

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису
УДК 004.41:528.4 (477)

ПРОГРАМУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Галузь знань 10 – “Природничі науки”
Спеціальність 103 – “Науки про Землю”
Освітньо-наукова програма “Картографія та географічні інформаційні системи”

Кваліфікаційна робота магістра
студентки другого курсу
Слічної Лілії Володимирівни

Науковий керівник –
доктор географічних наук, професор
Бондаренко Едуард Леонідович

Допущено до захисту
Протокол засідання кафедри № 10 від 06 травня 2025 року
Завідувач кафедри проф. Людмила ДАЦЕНКО

Київ – 2025

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі магістра розглянуто можливості програмування спеціалізованих інструментів для укладання топографічних карт, що створюються у середовищі програмних продуктів ArcGIS. Розроблення таких засобів дозволяє автоматизувати певні процеси при роботі із векторними даними, виявити помилки при створенні чи оновленні топографічних карт, а також загалом полегшити роботу коректорів та редакторів.

Основними масштабами, для яких розроблялися інструменти, є 1:50 000, 1:100 000 та 1:200 000. Скрипти та моделі перевірки певних об'єктів налаштовані під кожний масштаб окремо, враховуючи вимоги та мінімальні допустимі проміжки між умовними позначеннями.

Розглянуто теоретичні основи створення топографічних карт: їх характерні риси, умовні позначення та основні елементи змісту. Окрема увага приділена розвитку топографічного картографування в Україні та сучасним викликам, що спричинені повномасштабною війною.

Доведено, що за допомогою мови програмування Python та середовища ModelBuilder можна автоматизувати численні процеси обробки геопросторових даних, а також програмувати власні набори інструментів у програмному продукті ArcGIS Pro. Протестовано варіанти роботи скриптів на аркушах топографічних карт, що виконувались за допомогою ArcGIS Desktop.

Висвітлено приклади написання моделей у середовищі ModelBuilder, їх тестування та застосування на практиці. Проаналізовано можливості вдосконалення авторських інструментів.

Впровадження розроблених інструментів у процес виготовлення та перевірки топографічних карт значно підвищить точність та якість продукції, яка використовується для потреб безпеки та оборони України.

Ключові слова: топографічна карта, програмування, ArcGIS, ModelBuilder, спеціалізовані інструменти.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ..	8
1.1. Сутність і характерні риси топографічних карт.	8
1.2. Умовні позначення на топографічних картах.	12
1.3. Основні елементи змісту топографічних карт.	14
1.4. Історичний огляд розвитку топографічного картографування в Україні. ...	19
1.5. Сучасні виклики у сфері топографічного забезпечення для потреб безпеки та оборони держави.....	24
РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТОПОГРАФІЧНОМУ КАРТОГРАФУВАННІ.....	28
2.1. Геоінформаційні системи для створення топографічних карт.....	28
2.2. Можливості мови програмування Python у програмних продуктах ArcGIS.	31
2.3. Використання ModelBuilder для автоматизації робіт.....	32
2.4. Стандартна мова записів SQL у роботі із базами даних.	33
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ	37
3.1. Короткий огляд наявного інструментарію для створення топографічних карт.	37
3.2. Вибір середовища та засобів розробки.	40
3.3. Складові частини моделі у ModelBuilder.....	42
3.4. Алгоритм розробки моделі у ModelBuilder.	44
РОЗДІЛ 4. АВТОРСЬКІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ	51
4.1. Загальний огляд інструментарію.	51
4.2. Інструменти аналізу анотацій.	56
4.3. Інструменти для пошуку топологічної неузгодженості об'єктів.....	58
4.4. Інструменти для автоматизованого виправлення ряду помилок.	61
4.5. Майбутні модифікації та перспективи розвитку інструментарію.	62
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТКИ.....	68

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Топографічне картографування в Україні переживає активну фазу свого розвитку. Із початком україно-російської війни у 2014 р. розпочалися поступові роботи із створення та оновлення топографічних карт різних масштабів, які з часу здобуття незалежності сильно застаріли. Впровадження сучасних технологій, перехід на укладання електронних карт, модернізація картографічного виробництва, залучення супутникових знімків стали поштовхом до відродження галузі. Повномасштабні військові дії у 2022 р. посприяли залученню у топографічне виробництво стандартів НАТО (Організація Північноатлантичного договору).

На сьогодні в умовах активної фази війни, топографічні карти стали ще більш затребуваними. Аби забезпечити Збройні Сили достатніми за якістю та точністю картографічними матеріалами є сенс автоматизувати ряд процесів в укладанні та перевірці аркушів топографічних карт. Програмування спеціалізованих інструментів для виявлення топологічних неузгоджень, помилок в укладанні об'єктів між собою, некоректності підписів дозволяє звернути увагу укладача на проблеми, які можна виправити до перевірки аркуша коректором чи редактором. Частина з таких інструментів самостійно корегує об'єкти, тим самим зменшуючи кількість помилок, які могли б існувати на аркуші та потребували ручного виправлення. Загалом автоматизація ряду процесів при створення топографічних карт позитивно вплине на підвищення якості та точності картографічної продукції.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є програмування ряду спеціалізованих інструментів, які можна було б залучити у процес виготовлення топографічної продукції в Україні.

Для досягнення сформульованої мети поставлено до виконання такі **завдання:**

- дослідити теоретичні основи створення топографічних карт, їх сутність та особливості;

- здійснити аналіз досвіду створення топографічних карт в історичній ретроспективі, розглянути сучасні виклики до топографічного картографування в Україні.
- окреслити можливості мови Python при застосування її у середовищі ArcGIS;
- дослідити середовище роботи ModelBuilder як візуальної мови програмування у ArcGIS;
- розробити необхідні спеціалізовані інструменти для топографічних карт; протестувати та налаштувати їх під коректне функціонування у різних масштабах;
- проаналізувати доцільність використання розроблених інструментів у топографічному виробництві, виявити плюси та мінуси їх впровадження;
- окреслити можливості подальшого вдосконалення такого інструментарію.

Об’єктом дослідження є процес програмування спеціалізованих інструментів для топографічних карт.

Предметом дослідження є методи, алгоритми та технології програмування інструментів для автоматизації створення топографічних карт.

Методи дослідження.

Із основних методів, що використовуються на теоретичному рівні, у роботі застосовувались методи *аналізу і синтезу, індукції та дедукції*.

Аналіз і синтез використовувались при побудові моделей у ModelBuilder. Якщо шар карти містив складні за конфігурацією елементи, то такі елементи варто було поділяти на групи та проводити експерименти на кожній групі окремо.

Індукція та дедукція застосовувались при пошуку помилок у роботі інструментів. Модель розбивалась на декілька частин, далі у тестовому режимі запускалися певні її елементи, аналізувалися результати, після чого проводилось виправлення помилок та збирання елементів у суцільну модель повторно.

Із основних методів, що використовуються на емпіричному рівні, у роботі застосовувались: *спостереження, порівняння, моделювання, вимірювання та метод експерименту.*

Спостереження: розроблення кожного з інструментів передбачало цілеспрямоване та систематичне вивчення результатів, які продукувала модель. Спостереження за роботою скрипта дозволяло виявити елементи, які давали збій або не працювали коректно.

Порівняння – один із ключових методів, що був застосований у дослідженні. Визначення подібності і розбіжності в очікуваних та отриманих результатах роботи інструмента дозволяло виявляти помилки у роботі моделі або отримувати підтвердження коректної обробки геоданих.

Порівняння (за еталонами) – це метод, що використовувався при перевірці дотримання мінімальної допустимої відстані (0,2 мм) між об'єктами на кожному із масштабів карт.

Метод моделювання проявлявся у побудові моделей геообробки даних, аби в результаті отримати дієвий алгоритм, що виконуватиме певні дії (вимірюватиме об'єкти, шукатиме за вказаною вибіркою тощо). У методі моделювання ключовим завжди є правильний вибір інструментів геообробки, а також їх гармонійне розташування одне відносно одного у робочому процесі.

Вимірювання як метод використовувалося для визначення похибок у роботі алгоритмів або для фіксування мінімально допустимих відстаней/площ об'єктів у різних масштабах.

Експеримент – ключовий метод дослідження, що часто застосовувався у поєднанні з іншими методами (із спостереженням, порівнянням тощо). Для виконання експерименту обов'язково проводились підготовчі роботи, а саме створювались ідеальні умови, де інструмент мав коректно виявити заздалегідь зроблені помилки. Експеримент повторювався багато разів, доки усі випадки неузгодженості об'єктів не охоплював розроблений алгоритм.

Із методів окремих наук, мали важливе значення *картографічний, геоінформаційний, математичний методи.*

Картографічний метод був корисний при аналізі просторових закономірностей між об'єктами, дослідженні їх поєднання між собою.

Геоінформаційний метод (просторовий аналіз) застосовувався при створенні буферів навколо об'єктів, відбору та коригуванні геометрії.

Математичні (статистичні) методи залучалися для побудови складних виразів на мові SQL задля статистичної вибірки необхідних даних або відсіванні зайвих значень.

Наукова значимість.

1. Інструменти здійснюють перевірку масштабів, які раніше не перевіряли подібними інструментами.
2. Переважна більшість помилок, що виявляють розроблені інструменти є масовими та популярними серед укладачів різного рівня підготовки.
3. Застосування подібного інструментарію зменшує навантаження на коректорів, прибирає із їх роботи ті помилки, які програма здатна виявити самостійно, а укладач виправити до етапу коректури аркуша.

Практична важливість.

1. Підвищення якості картографічного матеріалу середньо- та дрібномасштабних карт.
2. Економія часу та сил для коректорів та редакторів.
3. Виховання бережного ставлення до вектору в укладачів.
4. Зростання ролі самокоректури (виправлення помилок).

Програмний продукт, у якому проводилось розроблення та тестування спеціалізованих інструментів, – *ArcGIS Pro 3.0.2*.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ

1.1. Сутність і характерні риси топографічних карт.

Топографічна карта – зменшене, узагальнене, математично визначене, плоске зображення суші або шельфу материка, яке показує загальногеографічні елементи земної поверхні із мінімальними спотвореннями за допомогою спеціальної системи умовних позначень.

За класифікацією топографічна карта є загальногеографічною картою, яка призначена для вирішення різноманітних завдань та потреб народного господарства, для органів державної влади, науки, освіти і громадян України. Важливу роль топографічні карти відіграють у військовій справі, зокрема для забезпечення оборони країни.

Топографічні карти є загальнодержавними офіційними документами. Стандартне, закріплене у Законі визначення описує топографічну карту як «цілісний картографічний твір багатоцільового призначення, що уніфікований за математичною основою, змістом, оформленням і зображенням геопросторових об'єктів» [1].

Базовою державною топографічною картою прийнято вважати топографічну карту масштабу 1:10 000, а основною – карти масштабу 1:50 000.

Усі топографічні карти формують базу топографічних карт. Вона призначена для накопичення та зберігання карт, а також для забезпечення єдиною уніфікованою цифровою топографічною інформацією національну інфраструктуру геопросторових даних (НІГД). Таким чином, топографічні карти є основою для створення геоінформаційних систем, тематичних, спеціальних та інших карт і планів.

Існують різні класифікації топографічних карт, зокрема за способом створення та за масштабом.

