лікарень чи насосних станцій) до певних полігональних зон, зокрема до територій ризику підтоплення. Результатом такого аналізу є набір точкових об'єктів із додатковими атрибутами, що вказують на полігони, у межах яких вони розташовані [66]. У другому випадку аналізується співвідношення лінійних об'єктів (доріг, трубопроводів, ліній електропередач) із межами полігонів. Для цього визначаються точки перетину ліній із межами полігонів, створюються додаткові вузли, що дозволяють розділити атрибути внутрішніх і зовнішніх частин ліній.

Окремим напрямом є накладання полігонів, яке передбачає використання математичних та логічних операторів для створення нових просторових об'єктів. У результаті такого аналізу формується новий набір полігонів, атрибути яких поєднують інформацію з вихідних шарів. Це дозволяє отримати комплексні дані про території, що одночасно належать до кількох категорій, наприклад, землі сільськогосподарського призначення, які одночасно потрапляють у зону можливого затоплення [67].

Таким чином, аналіз місцезнаходження забезпечує можливість інтеграції різних типів просторових даних і дозволяє отримати більш детальну картину просторових взаємозв'язків. У контексті дослідження ризиків підтоплення цей метод є особливо важливим, оскільки він дозволяє визначити, які саме об'єкти інфраструктури та населені пункти опиняються у зоні небезпеки, що є основою для подальшого планування заходів реагування та мінімізації можливих збитків [68].

Картографічне накладання (overlay) є одним із базових методів просторового аналізу, що дозволяє поєднувати кілька шарів географічної інформації для створення нового похідного шару з інтегрованими атрибутами. Його сутність полягає у спільному відображенні об'єктів різних шарів з метою виявлення їх просторових взаємовідносин. У практиці геоінформаційних систем поняття «оверлей» часто використовується як синонім операцій накладання шарів, коли два або більше вихідних шари однієї території поєднуються для формування нового шару з новими геоданими [69].

До методів автоматизованого накладання шарів належать геометричне накладання, застосування логічних операторів, математичне накладання та комбіноване накладання. Геометричне накладання є найбільш поширеним і розвиненим типом, оскільки воно оцінює лише просторову відповідність об'єктів, розташованих у різних шарах карти. У результаті такого аналізу об'єкти одного шару поділяються за межами об'єктів іншого, а новостворені об'єкти отримують атрибути обох вихідних шарів. Це дозволяє реалізувати в

просторовому аналізу елементи булевої алгебри, зокрема операції об'єднання, перетину та доповнення [70].

Традиційно під час операцій накладання розглядаються три основні типи просторових відносин: «точка в полігоні», «лінія в полігоні» та «накладання полігонів». У випадку «точка в полігоні» визначається належність точкових об'єктів до певних полігональних територій, що дозволяє, наприклад, встановити, які населені пункти потрапляють у межі зони ризику підтоплення. Аналіз «лінія в полігоні» застосовується для визначення взаємозв'язку лінійних об'єктів, таких як дороги чи трубопроводи, з межами полігонів. При цьому визначаються точки перетину ліній із межами полігонів, створюються додаткові вузли, що дозволяють розділити атрибути внутрішніх і зовнішніх частин ліній. Накладання полігонів передбачає поєднання атрибутів кількох полігональних шарів для створення нових взаємозв'язків даних, що дозволяє отримати комплексну картину просторових процесів [71].

Таким чином, картографічне накладання виступає універсальним інструментом для інтеграції різнорідних просторових даних. Воно дозволяє поєднувати інформацію про природні умови, інженерну інфраструктуру та соціально-економічні фактори, створюючи єдину модель території. У контексті дослідження ризиків підтоплення накладання шарів забезпечує можливість визначення територій, де поєднуються кілька факторів небезпеки, що є основою для формування сценаріїв реагування та планування заходів із мінімізації наслідків [72].

У практиці просторового аналізу важливим є також комбіноване використання різних методів накладання та логічних операцій. Поєднання геометричного накладання з булевою алгеброю дозволяє створювати складні моделі, які враховують одночасно кілька факторів ризику. Наприклад, при моделюванні підтоплення можна поєднати шари цифрової моделі рельєфу, гідрографічної мережі та населених пунктів, а потім застосувати операції перетину для визначення територій, де збігаються низькі відмітки рельєфу,

близькість до річки та щільність забудови. Такий підхід дозволяє отримати більш точні результати, ніж використання окремих методів у відриві один від одного [73].

Особливе значення має застосування математичного накладання, яке передбачає використання арифметичних операцій над значеннями растрових шарів. Наприклад, шляхом додавання або віднімання значень висот можна моделювати зміни рівня води у випадку прориву дамби. Це дозволяє прогнозувати масштаби затоплення та визначати найбільш уразливі території. У свою чергу, комбіноване накладання поєднує геометричні, логічні та математичні методи, що забезпечує комплексний підхід до аналізу просторових даних [74].

Важливо підкреслити, що накладання шарів у геоінформаційних системах не обмежується лише технічними операціями. Воно має прикладне значення для прийняття управлінських рішень. У випадку дослідження Тясминської дамби результати накладання можуть бути використані для визначення зон евакуації населення, планування розміщення тимчасових споруд для постраждалих, а також для оцінки потенційних економічних збитків. Таким чином, картографічне накладання виступає не лише інструментом аналізу, але й практичним засобом управління ризиками [75].

Узагальнюючи викладене, можна стверджувати, що методи просторового аналізу в геоінформаційних системах формують цілісну методологічну основу для дослідження ризиків підтоплення територій. Цифрові моделі рельєфу забезпечують базову інформацію про морфологію поверхні та дозволяють моделювати гідрологічні процеси. Аналіз оточення та застосування булевої алгебри створюють можливість визначати зони впливу та інтегрувати різні фактори ризику в єдину систему оцінки. Методи аналізу місцезнаходження забезпечують ідентифікацію конкретних об'єктів інфраструктури та населених пунктів, що потрапляють у межі небезпечних зон, тоді як картографічне накладання дозволяє поєднувати різноманітні просторові дані для формування нових похідних шарів [76].

Застосування цих методів у комплексі забезпечує можливість створення багатофакторних моделей, які враховують як природні, так і антропогенні чинники. У випадку дослідження Тясминської захисної дамби це дозволяє не лише прогнозувати масштаби можливого затоплення, але й оцінювати соціально-економічні наслідки, визначати найбільш уразливі території та об'єкти, а також формувати сценарії реагування на надзвичайні ситуації. Таким чином, геоінформаційні системи виступають не лише інструментом аналізу, але й практичним засобом управління ризиками, що має важливе значення для забезпечення екологічної та техногенної безпеки регіону [77].

### **2.3 Робота з векторними та растровими даними**

У процесі дослідження для побудови моделі потенційного затоплення території використовувалися як растрові, так і векторні дані. Основою просторового аналізу стала цифрова модель рельєфу, представлена растровим шаром SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Цей глобальний набір даних отримано на основі радіолокаційного знімання поверхні Землі, що забезпечує просторову роздільну здатність близько 30 метрів і точність висот до кількох метрів [25].

Растр SRTM дає змогу отримати уявлення про морфологію рельєфу, визначити висотні характеристики місцевості, напрями стоку, а також похили поверхні. На основі аналізу цифрової моделі рельєфу можна виявити пониження, улоговини та потенційні шляхи переміщення водних мас. Саме тому використання SRTM є важливим етапом у моделюванні надзвичайних ситуацій, пов'язаних із проривом гідротехнічних споруд — зокрема, воно дає можливість визначити потенційні зони затоплення у разі руйнування дамби або іншого водоутримуючого об'єкта.

Для обмеження області аналізу та уникнення обробки надлишкових даних було використано векторний шар меж досліджуваної території (boundary). Цей шар виконує роль просторового фільтра, який дозволяє обрізати (clip) растр

SRTM відповідно до межі дослідження. Таким чином, усі подальші обчислення виконувалися виключно в межах заданої території, що підвищує точність і швидкість моделювання.

Крім того, для сценарного моделювання було створено векторний об'єкт, який позначає потенційне місце пошкодження гідротехнічної споруди — це може бути як точковий шар, що фіксує координати прориву, так і лінійний елемент, який відображає відрізок можливого розриву дамби. Визначення цього елементу є ключовим для подальшої побудови напрямку руху води та оцінки зон її розповсюдження.

Під час обробки даних виконувались такі основні етапи:

- імпорт та попередня перевірка коректності геопросторових проєкцій;
- обрізання растрового шару SRTM за межами векторної області дослідження;
- розрахунок похилів та напрямків стоку на основі моделі рельєфу;
- створення шару потенційного місця пошкодження дамби;
- формування основи для подальшого аналізу затоплення.

Таким чином, інтеграція растрових і векторних даних забезпечує комплексне уявлення про просторові особливості досліджуваної території та створює основу для моделювання процесів затоплення з урахуванням морфометричних параметрів рельєфу.

## **Висновки до Розділу 2**

Геоінформаційне забезпечення є базовою складовою у процесі просторового моделювання ризиків підтоплення. Проведений аналіз показав, що сучасні геоінформаційні технології, зокрема такі програмні продукти, як «**IDRISI TerrSet**», «**LiberaGIS**», «**ArcGIS Pro**», «**QGIS**» та онлайн-платформа «**Google Earth Engine**», дозволяють з високою ефективністю виконувати інтегрований аналіз просторових даних — від моделювання рельєфу до атрибутивної фільтрації об'єктів потенційної уразливості [13].

Точність побудованих моделей значною мірою залежить від якості вхідних даних. Цифрова модель рельєфу «**SRTM**» (*Shuttle Radar Topography Mission*)

із просторовою роздільною здатністю 30 метрів є прийнятною для первинного аналізу, однак не забезпечує достатньої деталізації мікрорельєфу. Для підвищення точності результатів доцільно застосовувати **лідарні (LiDAR)** дані, які характеризуються просторовою точністю до 1 метра [17].

Додатково рекомендовано використовувати **гідродинамічне моделювання**, зокрема програмні комплекси «**HEC-RAS**» (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*) та «**Flood Modeller**», які забезпечують можливість моделювання не лише просторового розподілу зон затоплення, але й часової динаміки поширення паводкової хвилі. Це є критично важливим для планування заходів евакуації населення та функціонування систем раннього попередження про надзвичайні ситуації [18].