За способом створення та подання інформації згідно з [1] карти поділяють на:

- *Аналогові*, на яких інформація про місцевість подається як графічне зображення у паперовому вигляді в уніфікованих умовних позначеннях, місце яких на карті обумовлене масштабом, а також роздільно-візуальним сприйняттям читача.
- *Цифрові*, які є цифровими картографічними моделями. Вони відповідають аналоговим картам за змістом та масштабом, але водночас є базами геопросторових даних та метаданих, що створюються за допомогою спеціалізованих програмно-технічних засобів з урахуванням класифікації топографічних об'єктів та явищ шляхом кодування їх розміру, форми, розташування та характеристик у прийнятих системах координат, висот, розграфлення, масштабах та проєкціях.
- *Електронні*, тобто цифрові топографічні карти, що візуалізовані та підготовлені до візуалізації в умовних знаках, встановлених для певного масштабу, і створені з використанням конкретних електронних чи оптико-електронних пристроїв та відповідних програмних засобів.

За масштабами видання згідно з [2, с. 94] топографічні карти поділяють на:

- *великомасштабні*: 1:10 000-1:50 000 (в 1 см 100 і 500 м відповідно);
- *середньомасштабні*: 1:100 000, 1:200 000 (в 1 см 1 і 2 км відповідно);
- *дрібномасштабні*: 1:500 000, 1:1 000 000 (в 1 см 5 і 10 км відповідно).

У Збройних Силах України топографічні карти призначені для вивчення і оцінки місцевості, для орієнтування на ній, для виконання вимірювань і розрахунків при проведенні заходів оборонного значення та для застосування у ГІС-системах і навігаційних засобах [3, с. 13].

Кожен із масштабів має своє, більш вузько направлене призначення. Так, *карти 1:25 000* використовують для детального вивчення та оцінки невеликих за площею, але важливих ділянок місцевості при плануванні чи здійсненні військових операцій, висадці повітряного та морського десантів, при форсуванні

водних перешкод, при здійсненні заходів із інженерного обладнання місцевості тощо.

Карти 1:50 000 та 1:100 000 необхідні для детального вивчення та оцінки місцевості під час планування бойових дій, незамінні при управлінні підрозділами (частинами) військ під час бою; орієнтуванні на місцевості, при визначенні координат цілей, виконанні заходів із інженерного обладнання місцевості тощо.

Масштаб 1:200 000 важливий при вивченні місцевості для планування бойових дій та заходів із забезпечення військ; для управління, перегрупування, орієнтування військ та при здійсненні маршів. Особливістю карт 1:200 000 є наявність на них спеціальних характеристик певних важливих об'єктів на місцевості, що виділяється пурпурним кольором. Також 1:200 000 – це єдиний масштаб, де у зарамковому оформленні надається текстова довідка про місцевість та схеми ґрунтів.

Карти 1:500 000 використовуються для аналізу загального стану місцевості та оцінки її впливу на бойові дії військ, нанесення загальної обстановки боїв.

Топографічні *карти 1:1 000 000* призначені для огляду місцевості та загального вивчення природних умов, що необхідні для воєнно-географічної оцінки регіону.

Незважаючи на те, яким способом була зроблена карта, або у якому масштабі, усі топографічні карти мають спільні риси, що вирізняють їх серед інших карт.

1. Створення у єдиній встановлені системі координат та висот.
2. Розграфлення, а отже у кожного аркуша є своя номенклатура.
3. Використання уніфікованої системи картографічних умовних знаків.
4. Наявність картографічних сіток (кілометрової, географічної тощо).
5. Використання уніфікованого зарамкового оформлення.
6. Повнота та систематичність змісту.
7. Створення відповідно до вимог, прописаних нормативно-технічних документах, затверджених Міноборони України.

Основними вимогами, що повинні бути дотримані на топографічних картах, згідно із Законом України [1] є:

- достовірне і з відповідною до масштабу карти точністю та повнотою відображення стану місцевості на рік створення карти;
- наочність і зручність у користуванні;
- оцінювання інформації про місцевість та орієнтування на ній;
- визначення з відповідною до масштабу карти точністю прямокутних та географічних координат, абсолютних і відносних висот об'єктів місцевості, визначення якісних та кількісних характеристик, проведення інших картометричних робіт тощо;
- зведення за рамками і всіма елементами змісту суміжних аркушів карт одного масштабу;
- топологічна узгодженість геометрії всіх елементів місцевості;
- приведення топографічного моніторингу, в тому числі періодичного та пооб'єктного, на основі спеціальних виконавчих зйомок;
- узгодженість топографічних даних із даними державних реєстрів та кадастрів;
- здійснення картометричних та аналітичних операцій геоінформаційного моделювання;
- узгодженість основних елементів змісту аркушів суміжних масштабів.

У зв'язку із прагненням України вступити у НАТО, постало питання про приведення українських топографічних карт, які використовуються у ЗС України, до стандартів НАТО. Значна кількість відмінностей посприяла початку докорінного перероблення всіх існуючих карт в Україні. При цьому, поряд із переходом до нових стандартів математичної основи та зарамкового оформлення, вимагається й оновлення змісту. Таким чином, процес оновлення карт у ЗС України, що триває і зараз, підкріплюється вимогами приведення карт до стандартів НАТО.

1.2. Умовні позначення на топографічних картах.

Картографічні умовні позначення – це позначення на картах різних об’єктів та їх якісних та кількісних характеристик. Ними є графічні символи або елементи картографічного зображення, які сприймаються оком і несуть певне змістове навантаження на карті [4, с. 86]. Графічний символ можна вважати умовним позначенням тільки тоді, коли йому буде надано певного змістового значення, тобто він стане носієм інформації про об’єкт на карті.

«Читати карту» – це перш за все розуміти, що означають умовні знаки на картографічному зображенні. Велика різноманітність об’єктів місцевості за формою та площею є причиною поділу умовних знаків на позамасштабні, лінійні, площинні (масштабні) та пояснювальні.

– *Позамасштабні умовні знаки* – це окремі об’єкти місцевості, які за площею занадто малі, аби показати їх у масштабі карти. Їхньою проєкцією на карті є точка, відносно якої будується позамасштабний знак. Прикладами таких знаків є пункти державної геодезичної мережі, телевежі, окремі двори тощо. Центр позамасштабних знаків може бути різний, що залежить від його форми та малюнка:

- якщо умовний знак – це правильна геометрична фігура, то центром на місцевості такого предмета є його геометричний центр (окрема цистерна, яма, артезіанський колодязь тощо);
- якщо в малюнку умовного знака є прямий кут, то центром прийнято вважати вершину кута або основу підшви знака (окреме дерево, вітровий двигун, заправна станція тощо);
- якщо умовний знак є фігурою із широкою основою, то центр цього знака – це точка середини основи (скеля-останець, терикон та відвал, вхід у печери і гроти тощо);
- якщо умовний знак – це сполучення декількох фігур, то такий знак центрується на точку центром нижньої фігури (електрична підстанція, телевежа).

Правильність визначення центру таких умовних позначень значно впливає на якість отримання, наприклад, координат таких об'єктів.

- *Лінійні умовні знаки* – це знаки, що мають певну лінійну протяжність. Прикладами мажуть бути лінійні водотоки (річки, канали, канави), залізниці, автомобільні дороги, державні кордони, легкі огорожі тощо. Ці умовні знаки по довжині подають у масштабі карти, а от ширина таких об'єктів перебільшена, тобто позамасштабна. Лінійні знаки будуються по осі лінійних об'єктів на місцевості.
- *Площинні (масштабні) умовні знаки* – це знаки, що застосовуються, коли розміри об'єктів місцевості виражаються в масштабі карти. Виокремлюють площинні контурні об'єкти, які подають на карті як обмежена контуром площа та заповнена всередині умовними знаками (наприклад, поросль, чагарники, фруктові сади, де кружечки та кущі промальовуються на полігональному об'єкті рівномірно у довільному або у строго визначеному порядку). Іноді площі заповнюють штриховим умовним знаком (наприклад болота чи солончаки). Існують полігональні об'єкти, де застосовується лише фонове зафарбування (ліс – зеленого кольору, водні об'єкти – блакитного кольору).
- *Пояснювальні та буквені позначення* – це особлива група умовних знаків, які дають на карті додаткову якісну та кількісну характеристику. Часто такі позначення застосовуються разом із площинними, лінійними чи позамасштабними умовними знаками. Прикладами пояснювальних знаків є підпис переважаючих порід (сосна, береза, дуб тощо) та власне характеристика деревостою (середня висота і товщина стовбурів дерев, середня відстань між деревами). Такий опис лісу – це відмінне поєднання якісних та кількісних характеристик, де порода – це якісна ознака, а числові значення – кількісна.

Часто пояснювальний підпис подається у скороченому вигляді на карті (госп., вдкч., шк. тощо). Існує широкий перелік загальноприйнятих скорочень, а найбільш вживані із них додатково прописуються у зарамковому оформленні.

Пояснювальні підписи розташовуються, як правило, праворуч від умовного знака або ж з якогось іншого боку, де підпис буде добре видно. Важливою вимогою при розміщенні підписів є вдале місце розташування, аби користувачу було чітко зрозуміло, до якого об'єкту стосується пояснювальний підпис. Буквені та цифрові позначення здебільшого подають паралельно до північної та південної рамок карти.

Умовні знаки всіх масштабів є уніфікованими і, як правило, погодженими між собою за формою і кольором. У залежності від масштабу змінюється тільки розмір умовного знака. Використання (здебільшого) однакових позначень на різних масштабах карт полегшує спільне використання усього ряду карт.

Затверджені таблиці умовних знаків із вказаними їх розмірами та правилами використання існують для кожного або декількох масштабів. У певних випадках умовні знаки в таблицях подають у 2 варіантах: з літерою «а» – для позамасштабного зображення об'єкта (наприклад, кладовище точкове) та «б» – для нанесення у масштабі карти (наприклад, кладовище полігональне), коли розміри об'єкту більші за точковий аналог умовного позначення.

Отже, умовні знаки на топографічних картах є особливою штучною мовою карт, які містять не лише певні відомості (кількісні чи якісні) про об'єкти картографування, але й показують просторове їх розміщення.

1.3. Основні елементи змісту топографічних карт.

Основними елементами змісту топографічних карт згідно з [3, с. 22] є:

- математичні елементи;
- пункти геодезичної основи (крім карт 1:1 000 000);
- гідрографія та гідротехнічні споруди;
- населені пункти;
- промислові, сільськогосподарські та соціально-культурні об'єкти;
- дороги та дорожні споруди;
- рельєф;
- рослинний покрив та ґрунти;

- кордони та межі;
- відомості про схилення магнітної стрілки (крім карт 1:500 000 та 1:1 000 000).

Ці елементи наносяться із певною точністю та ступенем генералізації залежно від масштабу. Прослідковується чітка залежність: чим дрібніший масштаб карти, тим більший ступінь генералізації зображення.

Розглянемо поелементно кожен із елементів змісту топографічних карт.

Математичними елементами карт є компоновка, рамка аркуша, картографічна (географічна) та прямокутна (кілометрова) сітки, виходи ліній сітки суміжної зони.

Під *компоновкою* розуміють визначення положення рамок аркуша карти відносно зображуваної на карті території, розміщення назви головного об'єкту аркуша карти, її зарамкового оформлення, умовних позначень відносно рамок та способу розграфки карти [3, с. 42].

Компонування аркушів топографічних карт зазнало суттєвих змін із впровадженням стандартів НАТО. На аркушах карт почали наносити схему політико-адміністративного (адміністративного) поділу територій та розміщення суміжних аркушів [3, с. 27]. За основу такої схеми беруть карту значно дрібнішого масштабу, наприклад, для карт 1:200 000 – це карта 1:3 000 000, для масштабу 1:100 000 картою-схемою буде карта 1:1 000 000 і т.д. Якщо на аркуші карти наявний державний кордон, то під схемою додатково підписують назви країн, які він розділяє. Як складова частина компонування, на кожному аркуші топографічної карти додали скорочену легенду, а також перелік найбільш вживаних скорочень.

Значні зміни відбулися із *рамкою* карти: відмовились від використання зовнішньої рамки. У такий спосіб, навколо картографічного зображення залишилась лише одна чорна рамка, на зразок внутрішньої рамки карти традиційних топографічних карт. Додатково виходи *градусної сітки* зробили довшими, аби вони виходили на поле карти, а не закінчувалися на рамці.

Прямокутна (кілометрова) сітка за стандартом НАТО стала блакитного кольору ($C=100\%$), а на перетині ліній стокілометрових квадратів стали підписувати великими латинськими літерами буквені позначення таких квадратів.

Усі елементи зарамкового оформлення аркушів топографічних карт масштабів 1:25 000-1:1 000 000 стандартизовані та уніфіковані [3, с. 28].

Пункти геодезичної основи (крім карт 1:1 000 000)

Геодезичною основою топографічних карт згідно з [5, с. 4] є:

- у плановому відношенні – пункти державної геодезичної мережі, геодезичних мереж згущення і точки планової знімальної мережі, плоскі прямокутні координати яких обчислені на площині в конформній проєкції Гаусса-Крюгера в шестиградусних зонах у державній системі координат;
- у висотному відношенні – пункти та репери висотної геодезичної мережі, пункти державної геодезичної мережі та геодезичних мереж згущення, а також точки висотної знімальної мережі, висоти яких приведені до прийнятого вихідного рівня у Балтійській системі висот.

Гідрографія та гідротехнічні споруди

На топографічних картах зображується: берегова лінія морів, озер, водосховищ та інших водойм, острови, берегові мілини та мілини, припливно-відпливні смуги; річки, струмки, канали та канали; природні та штучні джерела; шлюзи, греблі, пороми, перевози, дамби та штучні вали, водопроводи тощо; річкові та морські порти, пристані, якірні стоянки, причали; морські канали, скелі, каміння, рифи, маяки, хвилеломи, знаки морської та річкової сигналізації тощо; рельєф дна великих водойм [3, с. 45]. Для представлення ситуації дна морів, великих озер, водосховищ та річок залучають ізобати та позначки глибин.

Річки, канали, озера являють собою значні перешкоди для військ під час наступу, при форсуванні яких військам необхідно застосовувати особливі заходи і способи ведення бою, а також використовувати спеціальні засоби для їх подолання [2, с. 13], а отже при зображенні елементів гідрографії варто здійснювати грамотну генералізацію відповідно до масштабу карти.

Населені пункти

На топографічних картах відображаються такі типи населених пунктів: міста; селища та прирівняні до них поселення; села та прирівняні до них поселення, у тому числі ті, які офіційно не віднесені до селищ, а також окремі двори [3, с. 57]. Також існує детальна класифікація населених пунктів за кількістю жителів.

Типи населених пунктів, а також їх градацію за чисельністю населення і політико-адміністративним значенням на картах підписують різним розміром та видом шрифтів. На топографічних картах важливим є подання правильної конфігурації населених пунктів, відображення особливостей забудови та характеру планування.

Промислові, сільськогосподарські та соціально-культурні об'єкти

На топографічних картах наносяться такі промислові, сільськогосподарські та соціально-культурні об'єкти: заводи, фабрики, електростанції; аеропорти; нафтові та газові промисли, свердловини, шахти, кар'єри; торфорозробки, терикони; різні види трубопроводів; склади пального, заправні станції; лінії електропередачі; щогли телевізійні та супутникового зв'язку; елеватори, вітряки, капітальні споруди баштового типу, вишки легкого типу; школи, лікарні, стадіони, санаторії, меморіали, пам'ятники, братські могили, цвинтарі, культові споруди тощо; теплиці, скотомогильники, загоны для худоби, старовинні історичні стіни та різні загорожі тощо [3, с. 65-66], тобто абсолютно все, що може слугувати гарним орієнтиром на місцевості. Умовним позначенням для таких об'єктів є переважно позамасштабні знаки. Значна кількість промислових та соціально-культурних об'єктів відбирається при переході до дрібніших масштабів.

Дорожня мережа та дорожні споруди

На топографічних картах відображають різноманітні шляхи сполучення: від залізниць, до автомагістралей та польових доріг. Об'єкти залізничної інфраструктури, такі як: залізничні станції, платформи, зупинні пункти тощо наносяться максимально чітко. Мости, тунелі, естакади, греблі – є ключовими

елементами для визначення прохідності та пропускнуої здатності доріг для проходження військової техніки.

Рельєф

Рельєф на картах зображується горизонталями у поєднанні з умовними знаками обривів, скель, ярів і промоїн, осипів і зсувів, курганів, ям, сухих русел річок тощо. Зображення рельєфу доповнюється підписами абсолютних та відносних висот характерних точок місцевості, підписами горизонталей, а також нанесенням бергштрихів [3, с. 79].

Оскільки великі форми рельєфу залишаються переважно незмінними, орієнтування військ на місцевості проводиться, перш за все, за характерними елементами і формами рельєфу, які відображаються на картах і добре помітні на місцевості [2, с. 8].

Рослинний покрив та ґрунти

На картах відображаються різні види рослинності та ґрунтів: деревна; чагарникова; трав'яниста, напівчагарникова, мохова; очерет; штучні насадження деревних, чагарникових та трав'янистих культур; болота та солончаки; нескельні ґрунти; скельні ґрунти, або кам'янисті поверхні; поверхні з мікрорельєфом, зумовленим особливостями рослинності та ґрунту [3, с. 88].

Від рослинності залежить не лише краєвид, але й оперативно-тактичні властивості місцевості. Рослинний покрив та ґрунти, як природні чинники, суттєво впливають на бойові дії військ, зокрема на умови прохідності, спостереження та маскування. Рослинний покрив є своєрідним захистом військ від різноманітних видів зброї.

Кордони та межі

На топографічні карти наносять державні кордони та межі областей України, Автономної Республіки Крим, а також адміністративних одиниць першого порядку на зарубіжній території.

Державний кордон показується з мінімальними узагальненнями в межах графічної точної карти [5, с. 15]. Важливість цього елемента змісту

підтверджується тим фактом, що державний кордон – це єдиний елемент змісту, що перевіряється окремо і спеціально призначеним для цього редактором.

На топографічних картах поєднується безліч елементів змісту. Лише при узгодженні їх між собою, дотриманні цenzів відбору та правил генералізації можна досягти достатнього рівня читаності картографічного твору.

1.4. Історичний огляд розвитку топографічного картографування в Україні.

Картографування території України від найдавніших часів до сьогодні пройшло тернистий шлях. Увесь період його розвитку пов'язаний із історією розвитку суспільства, а також із поступальним вдосконаленням методів та появою нових способів створення карт; винайденням та поширенням друкарської справи.

Найдавнішою картографічною пам'яткою на території України є рисунок на бивні мамона, більш відомий як «Межиріч-карта».

У стародавні часи українські землі зображували на давньогрецьких та давньоримських картах. Звісно, територія України подавалась дуже приблизно та схематично. У ранньому середньовіччі до таких матеріалів, додалися ще й карти арабських географів.

З кінця XII-XVI ст. фокус уваги змістився на карти-портолани, де неодноразово згадувалось Чорне море, адже портолани – це середньовічні морські навігаційні карти.

Друга половина XV ст. – це час поширення в європейській картографії птоlemeївських карт, а також винайдення гравіювання та друку. Територія України відображалась тоді у численних виданнях «Географії» Птолемея на картах Європи та окремих її частин [6]. Із XVI ст. картографування українських земель на європейських виданнях стає більш точнішим: збільшився масштаб карт, а отже і можливість подати більше інформації про населені пункти, річки, географічні назви.

Картографування у нові часи характеризується створенням більш точних і детальних карт на основі проведення високоточних астрономічних вимірювань координат та інструментальних топографічних зніманих місцевості [6].

Карти української території XVII ст., що створювались польськими картографами, були значно якіснішими та точнішими від інших, що спричинено високим на той час розвитком військової картографії у Польщі. Важливе значення мали карти Гійома де Боплана (французький військовий інженер, що працював на службі у польського короля), а саме: «Генеральна карта України» (1648 р.) – це основа тодішніх уявлень про українські землі.

Початок інтенсивного розвитку російської картографії розпочався на зламі XVII-XVIII ст. за часів правління Петра I. Це був період укладання перших навігаційних карт Азовського та Чорного морів, на основі визначення астрономічних координат. Українські землі були відображені на окремих картах «Атласа Российского» (1745 р.), який став результатом першої державної зйомки території Росії 1715-1744 рр.

Наприкінці XVIII - на початку XIX ст. було започатковано топографічні зйомки на основі побудови триангуляційної мережі. Триангуляційні роботи проводились на території України австрійськими топографами з 1772 р., а пізніше й російськими – з 1825 р [6]. Топографічне картографування того часу здійснювалось передусім для військових потреб обох імперій (Австро-Угорської та Російської), що мали у своєму складі українські землі.

Протягом XIX ст. проводились широкомасштабні роботи із топографічного знімання і укладання карт щоразу у більшому масштабі, з більшою точністю та детальністю [6]. У підсумку, на початок XX ст. українські землі були покриті різними топографічними картами: російськими, австрійськими та частково навіть німецькими.

За короткий період державного відродження України в 1918-1919 рр. для картографічного забезпечення держави було створено Головну геодезичну управу у складі Військового Міністерства [6]. Доволі відома десятиверстна «Спеціальна карта України» була перевидана Головною геодезичною управою,

разом із низкою карт, що раніше були укладені Військово-топографічною службою Росії. Згодом планувалось навіть створення Корпусу українських геодезистів як загальнодержавного картографічного органу, проте прихід більшовиків до влади не дозволив втілити у життя ці задуми.

Із 1920-х рр. поступово вводяться нові масштаби топографічних карт, які остаточно було затверджено у 1934 р. (теперішній масштабний ряд, а саме: 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000 та 1:1 000 000). У 1928 р. було прийнято рішення про введення у СРСР єдиної системи прямокутних координат Гаусса-Крюгера [6].

Післявоєнний період характеризується подальшим розвитком топографічного і тематичного картографування, за єдиними інструкціями Головного управління геодезії та картографії. Відбулися зміни у математичній основі топографічних карт: відбувся перехід на використання системи координат 1942 р. на основі референц-еліпсоїда Ф. Красовського, а для висот була прийнята Балтійська система висот 1946 р.

Основним масштабом топографічного знімання території України став масштаб 1:25 000. З 1949 р. Українське АГП (Українське аерогеодезичне підприємство) розгорнуло роботи із топографічного знімання масштабу 1:10 000, включно із роботами за межами України. До середини 1950-х р. топографічними картами масштабу 1:10 000 були забезпечені райони майбутнього іригаційного будівництва у південних засушливих районах України, а також центральні та східні райони, де планувалися значні економічні перетворення (зокрема, гідробудівництво на Дніпрі, розвиток сільськогосподарського виробництва тощо) [7]. Основним картовидавничим центром для карт на територію України була Київська картографічна фабрика.