Отже, ефективне прогнозування ризиків підтоплення потребує інтеграції **геоінформаційних, дистанційних та гідродинамічних** підходів у межах єдиної системи моніторингу та аналізу, що забезпечить підвищення точності оцінки потенційної небезпеки як на регіональному, так і на локальному рівнях.

## **РОЗДІЛ 3. ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ ПІДТОПЛЕННЯ ТА СЦЕНАРІЇ РЕАГУВАННЯ**

### **3.1 Просторове моделювання зон підтоплення**

Для оцінки потенційного ризику підтоплення територій у разі руйнування дамби у м. Кам'янка, яка значно менша за Тясминську дамбу виконано геоінформаційне моделювання із використанням цифрової моделі рельєфу (ЦМР), створеної на основі даних SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (рис. 3.1) [79].

Рівень води в річці Тясмин було визначено за матеріалами поперечних перерізів (станом на 29.04.2018 р.), середнє значення — 109,1 м БС, що прийнято як базовий рівень для моделювання можливого підтоплення. У середовищах QGIS 3.34 та ArcGIS Pro 3.1 побудовано цифрову поверхню рельєфу, проведено операцію “Raster Calculator” для віднімання розрахункових рівнів води від висотних позначок ЦМР. Території з від’ємними значеннями автоматично класифіковано як потенційно затоплені [81].

Для тривимірного аналізу морфології заплави застосовано TerrSet (Clark Labs), що дало змогу візуалізувати зони ризику та напрямки стікання води (рис. 3.2).

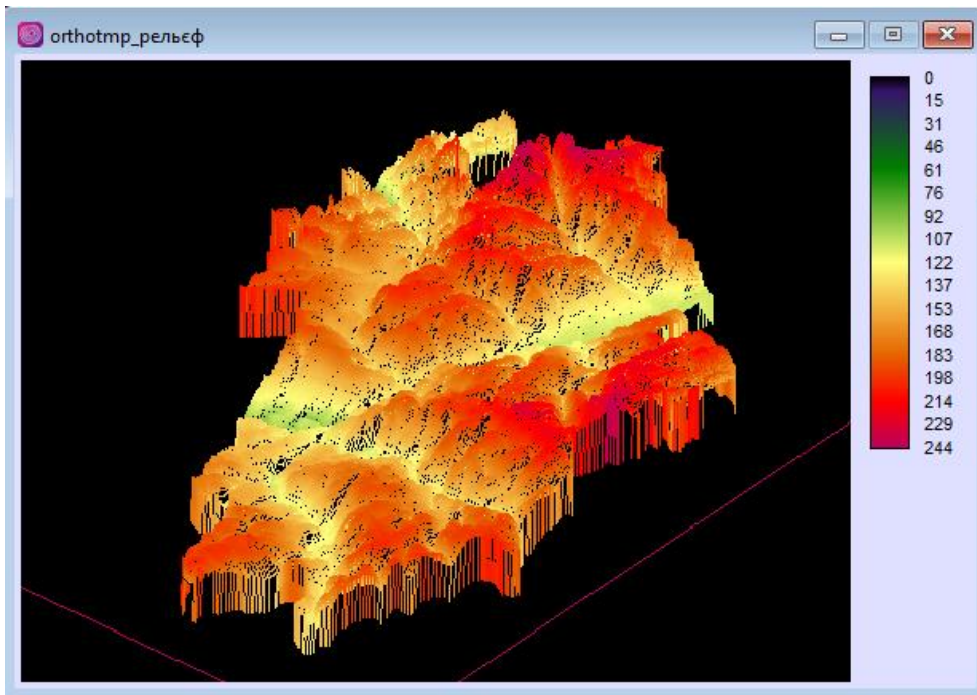


Рис. 3.1. 3D візуалізація рельєфу місцевості в TerrSet

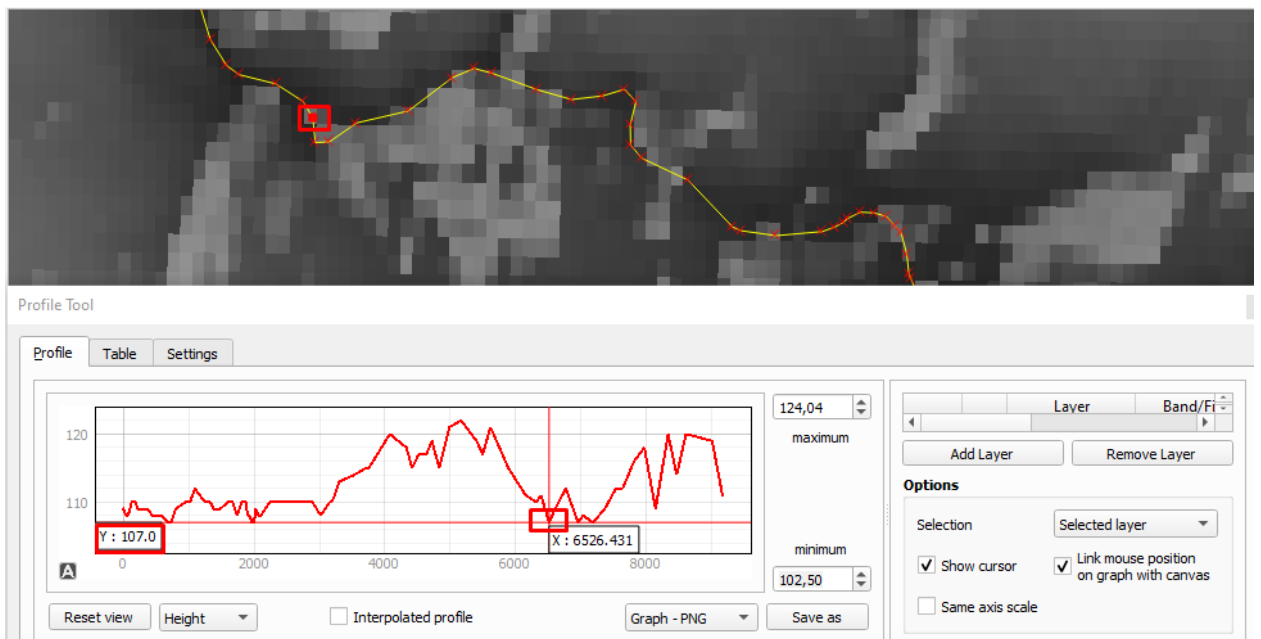


Рис. 3.2. Профіль рельєфу по річці Тясмин

Таблиця 3.1

Рівень води визначених у поперечних перерізах річки Тясмин (станом на 29.04.2018 р.)

Номер перерізу	Рівень води, м	Номер перерізу	Рівень води, м
1-1	109,10	11-11	109,12

2-2	109,10	12-12	109,12
3-3	109,10	13-13	109,12
4-4	109,10	14-14	109,12
5-5	109,10	15-15	109,12
6-6	109,10	16-16	109,12
7-7	109,10	17-17	109,12
8-8	109,11	18-18	109,12
9-9	109,12	19-19	109,12
10-10	109,12		

Середній рівень води — 109,11 м, що використано для формування гідрологічного зрізу.

За результатами геоінформаційного аналізу виділено чотири класи територій за ступенем ризику підтоплення (рис. 3.3, 3.4):

- Високий ризик — відмітки нижче 109 м БС;
- Середній ризик — 109–110 м БС;
- Помірний ризик — 110–112 м БС;
- Низький ризик (поза зоною підтоплення) — понад 112 м БС [80].

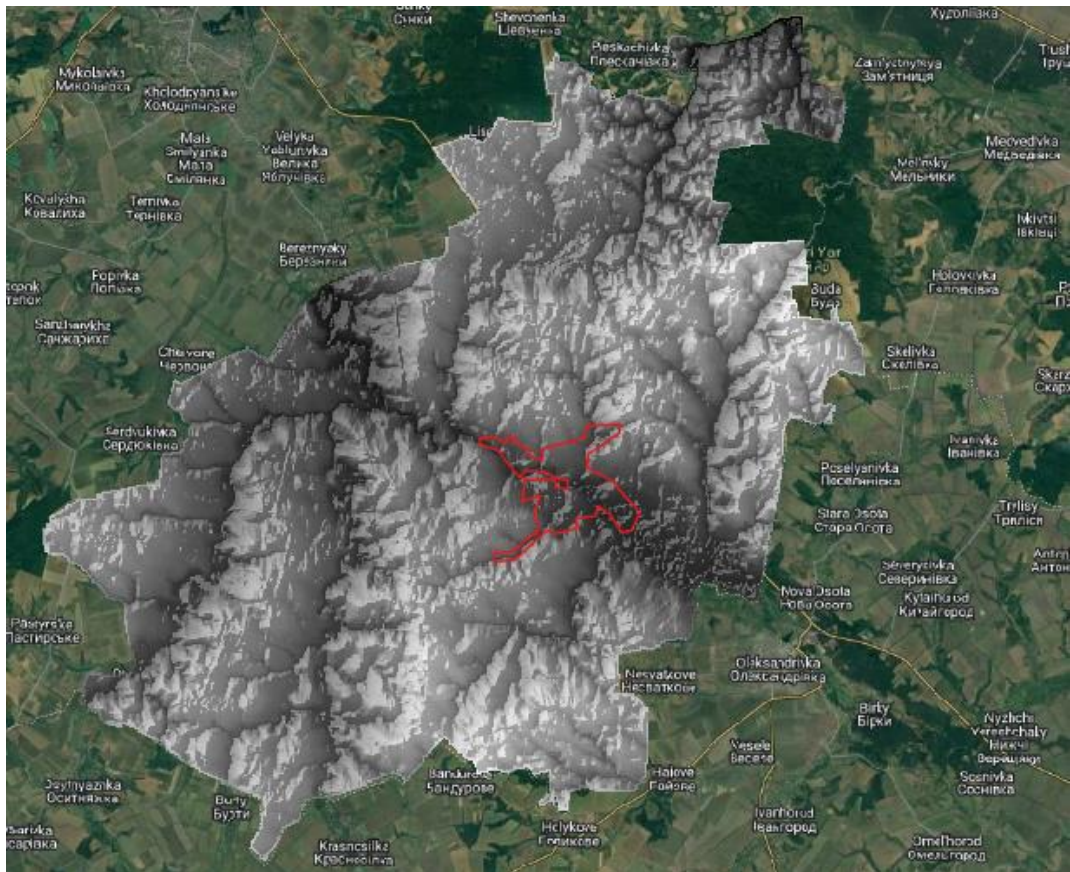


Рис. 3.3. Фрагмент відмивки рельєфу м. Кам'янка



Рис. 3.4. Класифікація території за ризиком затоплення

Моделювання показало, що в межах м. Кам'янка потенційна площа підтоплення у разі аварії може сягати приблизно 110 га.