У підсумку, на кінець 1991 р. майже уся територія України (окрім незначних ділянок у Карпатах) була покрита топографічними картами масштабного ряду від 1:10 000 до 1:1 000 000, а міста були забезпечені топографічними планами масштабів 1:10 000, 1:5 000 та 1:2 000, які були створені підрозділами Головного

управління геодезії та картографії (ГУГК) при Раді Міністрів СРСР і Військово-топографічної служби (ВТС) Збройних сил СРСР.

1 листопада 1991 р. за Постановою Кабінету Міністрів України № 306 було створено Головне Управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України, основним завданням якого було забезпечення держави топографо-геодезичними матеріалами та картографічною продукцією.

У перші роки незалежності значні обсяги робіт із видання і перевидання топографічних карт виконувались за вимогами попередніх радянських Інструкцій. Зміни старих усталених керівних документів на нові, українські, не відбувалось.

У 1993 р. прийнято рішення про видання топографічних карт державною українською мовою [8, с. 76].

Але вже з II половини 90-х рр. топографічні роботи дуже скоротилися через різке зменшення бюджетного фінансування. Старіння картографічної інформації не змусило себе довго чекати, що поступово переросло у найбільшу проблему національної картографо-геодезичної служби. Додатково наклали свій відбиток, як часта реорганізація та перепідпорядкування Укргеодезкартографії, так і відсутність належного державного підходу до сфери топографічного картографування.

Із кінця 1990-х рр. відбувається поступовий перехід від аналогових технологій створення топографічних карт до цифрових [8, с. 76]. На сьогодні, державні топографічні плани та карти створюються та оновлюються із використанням сучасних геоінформаційних технологій, а також видаються у цифровій, електронній та традиційній (паперовій) формі.

Зміни торкнулися й математичної основи. Так, починаючи з 2002 р. в Україні розпочали наукові дослідження з вибору оптимального шляху побудови державної геодезичної системи відліку для впровадження референцної системи координат, для чого було проведено моделювання параметрів геодезичної референцної системи координат. Тому Кабінетом Міністрів України у 2003 р. була затверджена Програма по створенню державної геодезичної системи

відліку, забезпеченню функціонування та розвитку ДГМ, за якою з 1 січня 2007 р. запроваджена Державна геодезична референсна система координат – УСК-2000 [2, с. 85].

Ухвалення Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» 11 лютого 2010 року та Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування, який було затверджено Постановою Кабінету Міністрів України № 661 від 4 вересня 2013 року, на державному рівні затвердило необхідність загальнодержавного топографічного картографування.

Вагомий внесок у розв'язання проблеми забезпечення топографічними даними було здійснено із укладанням українсько-норвезького проєкту «Карти для сприяння належному управлінню землями в Україні», реалізація якого розпочалася після підписання Угоди між Кабінетом Міністрів України та Урядом Королівства Норвегія про технічне та фінансове співробітництво від 18.10.2016 р. та Угоди для реалізації проєкту, що укладена між Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру (Держгеокадастр) і Картографічною службою Королівства Норвегія (SK) від 28.02.2018 р. [9, с. 114].

Проєкт передбачав створення (оновлення) цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000, які використовуватимуться для наповнення Базы топографічних даних та Геопорталу. Карты створювалися із застосуванням геоінформаційної системи ArcGIS у військових частинах Центрального управління воєнно-топографічного та навігації Збройних Сил України.

Завдяки реалізації українсько-норвезького проєкту в Україні вперше було створено цілісну Базу топографічних даних Основної державної топографічної карти. Карта була розміщена на Геопорталі для забезпечення доступу до єдиної цифрової топографічної основи.

Ухвалення Закону України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» 13.04.2020 р. та його імплементація, підкреслили гостру необхідність і нагальність створення наборів базових геопросторових даних, які становлять уніфіковану цифрову координатно-просторову основу для

виробництва, інтеграції та провадження іншої діяльності з різними наборами тематичних геопросторових даних [10].

Окрім цього, у зв'язку із прагненням вступити до НАТО Україна поставила за мету привести виробництво топографічних і спеціальних карт у відповідність до стандартів НАТО, а також здійснити перехід з існуючих національних систем координат (для України це – УСК-2000) до системи координат WGS-84; активне впровадження GPS-вимірювання та технічних засобів навігації у своїх збройних силах.

У підсумку, роботи над створенням та оновленням топографічних карт невинно тривають. Для потреб Збройних Сил створюються топографічні карти у світовій геодезичній системі WGS-84 та у картографічній проєкції Меркатора (UTM) відповідно до вимог нормативно-технічних документів, затверджених Міноробони [1], беручи до уваги ще й ряд стандартів НАТО.

1.5. Сучасні виклики у сфері топографічного забезпечення для потреб безпеки та оборони держави.

Наявність та підтримка в актуальному стані топографо-геодезичних даних – одна із ключових задач держави. Топографічні карти є базовим матеріалом для створення на їх основі безлічі тематичних, спеціальних карт чи планів, а також функціонування ГІС. Топографічні карти є важливими документами у секторі оборони і безпеки України. Без них не відбудеться жодна вдала оборона чи наступ військ, без карт не можливо планувати, організувати, керувати, аналізувати, оцінювати бойові дії, визначати місця висадки повітряного чи морського десантів, не можливо проводити вимірювання та визначати координати цілі, не кажучи вже про важливість картографічних даних для авіації, військово-морських військ тощо.

Нестача чи застарілість таких матеріалів є неприпустимою при наявності будь-якої зовнішньої загрози для безпеки держави. Воєнні дії у Донбасі у 2014 р. та анексія Криму виявили серйозні прогалини у сфері безпеки та оборони України. Наявні на той момент топографічні матеріали практично на всю

територію України були у вкрай незадовільному стані. За даними на 2013 р. (за рік до подій 2014 р.), абсолютна більша половина карт усього масштабного ряду мали термін давності 20-30 років (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Наявність топографічних карт на територію України за даними станом на 2013 р. [8, с. 76]

Роки	Масштаб					Кількість карт	
	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000	аркушів	%
2003-2012	443	21	67	1	1	533	1,63
1993-2002	7298	1196	575	52	33	9154	28,04
1983-1992	10 562	4496	1240	417	99	16 814	51,50
1973-1982	23	173	89	65	22	372	1,14
До 1973	4108	1658	4	1	2	5773	17,68
Разом	22 434	7544	1975	536	157	32 646	100,0

Причин такої ситуації було декілька: відсутність грамотного державного регулювання та державних замовлень на топографічну продукцію, нестача достатнього фінансування картографічних робіт, зменшення кількості користувачів, закритий характер картографічної інформації. Важливим фактором також було недотримання регламентованої нормативними документами періодичності оновлення карт.

Людський та природний чинники змінюють довкілля. Змінюються території забудови населених пунктів, їх чисельність, тип поселення (місто, селище, село) і адміністративне значення. Прокладаються нові шляхи сполучень, змінюються обриси берегової лінії морів, великих водоймищ і рік, відбуваються зміни у ґрунтово-рослинному покриві. Всі ці зміни повинні відображатися на топографічних картах [11, с. 169].

До того ж застаріло не лише картографічне зображення, але й системи координат (всі карти часів СРСР, починаючи із 1942 р. створювались у системі координат СК-42), рамкове оформлення карт і нарешті способи виготовлення картографічної продукції. Величезні зміни у розвитку науки, техніки і

виробництва диктували нові вимоги до якості картографічної продукції, змінилась і геополітична ситуація. Тобто, старі підходи та регламентні документи потребували значних змін.

Окупація Криму російськими військами, а згодом воєнні дії на Донбасі, стали тригером, що оголив усі недоліки у сфері забезпечення топографічною інформацією сектора безпеки та оборони держави, адже Збройні Сили – основний споживач топографічної продукції.

Поступове проникнення геоінформаційних технологій в Україну, зумовило потребу у геопросторовій інформації у електронному, а не паперовому вигляді. Перехід на створення електронних карт викликав дискусію щодо необхідності існування топографічних карт у паперовому варіанті.

Варто зазначити, що цифрова чи електронна карта не може повністю замінити командирам усіх рівнів традиційну паперову карту, яка є одним із найважливіших бойових документів їх роботи. Мова йде про спільне використання цих карт, взаємне доповнення, пам'ятаючи про цьому, що при застосуванні противником сучасних засобів радіоелектронної боротьби можлива відмова роботи навіть найсучаснішої комп'ютерної техніки і технологій [2, с. 104]. Бойові дії на Донбасі додатково підтвердили твердження, що аналогові карти повинні залишитись.

Ближче до початку повномасштабного вторгнення у 2022 р., ситуація із топографічними картами частково покращилась. Перш за все, значну частину карт було створено/оновлено у рамках українсько-норвезького проекту із виготовлення аркушів масштабу 1:50 000. Та все ж до 2022 р. повністю оновити топографічний фонд карт не вдалося.

Після повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України постало питання про запровадження Світової геодезичної системи координат WGS-84 у топографічному картографуванні в Україні. Це було обумовлено перш за все тим, що Збройні Сили України отримали нові зразки західного озброєння та військової техніки, які вимагають використання даної системи координат. Іншою, не менш вагомою причиною є впровадження стандартів щодо управління

військами (силами), які вимагали єдиного координатно-часового забезпечення, а також картографічної основи, яка мала бути створена за єдиними вимогами відповідно до стандартів НАТО.

Тому 29 листопада 2022 року Кабінет Міністрів України ухвалив постанову № 1332 «Про внесення змін до Порядку загальнодержавного топографічного та тематичного картографування», у якій чітко зазначалось, що «для потреб Збройних Сил та інших військових формувань, утворених відповідно до законів України, створюються топографічні карти у світовій системі WGS-84 та в картографічній проєкції Меркатора (UTM)» [12].

Система координат WGS-84 була розроблена на основі наземних геодезичних мереж для всієї земної кулі та спостережень супутників навігаційних систем. Вона повністю відрізняється від радянської, бо є набагато точнішою (похибка лише 2 см), а також підходить для усієї планети Земля, на відміну від радянської системи координат, яка охоплювала тільки простори колишнього СРСР.

Варто пам'ятати, що оновлення – це постійний циклічний процес, у якому періодичність робіт залежить перш за все від фізико-географічного районування території, техногенного навантаження та кількості змін на місцевості, а згідно з [3, с. 14-15] вказано, що це складає:

- для промислово розвинутих густонаселених територій – 5-7 років;
- для сільськогосподарських середньонаселених територій – 8-10 років;
- для гірських, лісових і степових малонаселених територій – 10-15 років.

Як наслідок, потреба в оновленні топографічних карт величезна. Приведення змісту топографічних даних до сучасного стану та вимог діючих нормативно-технічних документів на сьогодні є критично важливою для ефективної діяльності Збройних Сил.

РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТОПОГРАФІЧНОМУ КАРТОГРАФУВАННІ

2.1. Геоінформаційні системи для створення топографічних карт.

Географічна інформаційна система (ГІС) – це інформаційна система, призначена для провадження діяльності з геопросторовими даними та метаданими [10]. Будь-яка ГІС складається із програмного, апаратного, інформаційного, функціонального та кадрового забезпечення. *Апаратним забезпеченням* прийнято вважати комп'ютер, де інстальовано ГІС, а *програмним* – сукупність взаємопов'язаних програмних модулів, що забезпечують введення, збереження, обробку, аналіз та візуалізацію інформації. *Інформаційне забезпечення* включає певним чином закодовану просторову інформацію (з обов'язковою геоприв'язкою). Кваліфіковані фахівці, які працюють із ГІС складають *кадрове забезпечення*, а *функціональне* – формує методологічний апарат, закладений у ГІС, який перш за все підкріплюється низкою стандартів із збереження та маніпулювання інформацією в ГІС.

Існує 3 ключові особливості ГІС:

1. Це автоматизовані інформаційні системи, що орієнтовані на використання електронно-обчислюваних машин;
2. ГІС призначені для роботи з просторово-координованою інформацією;
3. Геоінформаційні системи здатні продукувати нове знання, що отримане за допомогою досить широкого спектра аналітичних методів та операцій.

Ядром ГІС є база даних, під якою розуміють поіменовану сукупність даних, які відбивають стан об'єкта, його властивості та взаємовідношення з іншими об'єктами, а також комплекс технічних і програмних засобів для ведення цих баз даних [13, с. 128]. База є набором географічних даних різних типів, що включає класи просторових об'єктів (точкові, лінійні та полігональні), растрові набори даних, а також різноманітні непросторові таблиці.

Майже для будь-якого просторового об'єкта можна задати набір додаткових атрибутів у вигляді числових або символічних значень. Така атрибутивна (семантична) інформація зберігається в різних таблицях, що мають фіксовані набори полів (стовпчиків) і змінну кількість записів (рядків) для опису об'єктів, що є у базі даних.

Атрибутивні дані в ГІС мають різні способи і технології формалізації, обробки і подання. Для блоку атрибутивної інформації, яка прив'язана до будь-якого просторового об'єкта, характерно мати від одного до сотень окремих атрибутивних значень різного типу, які описують певні параметри цього об'єкта. Тому для кожного типу просторових об'єктів прийнято обирати певний набір атрибутів, що дозволить не лише ідентифікувати конкретний тип об'єкта серед інших, але й з максимальною повнотою описати його властивості.

Різні системи класифікації і кодування дозволяють скоротити описи різноманітних просторових об'єктів до одного або кількох десятків символів. У наш час розроблені системи буквено-цифрових кодувань для різних карт. Для цифрових топографічних карт і архітектурно-містобудівних планів розроблені відомчі позиційні коди-класифікатори [14, с. 63]. За змістом Класифікатор являє собою систематичне зведення кодових позначень елементів і об'єктів місцевості, а також ознак, які характеризують ці об'єкти при відображенні відомостей про місцевість на топографічних картах [15].

«Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних картах масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000» [15] виділяє 8 основних класифікаційних груп, кожна з яких додатково розбита на стандартні підрозділи. Цифрові позначення лінійних, точкових та полігональних шарів, а також анотацій у базах даних топографічних карт сформовані саме на основі такого Класифікатора інформації.

Пошарова організація збереження просторових даних є найбільш поширеною технологією в ГІС. Сутність цієї організації полягає в тому, що однорідна просторова й атрибутивна інформація про певну територію подається у вигляді тематичних шарів. Поділ інформації на шари є інтуїтивно зрозумілим і

легко співвідноситься із загальноприйнятими принципами використання прозорих кальок-накладок при роботі із паперовими картами [13, с. 445].

Шари є однорідними не тільки за тематикою, але й за типами об'єктів, тобто кожен тематичний шар вміщує об'єкти певного виду, які мають схожий набір загальних характеристик. Користувач може змінювати видимість / невидимість шару, редагувати існуючі та додавати нові об'єкти тощо. На топографічних картах шари здебільшого є уніфікованими як за своїми назвами, так і за змістом.

Отже, просторова інформація є ключовою у ГІС, тому способи її формалізації є найважливішою складовою у технологіях географічних інформаційних систем.

Основним програмним середовищем для створення та оновлення топографічних карт в Україні є програмні продукти ArcGIS, а саме ArcGIS Desktop (ArcMap) та ArcGIS Pro.

Програмні продукти компанії ESRI (США), найстарішого у світі виробника програмних засобів ГІС (фірма заснована в 1969 р.), у наш час представлені, насамперед, сімейством спеціалізованих програмних пакетів, які об'єднані загальною назвою ArcGIS. До складу ArcGIS входить багато інтегрованих програмних продуктів, призначених як для розробки і експлуатації ГІС різного різня складності, так і для геоінформаційного розв'язання різних завдань [14, с. 217].

Середовище **ArcMap** використовується переважно для перегляду, редагування, створення та аналізу геопросторових даних. Програмний продукт дозволяє користувачеві досліджувати дані в наборі даних, відповідно символізувати об'єкти та створювати карти. ArcMap тривалий час був основним програмним продуктом для укладання топографічних карт, доки у жовтні 2020 року не було оголошено, що випуск нових версій програми не планується, і що ArcMap більше не підтримуватиметься після 1 березня 2026 р. Основним програмним продуктом, що має замінити ArcMap визнано ArcGIS Pro, на який компанія ESRI заохочує переходити своїх користувачів. Міграція з одного

програмного забезпечення до іншого триває повільно, а отже значна частина картографічних робіт продовжує виконуватися в звичному середовищі ArcMap.

ArcGIS Pro – повнофункціональна професійна програма для роботи з географічною інформацією, що дозволяє вивчати, візуалізувати, зберігати, редагувати та аналізувати дані, створювати та публікувати 2D-карти та 3D-сцени, автоматизувати робочі процеси за допомогою Python (ArcPy) та ModelBuilder тощо. Основними відмінностями ArcGIS Pro від ArcMap є наявність сучасного інтерфейсу (цілком новий дизайн), робота на 64-бітній архітектурі мікропроцесора, підтримка серії карт, розширені можливості 3D-моделювання, краща продуктивність, збільшена кількість вбудованих інструментів геообробки.

ArcGIS Pro – це потужна ГІС нового покоління, а отже повний перехід на цей програмний продукт – це лише питання часу.

2.2. Можливості мови програмування Python у програмних продуктах ArcGIS.

Python – це мова високого рівня, одна із найбільш перспективних мов програмування, яка широко використовується на практиці завдяки своїй вдалій концепції, а також мінімалістичному та гнучкому синтаксису [16, с. 51].

Автором цієї мови є нідерландський програміст Гвідо Ван Россум, який був співробітником голландського інституту CWI. Вважається, що мова Python з'явилася 20 лютого 1991 р. Названа на честь британського телешоу «Літаючий цирк Монти Пайтона» (англ. «Monty Python`s Flying Circus») [16, с. 51].

Python є мовою автоматизації у програмних продуктах ArcGIS, в основному завдяки таким його властивостям, як: простота та мінімалістичність синтаксису, високорівневість, легкість у вивченні. Python також є безкоштовною, відкритою та кросплатформною мовою програмування, що має широке поширення у світі. Тому в ArcGIS було обрано цю мову програмування як основну.

Розглянемо використання мови Python в ArcMap та в ArcGIS Pro.

Використання Python (версії 2) у **ArcMap** почалося у 2013 р. Розробники додали новий модуль ArcPy, який надавав доступ до всіх інструментів геообробки ArcGIS через мову Python.

ArcPy був розроблений так, що лише ввівши ключове слово та крарку, користувач отримував випадний список властивостей, команд або методів, які підтримувались цим ключовим словом.

Arcpy.mapping – це модуль написання скриптів Python, який є складовою пакету ArcPy. Цей модуль розроблений переважно для обробки документів карти (.mxd) чи файлів шарів (.lyr), а також містить функції для автоматизації процесів друку та експорту карти. За допомогою *arcpy.mapping* користувач може публікувати свої матеріали у вільний доступ або створювати вебдодатки.

У 2015 р. було випущено новий програмний продукт **ArcGIS Pro**, де було ще більше закріплено мову програмування. ArcGIS Pro використовує Python версії 3, яка значно відрізняється від версії 2 [17, с. 6].

Модуль *arcpy.mapping* було замінено на *arcpy.mp*, який дозволяє здійснювати керування даними на рівні проєкту, а також можливість створювати об'єкти прямо в базі даних, що було не доступно у *arcpy.mapping*. Модуль *arcpy.mp* має більш об'єктно-орієнтований процес, що дозволяє здійснювати імпорт карт, 3D-об'єктів, сцен та інших файлів.

Отже, одним із варіантів обробки геоданих є використання вбудованих модулів *arcpy.mapping* (у середовищі ArcMap) та *arcpy.mp* (у ArcGIS Pro).

2.3. Використання ModelBuilder для автоматизації робіт.

ModelBuilder – це спеціалізована вбудована програма, що використовується для створення та редагування моделей (діаграм) у програмних продуктах ArcGIS (підтримується у ArcMap та ArcGIS Pro).

ModelBuilder забезпечує реалізацію процедур обробки просторових даних і отриманні деякого кінцевого продукту шляхом побудови графічних моделей, які містять інструменти, сценарії та дані. Фактично ModelBuilder надає користувачу візуальну мову моделювання, яка на основі побудови потокової діаграми

організовує виконання сценарію обробки і аналізу просторових даних у вигляді комп'ютерної моделі, яка може бути збережена в пам'яті комп'ютера [14, с. 221].

У середовищі ModelBuilder модель (діаграма) – це послідовність процесів та інструментів геообробки. В основі таких моделей можуть бути як складні процеси, розділені на проміжні етапи, так і прості повторювані завдання. Створені алгоритми запускають або з самого вікна ModelBuilder, або зберігають як модель для подальшого використання у вигляді готового інструмента усередині користувацького ArcToolbox. Створюючи власні моделі, користувачі не просто розширюють функціональні можливості ArcGIS, але й автоматизують численні процеси у власних проєктах.

Будь-яких обмежень на кількість інструментів чи змінних, що задіяні у моделі, немає [18].

Основні переваги середовища ModelBuilder при роботі із геопросторовими даними:

- це зручне середовище для створення та керування численними робочими процесами, що передбачають послідовне використання інструментів геообробки;
- це засіб створення власних інструментів, які можна поширювати для інших користувачі;
- працює із всіма вбудованими інструментами ArcToolbox, скриптами, чи іншими готовими авторськими моделями; як вхідні дані використовує бази даних, шейп-файли, атрибутивні таблиці, поверхні, растри, дані CAD тощо;
- інтегрується як між програмними продуктами ArcGIS, так і з іншими програмами ГІС.

2.4. Стандартна мова записів SQL у роботі із базами даних.

Structured Query Language або **SQL** (з англ. «мова структурованих запитів») – це стандартна комп'ютерна мова, що містить набір певного синтаксису та виразів, які необхідні для доступу та управління в базах даних.

Одним із головних завдань SQL є легкість синтаксису, вона зрозуміла всім, починаючи від користувачів і закінчуючи адміністраторами баз даних, а її запити читаються як звичайні речення. Словник SQL відносно невеликий, а його команди – це звичайні англійські слова. Зазвичай ключові слова цієї мови записують прописними літерами, щоб відрізнити їх від назв таблиць і стовпчиків [13, с. 426].

SQL насправді не можна віднести до повноцінних мов програмування, як C+, C++ або Python. Натомість SQL є підмовою баз даних, яка складається приблизно із 40 операторів, уніфікованих для керування базами даних. Ця мова отримала широке поширення і фактично перетворилася на стандартну мову реляційних баз даних.