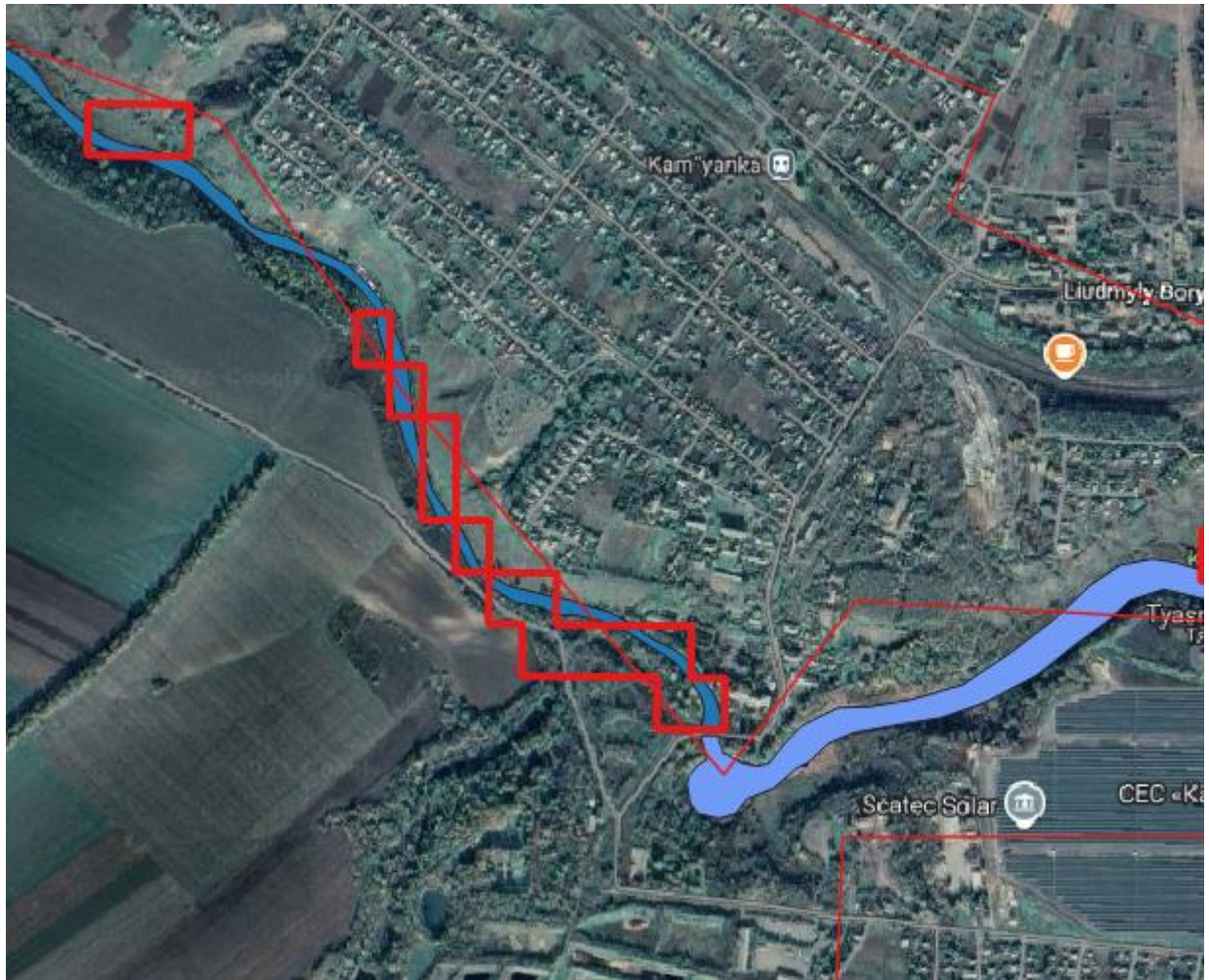


Рис. 3.5. Зони ризику затоплення територій у межах міста Кам'янка внаслідок можливого руйнування Тясминської дамби

Це значення перевірене через розрахунок за формулою:

$$S = \frac{V}{h} = \frac{1,2 \times 10^6}{1,5} = 8 \times 10^5 \text{ м}^2 \approx 80 \text{ га},$$

де  $V$ — об'єм води (1,2 млн м<sup>3</sup>),  $h$ — середня глибина затоплення (1,5 м). З урахуванням мікрорельєфу та розтікання води значення 80–120 га вважається достовірним діапазоном [79].

На класифікованій карті (рис. 3.5) видно, що до зон ризику входять прибережні сільськогосподарські ділянки, промислові зони, а також приватна забудова північної частини міста [84].

### **3.2 Просторове моделювання зон підтоплення Тясминської захисної дамби**

Google Earth Engine (GEE) має значні можливості для визначення ризиків підтоплення (затоплення). GEE надає доступ до великих обсягів супутникових даних та потужних обчислювальних ресурсів, необхідних для геопросторового моделювання, в тому числі і до цифрової моделі рельєфу.

Моделювання на основі рельєфу (DEM) використовує дані про висоту для прогнозування шляхів стоку у випадку пошкодження дамби та потенційних областей акумуляції води. Для цього ідеально підходять дані SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) або Sentinel-1 DTM/Copernicus DEM.

На основі аналізу мікрорельєфу можна визначити русла стоку та водозбірні басейни за допомогою функцій гідрологічного моделювання, таких як напрямок стоку та накопичення стоку. Заповнення понижень (Fill and Spill) симулює, як вода заповнює найнижчі точки рельєфу та "переливається" в сусідні, визначаючи потенційні зони затоплення при різних рівнях води. Розрахунок схилів та експозицій впливають на швидкість поверхневого стоку.

GEE допомагає змоделювати зони ризику підтоплення завдяки таким параметрам як:

масштабованість — може обробляти величезні регіональні або навіть глобальні DEM, не вимагаючи завантаження даних на локальний комп'ютер;

швидкість — процес моделювання відбувається швидко, дозволяючи оцінку ризиків потребує невеликого часу;

доступність — GEE надає безкоштовний прямий доступ до SRTM, Sentinel-1/2, Landsat та інших наборів даних, необхідних для такого аналізу.

Так, для визначення ризиків підтоплення на основі SRTM в Google Earth Engine (GEE) потрібна лише географія (межа) досліджуваної території (AOI).

JavaScript код в Google Earth Engine забезпечить аналіз підтоплення, а саме покликаній виконати наступні завдання:

1. Схили (Slope) — крутизна рельєфу (в градусах).
2. Напрямок Стоку (Aspect) — напрямок, в якому стікає вода (в градусах).

3. Зони ризику потенційного підтоплення — території, що знаходяться нижче певного критичного рівня (симуляція підвищення рівня річки/водойми).

В GEE можна додати відрізок (точку або лінію), що позначають дамбу або потенційне місце прориву. Для цього потрібно створити геометрію у вікні Google Earth Engine та додати код для її відображення та стилізації.

Щоб оцифрувати лінію, яка позначає дамбу, прямо на карті GEE:

1. Перейти на карту GEE і знайти Тясминську дамбу.
2. Вибрати інструмент Draw a line (Намалювати лінію) у лівій частині карти.
3. Намалювати лінію уздовж гребеня дамби або в місці, де прогнозується прорив.
4. Після завершення малювання (подвійний клік), у секції Imports з'явиться нова змінна, за замовчуванням, названа geometry. Перейменувати цю змінну як назву змінної, наприклад, Dam\_Breach щоб її використати в коді.