Стандарт на мову SQL був випущений Американським національним інститутом стандартів (ANSI) у 1986 р., а у 1987 р. Міжнародна організація стандартів (ISO) прийняла його як міжнародний. Нинішній стандарт SQL відомий під назвою SQL/92. На сучасному етапі ведеться робота над більш сучасним стандартом SQL3 [13, с. 425].

У програмних продуктах ArcGIS підтримка SQL з'явилася ще на початкових етапах розвитку. Зокрема:

- у **ArcGIS 8.x/9.x** (2000-2010 рр.) SQL використовувався у Select by Attributes (вибірці за атрибутами), Definition Queries, Label Expressions (при створенні виразів для побудови анотацій);
- у **ArcGIS 10.x** (2010-2020 рр.) було розширено сферу використання SQL у Geodatabase Queries, Attribute Rules (у правилах атрибутів), у SQL-виразах у ModelBuilder, а також було додано підтримку складніших запитів;
- у **ArcGIS Pro** (починаючи з 2015 р.) стала доступною повна інтеграція SQL у Definition Queries, Label classes, Expression Builder та для роботи із базами геоданих; SQL-запити стали доступними у виразах із Arcade та Python.

У ArcGIS вирази запиту відповідають стандартним виразам SQL. При

застосуванні діалогових вікон для побудови виразів SQL додатково використовується автозаповнення, аби зберегти правильний синтаксис запитів.

Усі SQL-запити виражаються ключовим словом SELECT.

Вираз SELECT * FROM – це перша частина виразу SQL, що автоматично з’являється у більшості діалогових вікон ArcGIS. Наступна частина виразу – це умова WHERE. Така умова використовується для отримання записів, що відповідають певним критеріям запиту. Для додавання даних у вираз використовується випадний список полів із шару або таблиці, що існують у базі даних. Таким чином вираз SQL виглядає як : SELECT * FROM <Layer_name>.

Наприклад, вираз для шару 23_point «**kod = `22250000` AND k7 >= 2**» означає: «Обрати об’єкт `Яма` із глибиною більшою або рівною 2» (Рис. 2.1):

- **kod** – це реальна назва поля із псевдонімом «Об’єкт»,
- **22250000** – це кодове позначення за Класифікатором об’єкта Яма,
- **k7** – це реальна назва поля із псевдонімом «Глибина»,
- **2** – це позначення в метрах, що записане у атрибутивній таблиці.

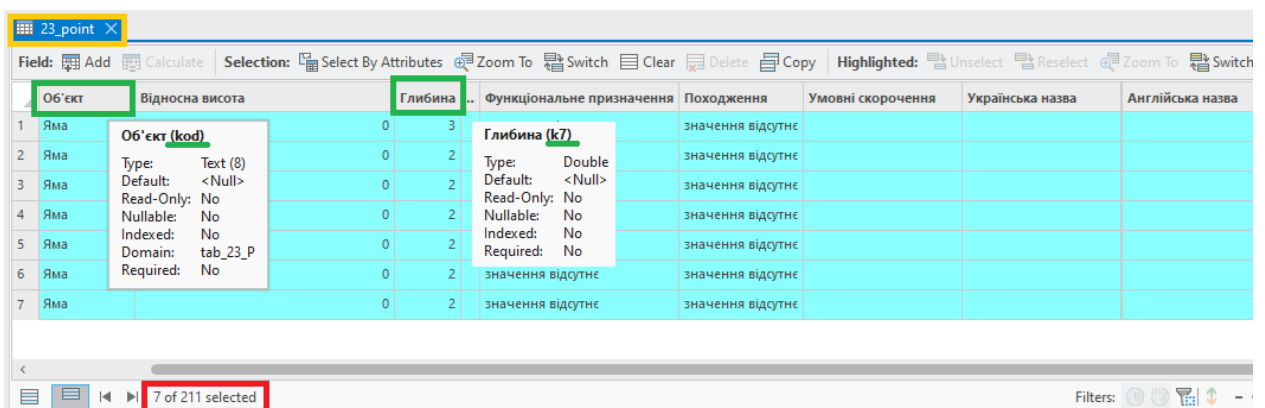


Рис. 2.1. Вибірка в шарі 23_point (жовтим – назва шару, зеленим – назви полів та їх псевдоніми, червоним – кількість вибраних елементів)

Примітка. Ім'я поля має доволі строгі правила, зокрема: не має включати пробіли, не починатися із цифри, містити спеціальні символи (*, %, £, # тощо); довжина імені складає не більше 10 символів; у межах однієї таблиці імена не можуть повторюватися та не використовувати зарезервовані слова мови SQL (select, from, where, date). Окрім реальних імен полів, які часто важко зрозуміти, прийнято використовувати Псевдоніми, які є альтернативним ім'ям, але більш

зрозумілі для користувача. На відміну від реальних Імен полів, Псевдоніми можуть не відповідати обмеженням бази даних, містити до 255 знаків, включаючи пробіли спеціальні символи тощо. Тобто поєднання реальної назви поля «к7» із псевдонімом «Глибина» – популярна практика в атрибутивних таблицях.

Вирази SQL доволі різноманітні. Найбільш популярними при виконанні дослідження були:

- Використання операторів *більше* (>), *менше* (<), *більше або рівно* (>=), *менше або рівно* (<=), *не дорівнює* (<>) і *BETWEEN*, щоб обирати строкові значення на підставі їх сортування [19].
- За ключовим словом *NULL* робити вибірку записів, що містять порожні поля, наприклад, вираз «kod IS NULL» знаходив всі об’єкти, де не вказано «Об’єкт».
- За допомогою оператора *LIKE* (аналог =) знаходити подібні записи у атрибутивній таблиці. Враховуючи, що символ відсотка (%) означає, що на цьому місці може будь-що (один чи безліч символів, або жодного з них) корисними були вирази, як «textstring LIKE '%кВ'», тобто пошук усіх записів, що закінчувались на «кВ», наприклад: 110кВ, 2ЛЕПх220кВ тощо.
- Використовуючи *арифметичні оператори*, здійснювати математичні дії між полем та числом, або між різними полями.
- Із *логічними операторами* перевіряти істинність виразу і обирати значення тільки істинні для даного виразу. Такими операторами є AND, NOT, OR, IN, NOT IN, BETWEEN x AND y, EXIST, NOT EXIST.
- Будувати більш складні вирази із *числовими та рядковими функціями*.

У підсумку, вирази, написані за допомогою SQL – це невід’ємна частина роботи із даними у ArcGIS. Кожна нова версія програмного продукту ArcGIS поглиблює підтримку SQL, а отже забезпечує перехід від більш простих запитів до складних виразів з базами геоданих та Python.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ

3.1. Короткий огляд наявного інструментарію для створення топографічних карт.

Для топографічних карт масштабу 1:10 000 розроблені свої спеціалізовані інструменти. Зокрема, для перевірки аркушів існує інструмент «Check_data_10000». Основні функції, що виконує інструмент – це:

1. *Repair Geometry*. Інструмент видаляє об'єкти із нульовою геометрією, автоматично виправляє ряд проблем із вектором, що не ідентифікуються візуально, але створюють проблеми при запуску інших перевірок.
2. *Пошук мультиоб'єктів* (елементів, що мають однакові атрибути, але фізично складаються з декількох відокремлених частин). Мультиоб'єкти дозволяються тільки 41_region, а в інших шарах мають бути переведені у прості об'єкти (Singlepart).
3. *Ідентифікація дуг* (пошук об'єктів із сегментами параметричних кривих). Використовувати дуги заборонено, оскільки вони автоматично апроксимуються при конвертації в інші формати (шейп-файл, наприклад), а це призводить до ряду проблем із топологією.
4. *Некоректна геометрія* (мікрооб'єкти). Інструмент виявляє дрібну та осколкову (дуже тонку та видовжену) геометрію як окремих об'єктів, так і взаємних пробілів і накладок між суміжними полігональними чи лінійними об'єктами.
5. *Топологічні відношення* просторових об'єктів топографічної карти (тобто суміжність, сполучення, перетинання, примикання, вкладення).
6. *Узгодженість умовного знака горизонталей між собою* (перевірка дотримання мінімально допустимої відстані між горизонталями у випадках їх надмірного наближення).

7. *Атрибути просторових об'єктів* (перевірка заповненості усіх обов'язкових атрибутивних даних для деяких векторних об'єктів).
8. *Атрибути анотацій*. Перевірка необхідних, а також пошук зайвих класів анотацій. Наявність HTML тегів (інколи хибно додаються при редагуванні анотацій), коректність значень і т.д.
9. *Перевірка репрезентацій*. Перевірка того, чи присвоєно необхідним шарам репрезентації, кількість класів репрезентацій та наявність поля RuleID.

Пункти 8 та 9 необхідні тільки на картах 1:10 000, а інші – цілком придатні для використання на картах дрібніших масштабів з обов'язковим коригуванням параметрів під конкретний масштаб.

Хоча про використання цього інструментарію для перевірки карт 1:50 000, 1:100 000 чи 1:200 000 не відомо.

Для масштабу 1:10 000 також розроблені інструменти, що корисні при укладанні для автоматизації певних процесів.

1. Інструмент зі створення полігонального буфера навколо проїздів у населених пунктах.
2. Інструмент, що розрізає горизонталі в місцях, де є бергштрих.
3. Створення контуру рослинності (лінійний умовний знак у вигляді точок, що створюється навколо полігонів рослинності).
4. Інструмент, що додає опори та стрілки на лінії електропередач (ЛЕП).
5. Створення маски горизонталей для усіх форм рельєфу.
6. Інструмент зі створення навісів.

Усі згадані інструменти є вузькоспеціалізованими під масштаб 1:10 000. На аркушах карт дрібніших масштабів потреби у їх використанні немає.

У рамках україно-норвезького проекту зі створення карт **масштабу 1:50 000** було створено систему контролю якості робіт у вигляді програмного комплексу «Validate», що розроблений співробітниками ДП «НІГК» з використанням мови програмування Python. Метою впровадження цього комплексу є перевірка

логічної узгодженості об'єктів, відповідності правилам топологічних відношень, перевірки повноти та змісту метаданих.

Програмний комплекс «Validate» містить 141 правило топології між 45 класами цифрової топографічної карти масштабу 1:50 000 [20, с. 37].

Після використання «Validate» база геоданих створює клас топології та тимчасові класи об'єктів для перевірки топологічної узгодженості, який складається з класів об'єктів 3 рангів: 1 ранг – об'єкти з чіткими контурами (наприклад, дороги, вулиці, квартали, будинки, лінії ЛЕП тощо); 2 ранг – мости, шлюзи, водотоки, дамби та канали; 3 ранг – інші об'єкти [20, с. 37].

Після перевірки аркуша створюється 3 файли помилок (окремо для точкових, лінійних та полігональних об'єктів), а також формується звіт перевірки якості. У цьому звіті створюється таблиця можливих помилок таких категорій: рекомендовано, важливо та критично.

Укладачі мають виправити усі помилки у 3 файлах помилок.

В україно-норвезькому проекті гарно зарекомендував себе інструмент із автоматизованого створення кварталів (Рис. 3.1). Такий інструмент корисний у випадках, коли квартали населених пунктів потрібно створювати з нуля на масштабах карт, дрібніших за 1:10 000.

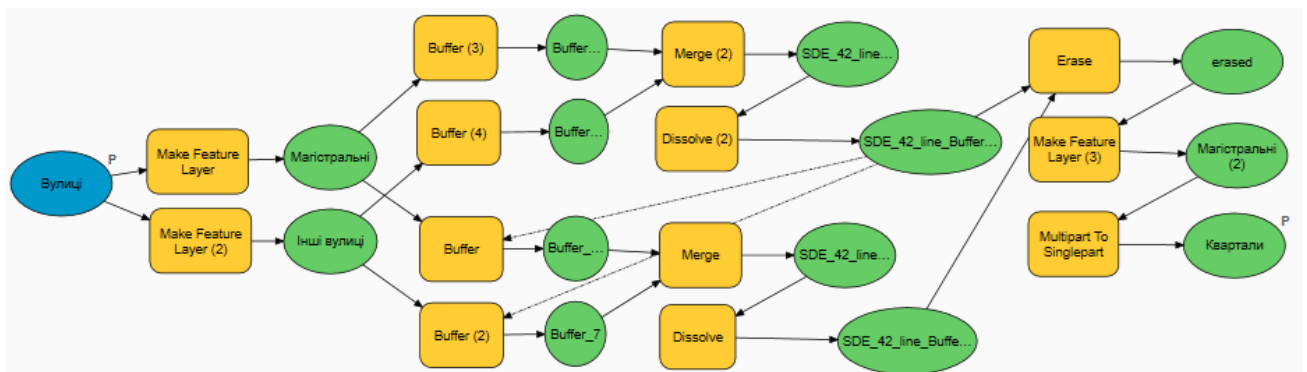


Рис. 3.1. Модель інструмента для автоматизованого створення кварталів

Для коректної побудови кварталів виконують операції побудови буфера заданої величини, залежно від типу вулиці. Під час векторизації кварталів уздовж магістральних вулиць створюють буферну зону завширшки 75 м, вулиці вирізають із кварталів буфером 10 м. Під час векторизації кварталів уздовж

інших вулиць, створюють буферну зону завширшки 65 м, а вулиці вирізають із кварталів буфером 7 м [9, с. 115].

Такі правила автоматизованої побудови кварталів описано для масштабу 1:50 000. Але якщо додатково налаштувати певні значення, то такий інструмент коректно працюватиме на аркушах 1:100 000 та 1:200 000.

Отже:

- для аркушів масштабу 1:10 000 існує повноцінний комплекс інструментів, що включає як інструменти для укладання, так і для перевірки аркуша (Check_data_10000);
- для аркушів масштабу 1:50 000 розроблений пакет «Validate», але після закінчення україно-норвезького проєкту інструмент не залучався у роботи зі створення нових топографічних карт такого масштабу;
- для аркушів масштабу 1:100 000 та 1:200 000 не розроблено подібних пакетів перевірки. Єдиний інструмент, що прискорює роботи із укладання карт таких масштабів – це налаштований аналог інструмента із автоматизованого створення кварталів.

3.2. Вибір середовища та засобів розробки.

Для проведення дослідження було обрано **платформу ArcGIS Pro**, замість середовища ArcMap. Є декілька ключових переваг ArcGIS Pro, що посприяли такому вибору.

1. ArcMap більше не оновлюватиметься: з 2026 р. його підтримка повністю припиняється, а отже поточна версія 10.8.2 є останньою.

2. Усі нові функції, інструменти та API розробляються виключно для ArcGIS Pro, а отже кожна нова версія програмного продукту матиме додаткові інструменти геообробки.

3. Підтримка серії карт, багатьох макетів у одному проєкті. Усі карти незалежно від того, де виконувалися роботи із укладання аркуша, все одно фінально оформлюються із використання зарамкового оформлення, створеного у ArcGIS Pro.

4. Підтримка Python 3 та покращений ModelBuilder, зокрема:

- автооновлення моделей, наприклад, при зміні вхідних даних модель автоматично оновиться;
- додано нові логічні елементи, наприклад, конструкцію If-Then-Else, цикли (інтератори) з розширеними налаштуваннями;
- спрощено налаштування циклів (Iterate Feature Classes, Iterate Rows тощо);
- додано паралельну обробку і багатопотоковість для деяких інструментів;
- модель можна експортувати як Geoprocessing Tool, а потім публікувати в ArcGIS Online або Enterprise;
- можна запускати Python-скрипти на основі моделі або включати їх у моделі.

Як засіб розробки обрано **середовище ModelBuilder** завдяки:

- візуальному представленню та наочності;
- пришвидшеному варіанту розробки та тестуванню інструментів;
- легкому збереженню у вигляді готового інструмента (Toolbox);
- простому вбудовуванню скриптових блоків на Python.

Тому ArcGIS Pro у поєднанні із ModelBuilder були обрані для розробки спеціалізованих інструментів.

3.3. Складові частини моделі у ModelBuilder.

Модель – це сукупність робочих процесів, що являють собою послідовність інструментів геообробки, де вихідні дані одного інструмента є вхідними даними для іншого. До складу моделі входять різні елементи, зокрема: інструменти, змінні, з'єднувачі, групи інструментів (Рис. 3.2).

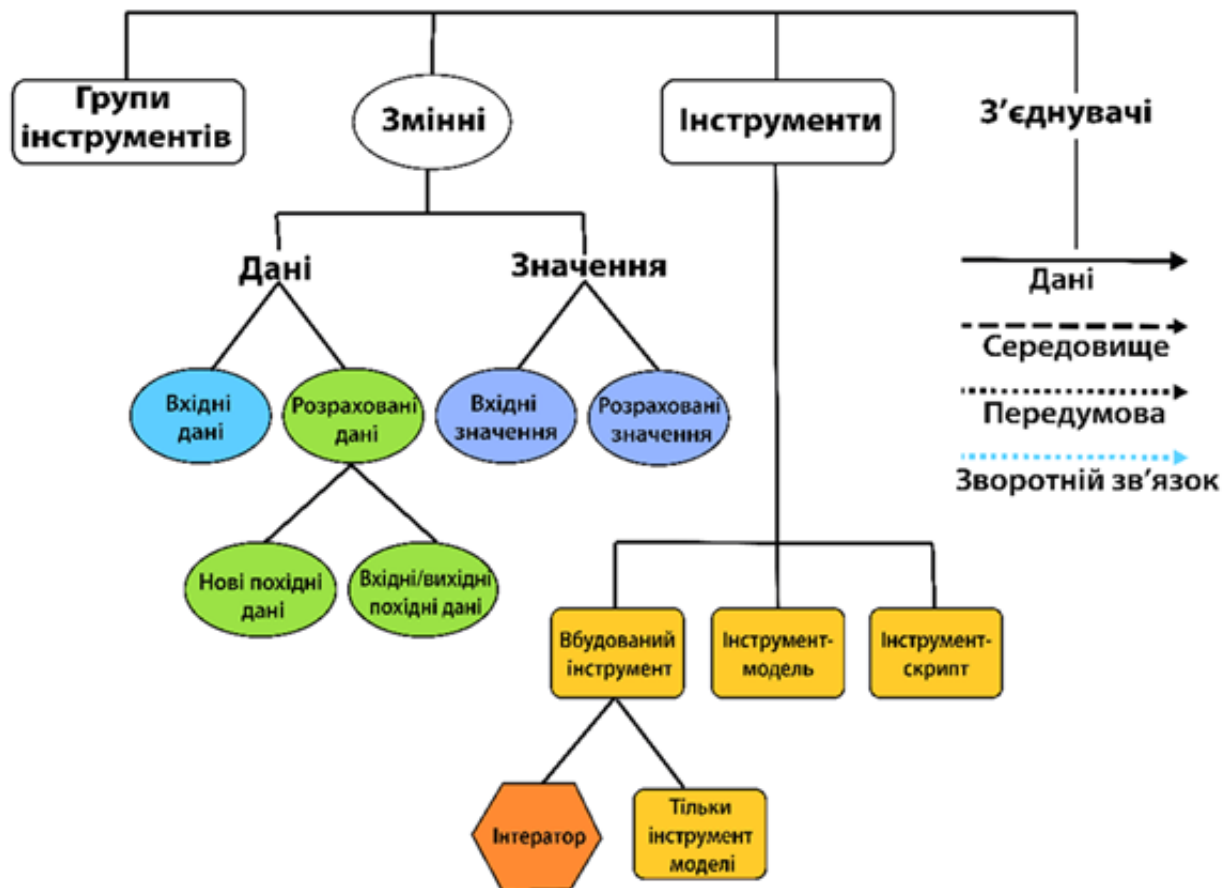


Рис. 3.2. Елементи моделі ModelBuilder [21]

Інструменти (жовті прямокутники) – це основні елементи кожної моделі, завдяки яким відбуваються необхідні перетворення вхідних даних. Це всі інструменти, які можна знайти у системному наборі ArcGIS Pro, а також користувацькі моделі та інструменти-скрипти.

Окремий вид інструментів – це *інтератори (багатокутники червоного кольору)*, які повторюють одну операцію чи цикл для набору вхідних даних чи значень. Ітерація дуже важлива, оскільки автоматизація завдань, що повторюються, сприяє економії часу та зусиль.

Специфічними інструментами також є *логічні інструменти (жовті ромби)*, які доступні тільки у ModelBuilder, і потрібні для того, щоб модель запускалася по-різному залежно від умов. Логічні інструменти працюють за принципом: якщо умова дійсна, то виконується одна дія, а якщо умова хибна, то спрацьовує інша дія.

Змінні (зелені, сині, блакитні овальні фігури) – це елементи моделі, які використовують дані з карти або містять посилання на інші дані, що зберігаються на диску в комп'ютері.

Змінні поділяються на дані та значення. Дані – це такий вид змінних, у яких містяться дані по дані, що зберігаються на диску: їх властивості, поля, просторова прив'язка, шлях до них на комп'ютері. Значеннями є рядки, числа, логічні значення типу true/false, лінійні одиниці, екстенти, просторові прив'язки тощо. Значення можуть бути будь-які, окрім посилання на дані, що зберігаються на диску [18].

З'єднувачі – це стрілки, що необхідні для відображення напряму обробки даних. Існує 4 види з'єднувачів:

- з'єднувачі даних (поєднують дані чи значення з інструментами);
- з'єднувачі середовища (сполучають змінну, що містить налаштування середовища, із інструментом геообробки);
- з'єднувачі передумови (поєднують змінні, що мають передумову, з інструментом);
- з'єднувачі зворотного зв'язку (необхідні для перенаправлення вихідних даних як вхідних повторно до того самого інструмента геообробки).

Групи інструментів – це поєднання налаштованих інструментів, що здійснюють геообробку. Їх можна розгортати чи згортати, задля економії місця на екрані.

Роботу моделі та процесів у ній зручно відстежувати у вікні ModelBuilder. Процеси можуть бути в одному із 4 станів: не готовий до виконання, готовий до виконання, виконується та був виконаний.

- *не готовий до виконання*: елементи моделі зафарбовані у сірій колір, оскільки необхідні параметри ще не вказані;
- *готовий до виконання*, тобто усі параметри в інструменті вказані. Кожен з елементів моделі має свій колір;
- *виконується*: інструмент виділено червоним кольором;
- *виконано*: навколо елементів моделі додається тінь, яка означає, що процес відбувся успішно.

Ключовим аспектом роботи в ArcGIS Pro є документування змісту та елементів проєкту, тобто створення **метаданих**. Метадані зберігаються разом із елементом, який вони описують. Кожна модель має свої метадані. Основними метаданими для кожної моделі є ім'я, підпис (аналог псевдоніма, де можна використовувати пробіли, спеціальні символи на відміну від Імені), опис, ілюстрація, пароль тощо.