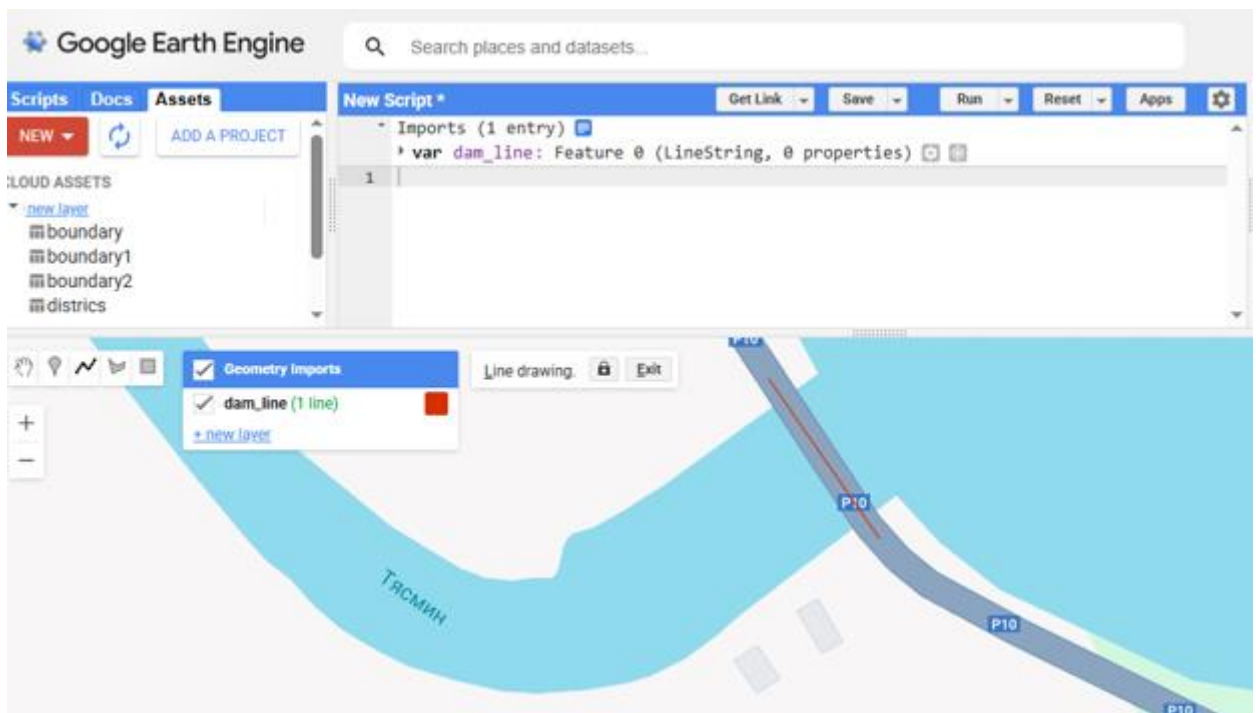


Рис. 3.6 Лінія, яка позначає дамбу

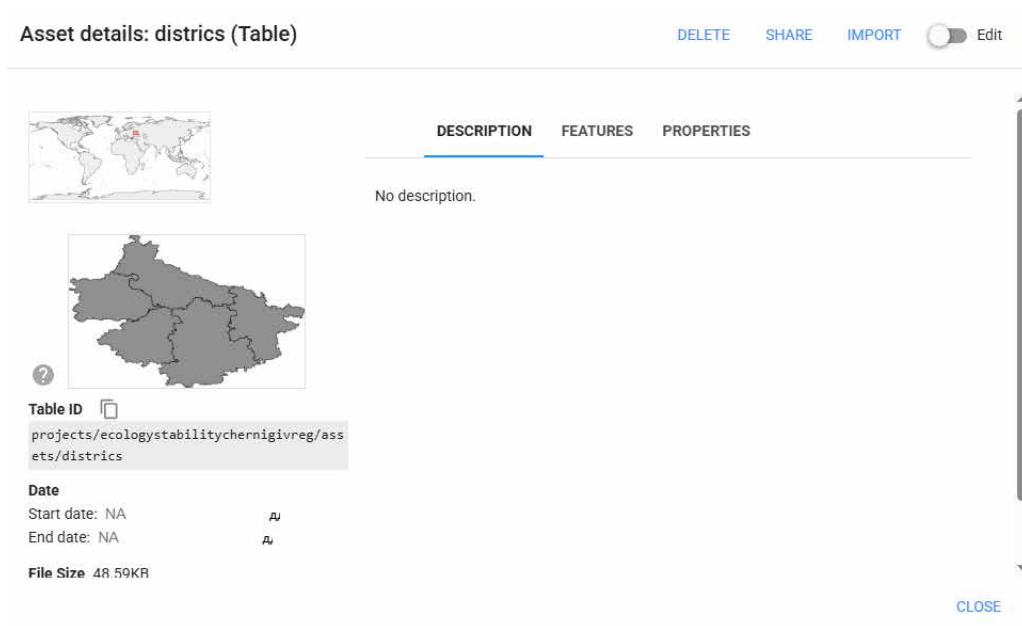


Рис.3.7 Додані межі територіальних громад, які попадають в зону ризику

Можна використати функцію `.buffer(10000).**bounds()**`, що створює не просто буфер, а обмежувальний прямокутник (bounding box) навколо буфера. Цей прямокутник може охопити дуже велику територію, включаючи ті ділянки, які не пов'язані з руслом річки.

Можна використати точніший метод — гідрологічне моделювання напрямку стоку. Можна додати функцію, яка використовує DEM для визначення накопичення стоку (Flow Accumulation). Це створює растр, що показує, де вода природно збирається (русла річок та долини).

Остаточний JavaScript код

Застосований підхід забезпечує, що підтоплення моделюється лише в межах природних водотоків (русел), які можуть переносити паводкову хвилю, і лише в районі вашої дамби.

// 1. КОНФІГУРАЦІЯ

// На момент виконання коду 'table' (межа території дослідження) та 'DamBreach' (лінія прориву) мають бути імпортовані

var AOI = table; // Межі території

var DamBreachGeometry = DamBreach; // Лінія прориву дамби

Map.centerObject(AOI, 11);

// 1.1. Налаштування висот

var CRITICAL\_FLOOD\_LEVEL = 95.5; // Абсолютна висота, нижче якої буде затоплення (висота гребеня дамби)

```

// 1.2. Завантаження SRTM та обрізання
var srtm = ee.Image('USGS/SRTMGL1_003').clip(AOI);
var elevation = srtm.select('elevation');

// 2. АНАЛІЗ РЕЛЬЄФУ
// 2.1. РОЗРАХУНОК СХИЛІВ (SLOPE)
var slope = ee.Terrain.slope(elevation);
var slopeVis = {
  min: 0,
  max: 30,
  palette: ['00FFFF', '0080FF', '0000FF']
};
Map.addLayer(slope, slopeVis, '2. Схили (Slope, °)');

// 2.2. РОЗРАХУНОК НАПРЯМКУ СТОКУ (ASPECT)
var aspect = ee.Terrain.aspect(elevation);
var aspectVis = {
  min: 0,
  max: 360,
  palette: ['0000FF', '00FF00', 'FF0000', 'FFFF00']
};
Map.addLayer(aspect, aspectVis, '3. Напрямок Стоку (Aspect, °)', false);

// 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПОТЕНЦІЙНОГО ПІДТОПЛЕННЯ (Статичний, БЕЗ ГІДРОЛОГІЇ)
// 3.1. Визначення зони низьких висот
// Усі пікселі, висота яких менша за CRITICAL_FLOOD_LEVEL
var floodZone = elevation.lt(CRITICAL_FLOOD_LEVEL);

// 3.2. СТВОРЕННЯ МАСКИ (ОБМЕЖЕННЯ ЗОНОЮ ВПЛИВУ ДАМБИ)
// Створюємо буфер навколо лінії прориву (наприклад, 10 км)
var breachBuffer = DamBreachGeometry.buffer(10000);

// 3.3. ФІНАЛЬНЕ ОБМЕЖЕННЯ ЗОНИ РИЗИКУ
// Затоплення обмежується лише низькими місцями В МЕЖАХ 10 км від прориву
var floodRiskImage =
floodZone.updateMask(floodZone.clip(breachBuffer));

// Візуалізація Зони Ризику
var floodVis = {
  palette: '0000FF',

```

```

    opacity: 0.7
  };
  // Зона підтоплення може включати відокремлені низькі місця,
  Map.addLayer(floodRiskImage, floodVis, '4. Зона Підтоплення (Статична
  Модель)');

  // 4. ТЕРИТОРІАЛЬНЕ ОХОПЛЕННЯ (РОЗРАХУНОК ПЛОЩІ)
  var floodAreaSqM = floodRiskImage.multiply(ee.Image.pixelArea());
  var stats = floodAreaSqM.reduceRegion({
    reducer: ee.Reducer.sum(),
    geometry: AOI.geometry(),
    scale: 30,
    maxPixels: 1e13
  });
  var totalFloodAreaSqM = stats.getNumber('elevation');
  var totalFloodAreaHa = totalFloodAreaSqM.divide(10000);
  print('--- ТЕРИТОРІАЛЬНЕ ОХОПЛЕННЯ ---');
  print('Критичний рівень підтоплення (абс. висота):',
  CRITICAL_FLOOD_LEVEL);
  print('Загальна площа ризику підтоплення (га):',
  totalFloodAreaHa.format('%0.2f'));

  // 5. ЕКСПОРТ ПРОГНОЗОВАНИХ МЕЖ
  Export.image.toDrive({
    image: floodRiskImage,
    description: 'Potential_Flood_Zone_' + CRITICAL_FLOOD_LEVEL + 'm',
    folder: 'GEE_Flood_Exports',
    fileNamePrefix: 'Flood_Zone_SRTM',
    region: AOI.geometry(),
    scale: 30,
    crs: 'EPSG:4326',
    fileFormat: 'GeoTIFF',
    maxPixels: 1e13
  });
  print('Експорт зони підтоплення ініційовано. Доступно на вкладці
  Tasks.');
```

Як результат виконання коду отримана візуалізація та растрова модель підтоплення, яка автоматично вивантажується на Google диск у форматі JSON.

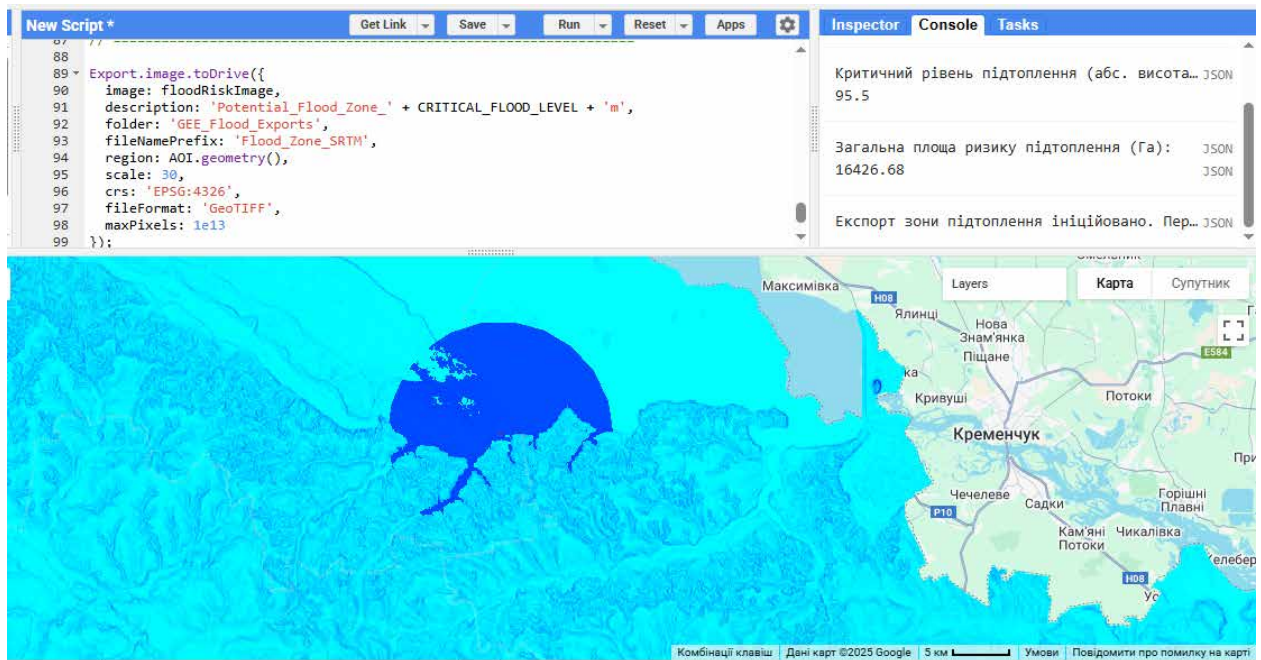


Рис.3.7 Результат моделювання зони підтоплення в районі 10 км від лінії прориву дамби

Під час модулювання ризиків підтоплення гідрологічний аналіз (русла) не спрацював.

### 3.3. Аналіз результатів моделювання. Сценарії розвитку ситуації та заходи реагування

За отриманими даними у разі руйнування Тясминської захисної дамби у радіусі 10 км від місця пошкодження прогнозовано затоплення понижених ділянок на площі більше 8 тис.га. Щоб провести ждетальніший аналіз території що взоні ризику, використано модуль ризику затоплення у форматі JSON та співставлено з населеними пунктами в програмному засобі QGIS.

На рис. 3.8 білим кольором відображені потенційні зони підтоплення, спричинені ризиком пошкодження Тясминської захисної дамби в радіусі 10 км від місця пошкодження. Підтоплення можуть зазнати такі населені пункти як: м. Чигирин, села Рацове, Вітове, Чернече, Галаганівка, Стецівка.

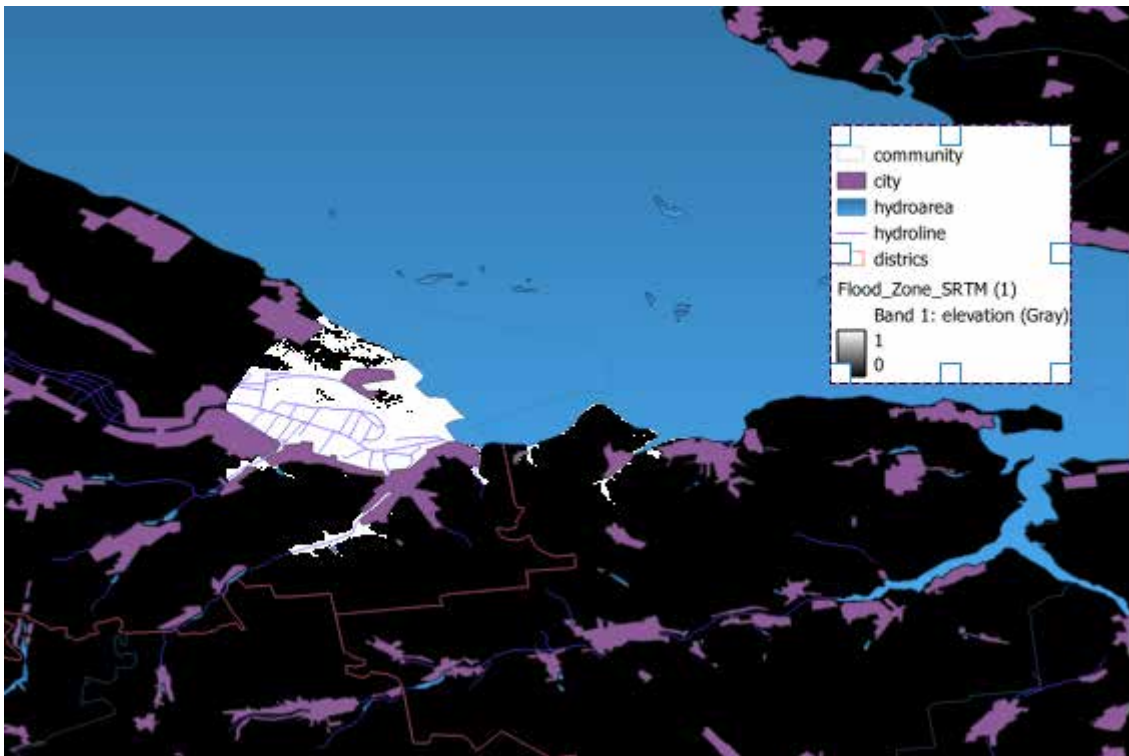


Рис. 3.8 Потенційні зони підтоплення, спричинені ризиком пошкодження Тясминської захисної дамби

Оскільки для точного розрахунку зон підтоплення потрібно більше даних і з вищою детальністю, то необмежують зону ризику 10 км, вся територія потенційного ризику внаслідок руйнування Тясминської дамби може бути представлена на рис. 3.9.

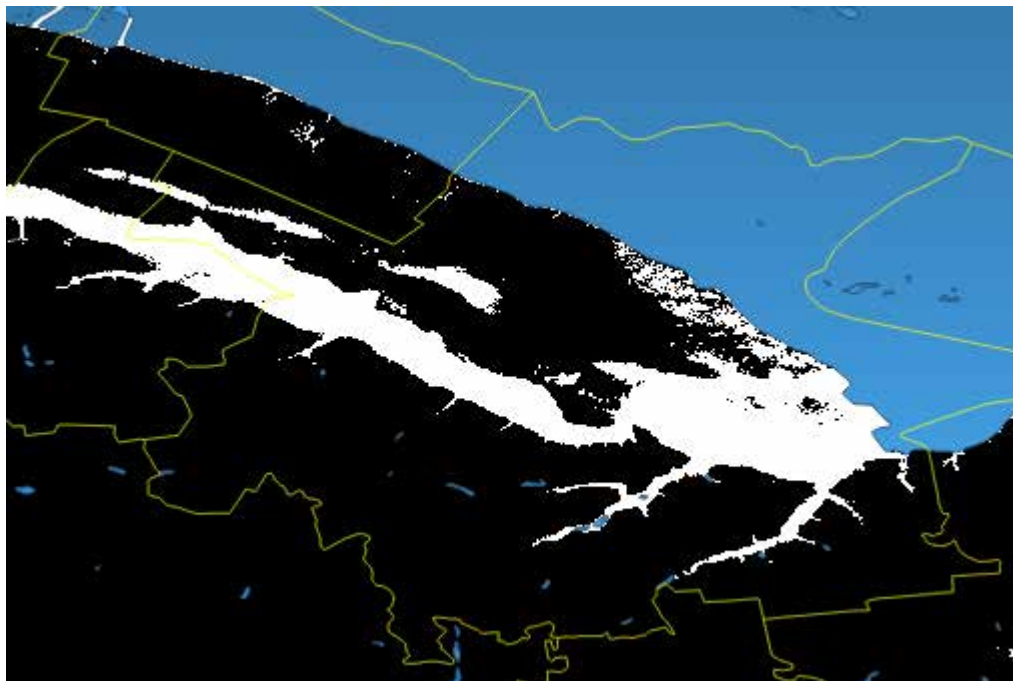


Рис. 3.9 Всі території потенційного ризику підтоплення внаслідок руйнування Тясминської захисної дамби

Отже, в зоні потенційного ризику (як і на попередньому зображенні, виділено білим кольором) дійно потрапляє більше 2-х десятків населених пунктів.

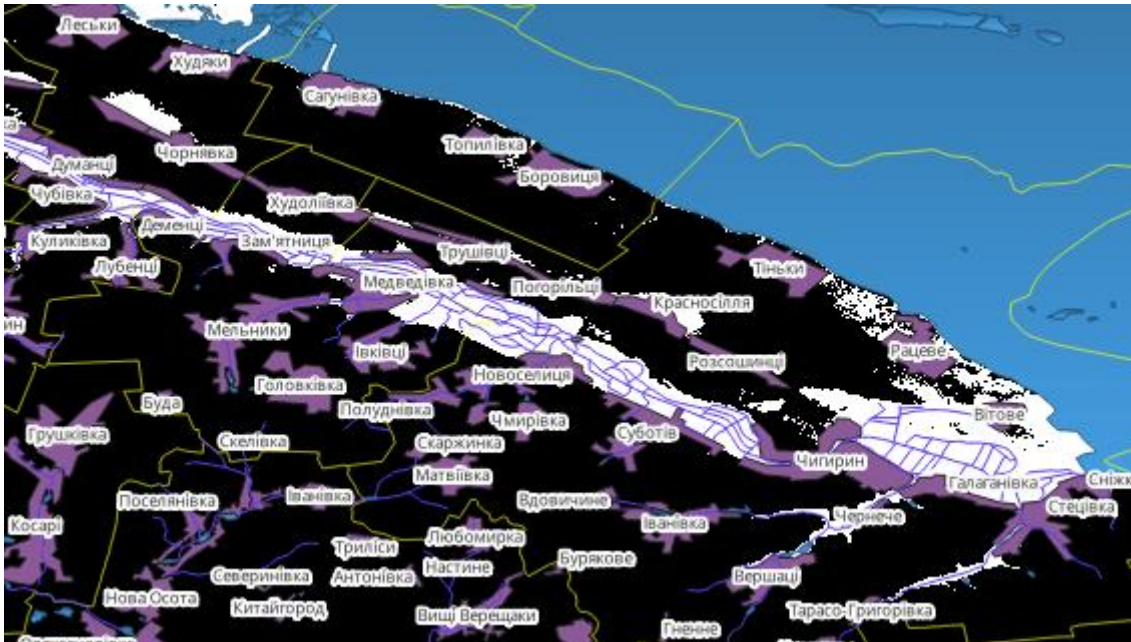


Рис. 3.10 Населені пункти в зоні ризику підтоплення

Залежно від масштабу пошкодження Тясминської захисної дамби можна прогнозувати три сценарії розвитку подій:

1. Оптимістичний сценарій — локальне просідання дамби. Згідно нього можливе підвищення рівня води до 1,5 м та прогнозується площа підтоплення близько 40 га. Заходи для реагування — це укріплення укосів, монтаж тимчасових загат, допоміжних розвантажуючих споруд, відкачування надлишкової води [87].

2. Потенційно можливий сценарій часткового руйнування центральної ділянки дамби. При такому сценарії рівень води підвищується до 3–4 м, а площа підтоплення може бути значною, особливо у заплаві річки Тясмин. Тут потрібні значні дії, починаючи з перекриття пошкодженої ділянки, встановлення аварійних шлюзів, моніторинг фільтраційного тиску [87].

3. Повний прорив дамби (катастрофічний сценарій). Рівень води піднімається до 5 м; можливе затоплення всієї заплави, промислових і житлових кварталів. У такому випадку мають проводитися роботи з локалізації прориву, евакуації населення, рекультивації ґрунтів, перекидання води у резервні канали, подальший моніторинг рівнів ґрунтових вод [89].

Розроблені сценарії розвитку надзвичайної ситуації свідчать про те, що масштаби можливих наслідків безпосередньо залежать від ступеня руйнування дамби. У разі часткового пошкодження підтоплення обмежується придамбовою зоною, площа затоплення становить до 40 га, а основні збитки припадають на сільськогосподарські угіддя та окремі присадибні ділянки, при цьому вплив на інфраструктуру є мінімальним. Якщо ж відбудеться прорив окремих секцій дамби, затоплення охопить до 110 га, уражаючи житлові квартали, промислові об'єкти та складські приміщення. У такому випадку виникає ризик техногенного забруднення ґрунтів і води через контакт води з нафтопродуктами та мінеральними добривами, а також можливе відключення електропостачання через підтоплення трансформаторної підстанції. Найбільш небезпечним є критичний сценарій, коли відбувається повний прорив дамби: тоді площа затоплення перевищує 200 га, наслідки включають руйнування транспортної інфраструктури, зокрема дороги Р-10, відселення населення, гуманітарну кризу через відсутність питної води та доступу до комунікацій, а також значні екологічні збитки [2]. Для зниження ймовірності катастрофічних наслідків необхідно реалізувати комплекс заходів, серед яких інженерні — реконструкція дамби з укріпленням бетонних плит і шпунтового огородження, створення додаткових водовідвідних каналів, встановлення системи моніторингу деформацій та рівнів води організаційні — розробка плану евакуації населення, створення локальних систем раннього попередження, укладання договорів із підприємствами щодо утилізації небезпечних речовин у зоні ризику

### Висновки до розділу 3

Геоінформаційне моделювання дало можливість просторово оцінити зони ризику підтоплення у межах м. Кам'янка у разі руйнування дамби. Найвразливішими виявилися прибережні території, де перепад висот між верхнім і нижнім б'єфами становить 3 м. Розрахункова площа потенційного підтоплення становить приблизно 110 га, що підтверджено аналізом об'єму води та морфології заплави.

Змодельовано на основі відкритих даних цифрової моделі рельєфу SRTM підтоплення території у разі пошкодження Тясминської захисної дамби за допомогою хмарної геоінформаційної технології Google Earth Engine. Виявлено значні площі підтоплення у радіусі 10 км від місця прориву води. У зоні ризику опинилосі м. Чигирин та низка сіл. Також змодельовано сценарій де необмежено радіус підтоплення.

Визначено три сценарії розвитку надзвичайної ситуації — оптимістичний, реалістичний і катастрофічний, які різняться масштабом затоплення та наслідками. Запропоновані карти ризику можуть бути основою для планування дій органів місцевого самоврядування та системи моніторингу. Для підвищення точності прогнозування рекомендовано інтегрувати модель у гідродинамічне середовище HEC-RAS [89].

## **ВИСНОВКИ:**

У результаті виконання магістерської роботи встановлено, що Тясминська захисна дамба є критично важливим гідротехнічним об'єктом, який поєднує функції протипаводкового захисту та транспортної інфраструктури, проте її технічний стан оцінюється як передаварійний і потребує негайних заходів реконструкції та системного моніторингу. Проведений геоінформаційний аналіз із використанням цифрових моделей рельєфу, відкритих картографічних даних та методів просторового моделювання підтвердив високий рівень ризику підтоплення у разі руйнування споруди, що може призвести до затоплення понад двох десятків населених пунктів, значних площ сільськогосподарських угідь та транспортних шляхів. Розроблена геопросторова модель ризиків підтоплення дозволяє прогнозувати масштаби можливих збитків і є практичним інструментом для органів влади та місцевих громад у плануванні заходів реагування. Запропоновані рекомендації щодо реконструкції дамби, впровадження системи моніторингу та проведення днопоглиблювальних робіт у руслі річки Тясмин спрямовані на зниження екологічних та соціально-економічних ризиків, забезпечення безпеки населення та сталого розвитку території.

У першому розділі було розглянуто теоретичні засади дослідження, визначено ключові поняття та підходи до аналізу гідрологічних ризиків і землекористування. Це дозволило окреслити методологічну основу та сформувати науковий апарат для подальших досліджень.

Другий розділ присвячено аналізу нормативно-правових та економічних аспектів управління територіями. Тут було систематизовано законодавчі положення, що регулюють використання земельних ресурсів, а також розглянуто економічні механізми, які впливають на прийняття управлінських рішень.

У третьому розділі здійснено практичний аналіз території з використанням геоінформаційних технологій. Було проведено картографування,

моделювання ризиків та оцінку інфраструктурних характеристик, що дало змогу виявити проблемні ділянки та визначити потенційні загрози.

Четвертий розділ містить результати синтезу отриманих даних та розробку практичних рекомендацій. Запропоновано комплекс заходів щодо оптимізації землекористування, мінімізації гідрологічних ризиків та підвищення стійкості інфраструктури.

Узагальнюючи, можна зазначити, що робота поєднує теоретичні, правові, економічні та практичні аспекти, а її результати мають прикладне значення для подальшого розвитку системи управління територіями та зниження ризиків у сфері інфраструктурного планування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Черкаське управління захисних масивів дніпровських водосховищ. Тясминська дамба. Продовжуємо роботу. Офіційний сайт. URL: <https://chuzmdv.gov.ua/index.php>
2. 5 канал. На Черкащині руйнується захисна дамба: десятки населених пунктів у небезпеці затоплення. 2017. URL: <https://www.5.ua>
3. Громадське радіо. Або дорога, або — дамба: що руйнує Тясминську греблю на Черкащині 2020. URL: <https://hromadske.radio/publications/abo-dorooha-abo-damba-shcho-ruynuie-tiasmysn-ku-hrebliu-na-cherkashchyni>
4. Громадське радіо. Опори службового мосту через багаторічні навантаження та циклічні підтоплення демонструють тріщини й ознаки деградації. 2020. URL: <https://hromadske.radio>
5. Черкаське управління захисних масивів. Офіційний сайт. 2021. URL: <https://chuzm.gov.ua>
6. ВІККА. Тясминська дамба може підтопити 26 населених пунктів. 2010. URL: <https://vikka.ua>
7. Кам'янський державний історико-культурний заповідник. Історія Кам'янки: декабристи та П. І. Чайковський. Офіційний сайт. URL: <http://kamz.gov.ua>
8. Кам'янська міська громада. Історична довідка про заснування міста та демографічні дані. Офіційний сайт. URL: <https://kamyanka-mrada.gov.ua>
9. Єфремцева А. П. *Тясминський каньйон як унікальна пам'ятка природи і об'єкт туристичної привабливості.* // Гуманітарний вісник ЧДТУ. 2018. URL: <https://er.chdtu.edu.ua/handle/ChSTU/1978>
10. ОВД-звіт. Звіт з оцінки впливу на довкілля планованої діяльності “Капітальний ремонт. Заходи щодо відновлення і підтримання сприятливого гідрологічного режиму та санітарного стану річки Тясмин у межах м. Кам'янка Черкаської області”.
11. Деденчук О. Наукові праці з гідрології та природокористування. 2022.

12. Drymba.com. Тясминський каньйон у місті Кам'янка. 2022. URL: <https://drymba.com/uk/1007283-tyasminskyu-kanon>
13. Лазаренко А. С., Вірченко В. М., Ветров О. В. та ін. *Тясминський каньйон — унікальна пам'ятка природи України*. НАН України. Київ, 2018. ISBN 978-617-7475-58-2. URL: <https://www.nas.gov.ua/EN/Publications/Monographs/Pages/default.aspx>
14. Кам'янська міська громада. Геологічна історія Тясминського каньйону. Офіційний сайт. 2025. URL: <https://kamyanka-mrada.gov.ua>
15. JenuaTravels. Туристичний опис Тясминського каньйону. 2025. URL: <https://jenuatravels.com>
16. Укргідрометцентр. Кліматичні характеристики Черкаської області. Офіційний сайт. URL: <https://meteo.gov.ua>
17. Природа Черкащини. Довідкові матеріали про ґрунти, рослинність та екологічний стан. 2020. URL: <http://nature.ck.ua>
18. Поліщук-Левченко І., Адешелідзе Т. *Природа вимагає поваги: екологія Черкащини*. Бібліографічний покажчик. Черкаси, 2020. URL: <https://library.ck.ua>
19. Висновок з оцінки впливу на довкілля. *Капітальний ремонт. Заходи щодо відновлення сприятливого гідрологічного та санітарного стану р. Тясмин у межах м. Кам'янка Черкаської області*. 2020
20. Goodchild, M. F. *Geographic Information Systems and Science: Today and Tomorrow // Annals of the Association of American Geographers*. – 1992. – Vol. 82(2). – P. 267–279.
21. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. *Geographic Information Systems and Science*. – 3rd ed. – Chichester: Wiley, 2011. – 560 p.
22. Clark Labs. *TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling Software*. – Worcester, MA: Clark University, 2020. – Режим доступу: <https://clarklabs.org>
23. Esri. *ArcGIS Pro Documentation*. – Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2021. – Режим доступу: <https://pro.arcgis.com>

24. QGIS Development Team. *QGIS User Guide*. – Open Source Geospatial Foundation, 2021. – Режим доступу: <https://qgis.org>
25. Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., et al. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) // *Reviews of Geophysics*. – 2007. – Vol. 45, Issue 2. – DOI: 10.1029/2005RG000183.
26. Richards, J. A., Jia, X. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. – 5th ed. – Berlin: Springer, 2013. – 494 p.
27. Maxwell, A. E., Warner, T. A., Fang, F. Implementation of machine-learning classification in remote sensing: an applied review // *International Journal of Remote Sensing*. – 2018. – Vol. 39(9). – P. 2784–2817.
28. Wulder, M. A., Coops, N. C., Roy, D. P., White, J. C., Hermosilla, T. Land cover 2.0 // *Remote Sensing of Environment*. – 2018. – Vol. 207. – P. 185–190.
29. Про Державний земельний кадастр: Закон України від 07.07.2011 № 3613-VI // Відомості Верховної Ради України. – 2012. – № 8. – Ст. 61.
30. Dale, P., McLaughlin, J. *Land Administration*. – Oxford: Oxford University Press, 1999. – 169 p.
31. Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J., Rajabifard, A. *Land Administration for Sustainable Development*. – Redlands, CA: ESRI Press, 2010. – 487 p.
32. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE) // *Official Journal of the European Union*. – 2007. – L 108. – P. 1–14.
33. Jensen, J. R. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. – 2nd ed. – Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007. – 592 p.
34. Voogt, J. A., Oke, T. R. Thermal remote sensing of urban climates // *Remote Sensing of Environment*. – 2003. – Vol. 86(3). – P. 370–384.
35. Margules, C. R., Pressey, R. L. Systematic conservation planning // *Nature*. – 2000. – Vol. 405. – P. 243–253.

36. IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge: Cambridge University Press, 2014. – 1132 p.
37. Maxwell, A. E., Warner, T. A., Fang, F. Implementation of machine-learning classification in remote sensing: an applied review // *International Journal of Remote Sensing*. – 2018. – Vol. 39(9). – P. 2784–2817.
38. Kitchin, R. Big Data and human geography: Opportunities, challenges and risks // *Dialogues in Human Geography*. – 2014. – Vol. 3(3). – P. 262–267.
39. Google Earth Engine. *Developer's Guide*. – Google, 2021. – Режим доступа: <https://developers.google.com/earth-engine>
40. Goodchild, M. F. Twenty years of progress: GIScience in 2010 // *Journal of Spatial Information Science*. – 2010. – Vol. 1. – P. 3–20.
41. Batty, M. *The New Science of Cities*. – Cambridge, MA: MIT Press, 2013. – 520 p.
42. Rodrigue, J.-P., Comtois, C., Slack, B. *The Geography of Transport Systems*. – 5th ed. – New York: Routledge, 2020. – 456 p.
43. Alberti, M., Marzluff, J. M., Shulenberger, E., Bradley, G., Ryan, C., Zumbrunnen, C. Integrating humans into ecology: Opportunities and challenges for studying urban ecosystems // *BioScience*. – 2003. – Vol. 53(12). – P. 1169–1179.
44. Kitchin, R., Lauriault, T. P., McArdle, G. Knowing and governing cities through urban indicators, city benchmarking and real-time dashboards // *Regional Studies, Regional Science*. – 2015. – Vol. 2(1). – P. 6–28.
45. Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., Meijers, E. *Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities*. – Vienna: Centre of Regional Science, Vienna University of Technology, 2007. – 28 p.
46. Caragliu, A., Del Bo, C., Nijkamp, P. Smart cities in Europe // *Journal of Urban Technology*. – 2011. – Vol. 18(2). – P. 65–82.
47. Kitchin, R., Dodge, M., Perng, S.-Y. *The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures and Their Consequences*. – London: SAGE, 2015. – 222 p.
48. UN-Habitat. *World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization*. – Nairobi: United Nations Human Settlements Programme, 2020. – 400 p.

49. Tomlinson, R. *Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers*. – 5th ed. – Redlands, CA: ESRI Press, 2019. – 268 p.
50. Joyce, K. E., Belliss, S. E., Samsonov, S. V., McNeill, S. J., Glassey, P. J. A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters // *Progress in Physical Geography*. – 2009. – Vol. 33(2). – P. 183–207.
51. Haggerty, K. D., Ericson, R. V. *The New Politics of Surveillance and Visibility*. – Toronto: University of Toronto Press, 2006. – 424 p.
52. United Nations. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019*. – Geneva: UNDRR, 2019. – 476 p.
53. Pierce, F. J., Nowak, P. Precision agriculture // *Advances in Agronomy*. – 1999. – Vol. 67. – P. 1–85.
54. Mulla, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps // *Biosystems Engineering*. – 2013. – Vol. 114(4). – P. 358–371.
55. NASA. *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Data Users Guide*. – Washington, DC: NASA, 2013. – 32 p.
56. Kamilaris, A., Prenafeta-Boldú, F. X. Deep learning in agriculture: A survey // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2018. – Vol. 147. – P. 70–90.
57. Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press, 1998. – 333 p.
58. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. *Geographic Information Systems and Science*. 3rd ed. Chichester: Wiley, 2011. – 517 p.
59. DeMers, M. N. *Fundamentals of Geographic Information Systems*. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2009. – 443 p.
60. Li, Z., Zhu, Q., & Gold, C. *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. Boca Raton: CRC Press, 2005. – 323 p.
61. Hengl, T., & Reuter, H. I. (Eds.). *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Amsterdam: Elsevier, 2009. – 772 p.

62. Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (Eds.). *Terrain Analysis: Principles and Applications*. New York: Wiley, 2000. – 479 p.
63. Mitchell, A. *The ESRI Guide to GIS Analysis. Volume 2: Spatial Measurements and Statistics*. Redlands: ESRI Press, 2005. – 238 p.
64. Tomlin, C. D. *GIS and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1990. – 249 p.
65. Aronoff, S. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. Ottawa: WDL Publications, 1991. – 294 p.
66. Chang, K. T. *Introduction to Geographic Information Systems*. 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2022. – 512 p.
67. Heywood, I., Cornelius, S., & Carver, S. *An Introduction to Geographical Information Systems*. 4th ed. Harlow: Pearson Education, 2011. – 480 p.
68. Worboys, M., & Duckham, M. *GIS: A Computing Perspective*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2004. – 448 p.
69. Goodchild, M. F. *Geographic Information Science*. International Journal of Geographical Information Science, 2009, Vol. 23(2), pp. 167–172.
70. Chrisman, N. R. *Exploring Geographic Information Systems*. 2nd ed. New York: Wiley, 2002. – 320 p.
71. Burrough, P. A., McDonnell, R. A., & Lloyd, C. D. *Principles of Geographical Information Systems*. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2015. – 432 p.
72. ESRI. *Understanding GIS: An ArcGIS Project Workbook*. 4th ed. Redlands: ESRI Press, 2016. – 400 p.
73. Clarke, K. C. *Getting Started with Geographic Information Systems*. 5th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010. – 432 p.
74. O’Sullivan, D., & Unwin, D. *Geographic Information Analysis*. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2010. – 432 p.
75. Johnston, C. A. *Geographic Information Systems in Ecology*. Oxford: Blackwell Science, 1998. – 239 p.
76. Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. *Quantitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis*. London: Sage, 2000. – 270 p.

77. Batty, M., & Longley, P. *Fractal Cities: A Geometry of Form and Function*. San Diego: Academic Press, 1994. – 394 p.
78. ESRI. *ArcGIS Pro Documentation*. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2023. – Режим доступу: <https://pro.arcgis.com>
79. Конкурсна робота «Геопросторовий аналіз ризиків підтоплення». — Кам'янка, 2024. — 26 с.
80. NASA. *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Data*. — NASA, 2023.
81. Clark Labs. *TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System*. — Worcester, Clark University, 2023.
82. QGIS Development Team. *QGIS Documentation 3.34*. — QGIS Project, 2024.
83. Google. *Google Hybrid Map Layer*. — Доступ станом на 2025 р.
84. Esri. *ArcGIS Pro User Guide*. — Redlands, CA: Esri Press, 2022.
85. USACE. *HEC-RAS Hydrologic Modeling System*. — U.S. Army Corps of Engineers, 2023.

## **ДОДАТКИ**



УКРАЇНА

Кам'янська міська рада  
Черкаської області  
8 сесія VII скликання  
**Р І Ш Е Н Н Я**

Від 27 квітня 2018 року  
м.Кам'янка

№ 8-33

**Про затвердження Програми охорони  
та раціонального використання  
природних ресурсів Кам'янської  
об'єднаної територіальної громади  
на 2018-2020 роки**

Керуючись п. 22, п. 25 ст. 26 Закону України «Про місцеве самоврядування в Україні», «Про державний бюджет України на 2018 рік», «Про благоустрій населених пунктів», «Про охорону навколишнього природного середовища», Бюджетним кодексом України, відповідно до рішення Кам'янської міської ради від 22.12.2017 № 2-19/VII «Про бюджет Кам'янської міської об'єднаної територіальної громади на 2018 рік», постанови Кабінету Міністрів України від 17.09.1996 р. №1147 «Про затвердження переліку видів діяльності, що належать до природоохоронних заходів», міська рада

**ВИРІШИЛА:**

1. Затвердити Програму охорони та раціонального використання природних ресурсів Кам'янської об'єднаної територіальної громади на 2018-2020 роки.
2. Відділу фінансів виконавчого комітету Кам'янської міської ради передбачити в бюджеті об'єднаної територіальної громади асигнування на реалізацію заходів Програми на 2018 рік.
3. Контроль за виконанням даного рішення покласти на постійні депутатські комісії та на заступника міського голови з питань діяльності виконавчих органів ради.

Міський голова

Згідно з оригіналом.  
Секретар міської ради



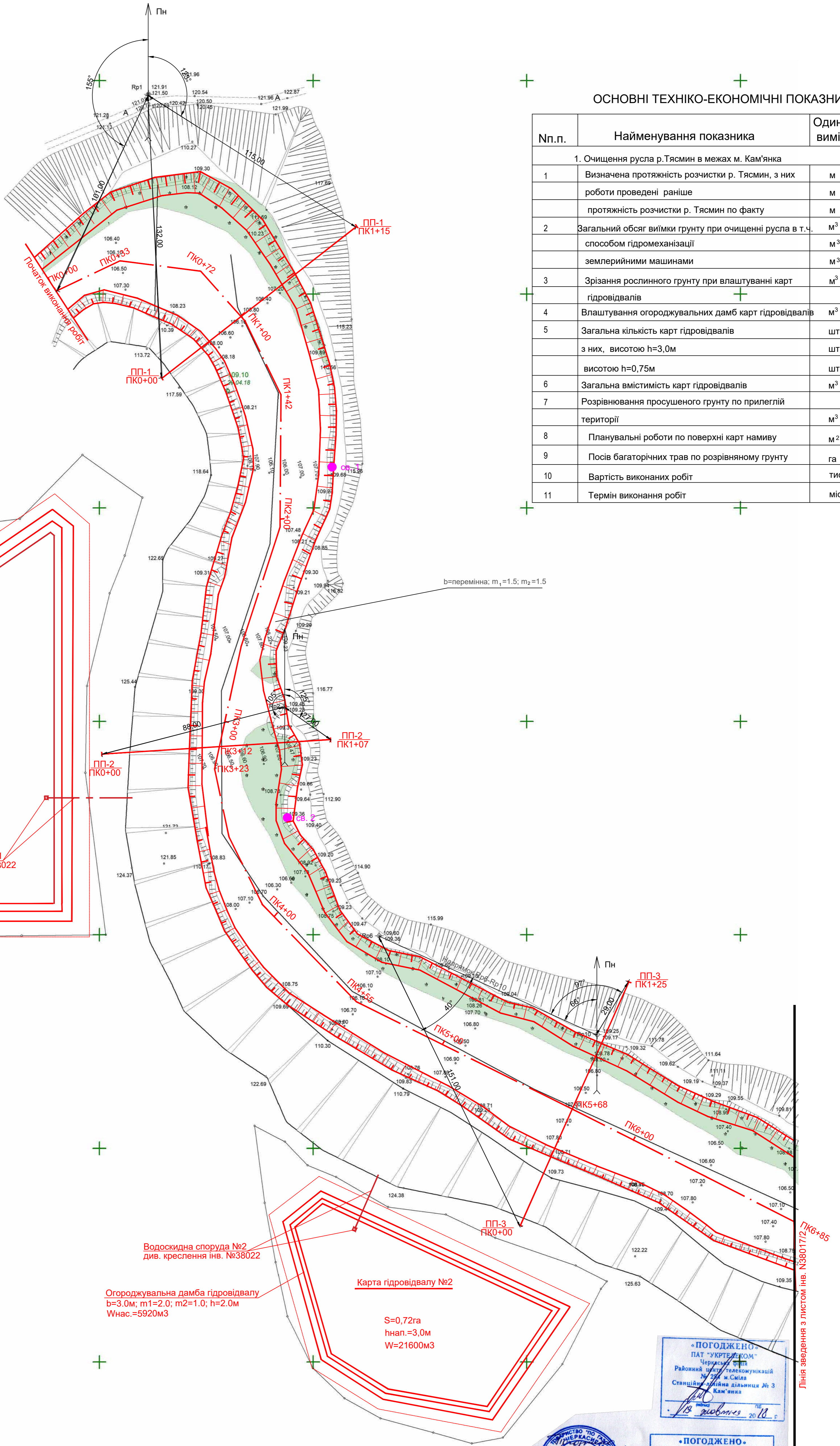
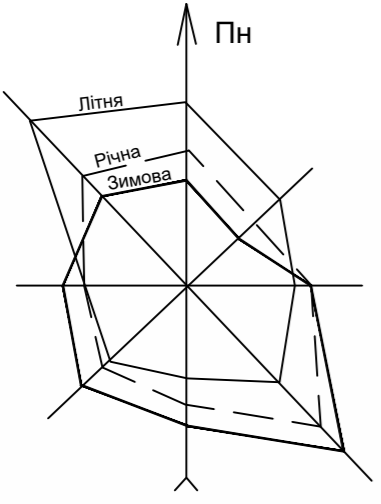
В.І. Тірон

А.М.Плешкань

## СХЕМА

розташування ділянки виконання робіт по об'єкту: "Капітальний ремонт. Заходи щодо відновлення сприятливого гідрологічного та санітарного стану р. Тясмин в межах м. Кам'янка Черкаської області"





ОСНОВНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ.

№п.п.	Найменування показника	Один. вимір.	Кількість
1. Очищення русла р.Тясмин в межах м. Кам'янка			
1	Визначена протяжність розчистки р. Тясмин, з них роботи проведені раніше	м	5130
	протяжність розчистки р. Тясмин по факту	м	900
2	Загальний обсяг виймки ґрунту при очищенні русла в т.ч. способом гідромеханізації	м³	241982
	землерийними машинами	м³	216434
3	Зрізання рослинного ґрунту при влаштуванні карт гідровідвалів	м³	10580
4	Влаштування огорожувальних дамб карт гідровідвалів	м³	55323
5	Загальна кількість карт гідровідвалів з них, висотою h=3,0м	шт.	10
	висотою h=0,75м	шт.	6
6	Загальна вмістимість карт гідровідвалів	м³	216434
7	Розрівнювання просушеного ґрунту по прилеглий території	м³	57734
8	Планувальні роботи по поверхні карт наміву	м²	52900
9	Посів багаторічних трав по розрівняному ґрунту	га	11,55
10	Вартість виконаних робіт	тис. грн.	
11	Термін виконання робіт	міс.	

Огорожувальна дамба гідровідвалу  
b=3.0м; m1=2.0; m2=1.0; h=2.0м  
Wнас.=9100м³

Карта гідровідвалу №1

S=1.61га  
hнап.=3.0м  
W=48300м³

Водоскидна споруда №1  
див. креслення інв. №38022

Водоскидна споруда №2  
див. креслення інв. №38022

Огорожувальна дамба гідровідвалу  
b=3.0м; m1=2.0; m2=1.0; h=2.0м  
Wнас.=5920м³

Карта гідровідвалу №2

S=0.72га  
hнап.=3.0м  
W=21600м³

- Даний аркуш читати разом з аркушами комплектів ГП, ЗС, АБ.
- Розмітка поперечних перетинів виконується від зазначених на місцевості топографічних знаків Рр.
- Розміри на кресленні дані в метрах.
- Розташування карт гідровідвалів і параметри їх визначити по масштабу креслення.

«ПОГОДЖЕНО» ПАТ «УКРТЕЛЕКОМ» Черкаська філія  
Районний центр телекомунікацій № 254 м.Сміла  
Станційно-лінійна дільниця № 3 Кам'янка  
19 жовтня 2018 р.

«ПОГОДЖЕНО» ПАТ «УКРТЕЛЕКОМ» Черкаська філія  
Районний центр телекомунікацій № 254 м.Сміла  
Станційно-лінійна дільниця транспортної мережі №7 м. Сміла  
19 жовтня 2018 р.

ПАТ «ЧЕРКАСІОБЛЕНЕРГО» КАМ'ЯНСЬКИЙ РАЙОН ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ  
ПОГОДЖЕНО  
19 10 2018 р.  
Підпис: [Signature]

Лінія зведення з листом інв. №38017/12

23 - 18 - 00-ГП			
Зм	Кільк.	Арк.	Н док. Підп. Дата
Розробив	Петренко М.П.		
Перевірив	Андрийчук О.А.		
ГП	Ромаш В.В.		
Нач.відділу	Коваленко І.А.		
Н.контр.	Ринденко Л.Т.		
Очищення русла р. Тясмин		Стадія	Аркуш
Очищення русла р. Тясмин		РП	2
ПЛАН р. Тясмин в межах м. Кам'янка. (ПК0+00 - ПК6+85) М 1:1000		ТОВ "ПБК-Водпроект" 2018р.	

Погоджено: [Signature]

Інв. № ор. Підпис і дата Зам. інв. № 38017/1



МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ  
 ДЕРЖАВНА УСТАНОВА  
 «ІНСТИТУТ ОХОРОНИ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ»  
**ЧЕРКАСЬКА ФІЛІЯ ДУ «Держґрунтохорона»**  
 вул. Докучаєва, 15, с. Холодніянське, Смілянський район, Черкаська область, 20731  
 код 38517360; тел. факс (047-33) 4-24-82, 2-10-46 E-mail: cherkasy@iogu.gov.ua

№ 158-22 /03.02/1548

від «30» жовтня 2018 р.

### РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗА ЗРАЗКА МУЛУ

Замовник : ТОВ «ПБК – Водопроєкт», м. Черкаси

Назва: мул, м. Кам'янка, р.Тясмин

Реєстраційний номер: 588

Дата одержання на аналіз: 19.10.2018

Аналіз виконано відповідно ГОСТ 26715-85 – ГОСТ 26718-85, ГОСТ 27980-88, ГОСТ 11306-83, ГОСТ 11623-89,

У представленому замовником зразку встановлено:

Показники	Вміст	
	на натуральну вологу	на абсолютно сухий стан
Волога, %	27,8	-
pH (кислотність)	7,4	-
Азот загальний, %	0,15	0,21
Фосфор загальний, %	0,08	0,11
Калій загальний, %	0,19	0,26
Зола, %	-	91,8
Органічна речовина, %	-	4,1
Свинець, мг/кг	3,2	4,5
Кадмій, мг/кг	0,09	0,13

Директор

Завідувач лабораторії



Ю.І. Кривда

О.В. Дмитренко

**О Р Д Е Р № 208**

на видалення зелених насаджень

**м. Кам'янка**  
(назва населеного пункту)

24.04.2019 рік

На основі рішення (розпорядження) від 23.04.2019 р. № 58

виконавчого комітету Кам'янської міської ради

Уповноважений орган, визначений виконавчим комітетом Кам'янської міської ради дозволяє:

робоча група з благоустрою

(назва підприємства, організації, установи)

Адреса: 20801 Черкаська обл. м. Кам'янка р. Тясмин

згідно з актом обстеження зелених насаджень, складеним № 208 (13) від 18.04.2019 року.

комісією в складі: **Нечиталюк О.В., Монзуль А.О., Романенко Ю.М., Шевченко О.П., Хоменко Б.А., Полудень Т. В., Фидрик М.В.**

Дозволяє виконати вирізку дерев — видалення дерев провести по р. Тясмин

Термін видалення встановлюється до **31 грудня 2019 року**

Благоустрій та озеленення провести до **31 грудня 2019 року**

Використання вирубанної деревини — **вирубану деревину використати для опалення закладів соціальної сфери.**

Зелені насадження, які залишаються в межах визначеної ділянки, передаються на збереження робочій групі з благоустрою міста

старший майстер Гончаренко Наталія Анатоліївна

24.04.2019 року  
Дата відкриття ордера

31 грудня 2019 року  
Дата закриття ордера



**В.І.Тірон**

*Термін дії ордера  
клас ВУ 21.04.2019  
продовжено 20.04.2019*