Розробник моделі самостійно обирає, які метадані необхідно заповнити. Важливо записати будь-яку інформацію, яка може бути корисною для користувача. Перш за все це опис призначення, особливостей роботи моделі та поради із виправлення помилок, які знаходить інструмент.

3.4. Алгоритм розробки моделі у ModelBuilder.

Про алгоритм розробки моделі у ModelBuilder доцільно розповісти на прикладі створення конкретного інструмента, наприклад, такого, що призначений для пошуку бергштрихів, які не узгоджені із горизонталями.

Нова модель у ArcGIS Pro відкривається як порожній вигляд моделі, в яку можна додавати дані та інструменти, а потім з'єднувати їх, формуючи процеси.

1. Вхідні дані (Рис. 3.3, 1 та 2). Для створення моделі, що шукатиме бергштрихи, які неузгоджені із горизонталями, спочатку варто додати шари карти, які аналізуватимуться цим інструментом. Вхідні дані (шар 21_line та 23_point) додаються у модель методом Drag-and-drop (перетягування) із Таблиці змісту (Contents) проєкту. Особливістю цих змінних є те, що для них необхідно встановити Параметр.

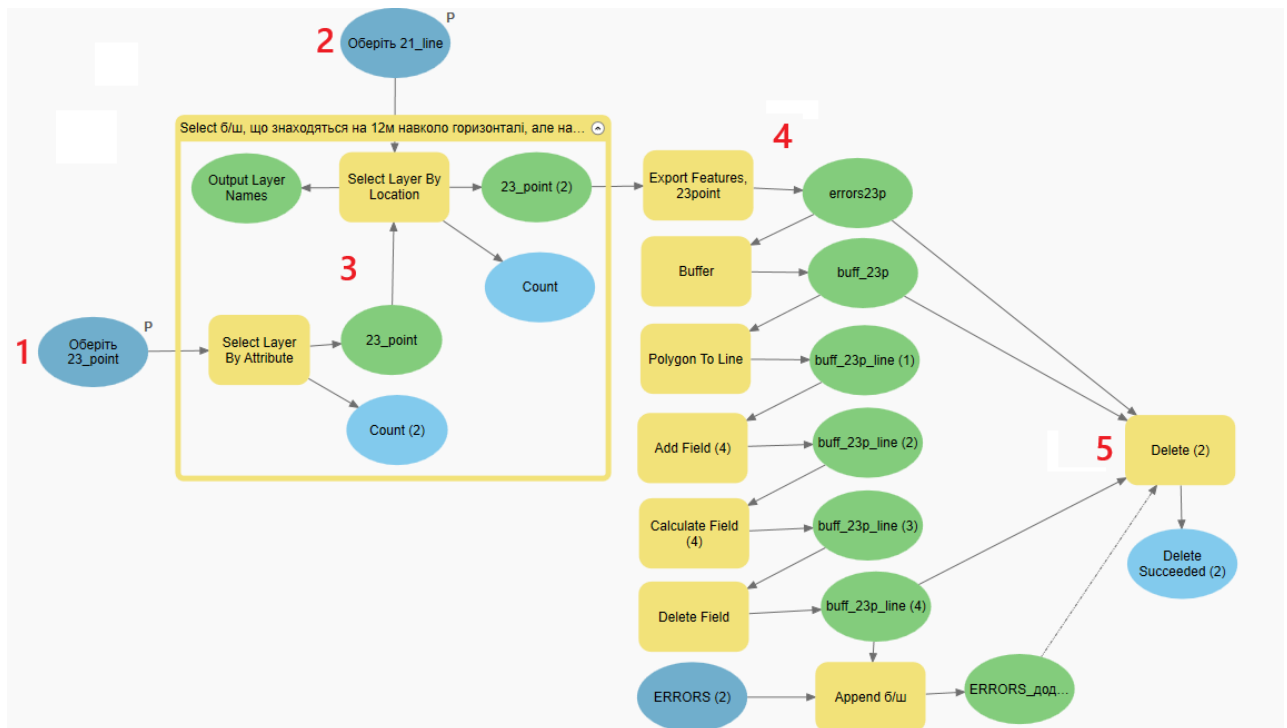


Рис. 3.3. Модель перевірки бергштрихів

У ArcGIS Pro більш розширено налаштування моделей, зокрема додано такий показник як Параметр. Якщо до певної змінної встановити Параметр, то це означає, що можна додатково обрати дані та значення цієї змінної (наприклад, з якого саме поля будуть братися дані, необхідні для розрахунку), що будуть використовуватися у моделі. Якщо у змінної є заданий Параметр, то поруч з нею з'явиться велика літера P [18].

Таким чином, відкривши інструмент-модель, користувач має обрати 21_line та 23_point зі своєї карти, які будуть вхідними даними для опрацювання алгоритмом.

2. Додавання інструментів вибірки (Рис. 3.3, 3). Зважаючи на те, що у шарі 23_point окрім бергштрихів є багато інших елементів (кургани, ями, горби,

каміння тощо), необхідно здійснити вибірку саме бергштрихів. Додавши у модель інструмент Select Layer By Attribute (Вибрати за атрибутами), далі варто з'єднати змінну 23_point із цим інструментом. Мовою SQL запит на вибір бергштрихів виглядатиме так: KOD = '23100000' (Рис. 3.4, а).

Наступним кроком є додавання інструмента, що аналізуватиме місцеположення бергштрихів відносно горизонталей. Використовуючи інструмент Select Layer By Location (Вибрати за місцем розташування) необхідно обрати всі бергштрихи (23_point), що перетинаються (Intersect) із горизонталями (21_line), а потім вилучити їх із вибірки (Remove from the current selection) (Рис. 3.4, б). Важливо не вказувати буферну відстань, бо суть вибірки – прибрати із вибірки всі бергштрихи, що чітко знаходять на горизонталі, а не поруч.

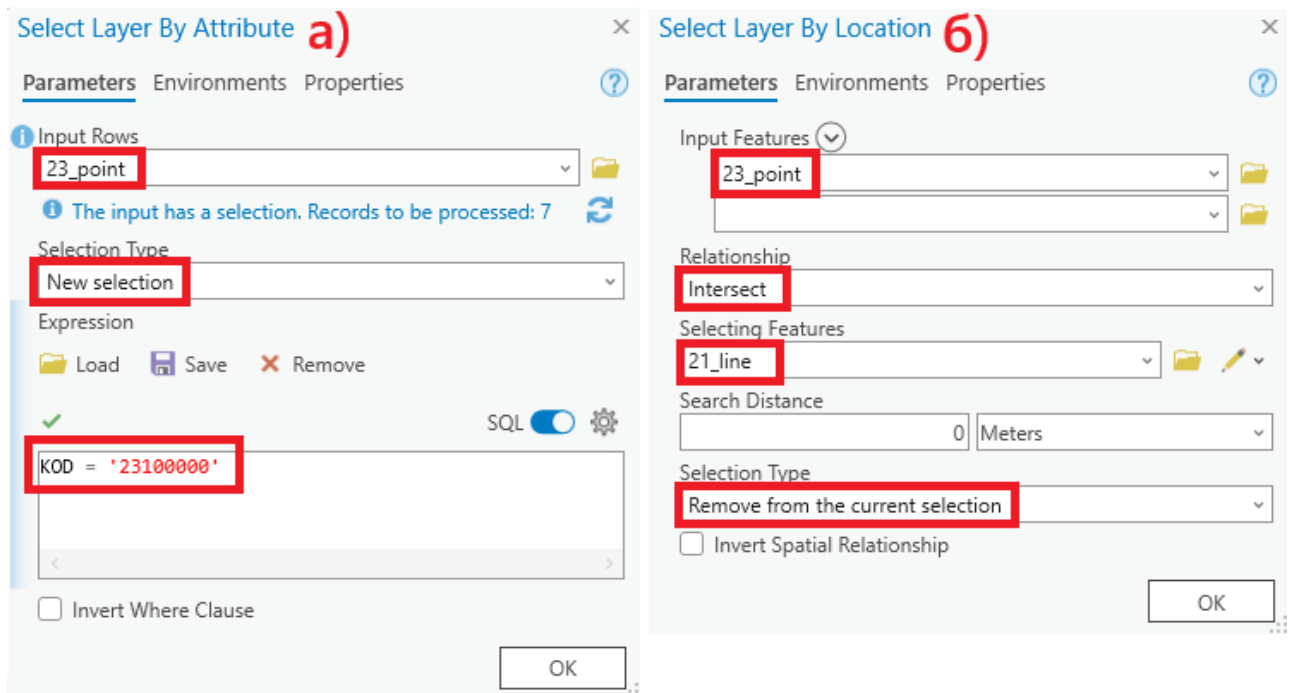


Рис. 3.4. Налаштування вибірки, де а) – для Вибірки за атрибутом, б) – для Вибірки за місцем знаходження

Select Layer By Location та Select Layer By Attribute можна об'єднати у групу (Рис. 3.3, 3), а також підписати, щоб одразу було зрозуміло, яка роль цих інструментів.

3. Додавання інструментів експорту помилок (Рис. 3.3, 4). Наступний крок – це перенесення вибраних бергштрихів, які не узгоджені із горизонталями,

у шар усіх помилок ERRORS. Зважаючи на те, що вибрані об'єкти – це точки, а шар ERRORS – це полілінії, варто зробити певні маніпуляції, аби перенести об'єкти з точкового вигляду в лінійний. Наприклад, можна здійснити експорт обраних бергштрихів в окремий шар за допомогою інструмента Export Features, далі створити полігональний буфер на 30 м навколо кожної точки інструментом Buffer, і нарешті конвертувати полігональний буфер у лінійний об'єкт із використанням Polygon To Line. Тобто такі лінійні об'єкти (у шарі buff_23p_line) вже можна буде додати у лінійний шар помилок ERRORS.

Інструмент Append (Приєднати) передбачає, що за наявності однойменних полів (ключів) можна переносити дані з одного шару в інший. Вихідним шаром для усіх помилок, що знаходять створені Інструменти, за замовчуванням вибрано шар ERRORS у базі Errors.gdb (база йде в комплекті з інструментами).

Наступним кроком є додавання поля «error», за яким буде відбуватися приєднання даних із тимчасового шару buff_23p_line у шар помилок ERRORS. Важливо не лише вказати на місце, де є помилка, але й пояснити укладачеві у чому вона полягає. Тому, використовуючи інструмент Calculate Field (Калькулятор поля), можна прописати коментар на мові Python: str('Бергштрих не на горизонталі'). Інструмент Delete Field (Видалити поле) прибирає усі зайві поля у тимчасовому шарі buff_23p_line, аби залишилось тільки поле error. Інструмент Append приєднує об'єкти із тимчасового шару buff_23p_line до шару помилок ERRORS.

4. Видалення тимчасових шарів (Рис. 3.3, 5). Певні маніпуляції із даними, як створення полігонального буферу, конвертація його у лінійний об'єкт, експорт даних потребує створення певної кількості тимчасових шарів, які формуються у базі Errors.gdb. Так робиться, аби не допустити змін у базі самого аркуша. Після успішної роботи інструмента варто прибрати такі тимчасові шари, використовуючи інструмент Delete (Видалити). Варто зазначити, що пунктирна стрілка, яка з'єднує вихідні дані ERRORS із інструментом Delete є умовою, тобто цей інструмент спрацює тільки після виконання операції Append.

У підсумку, кожен із виявлених «висячих» бергштрихів буде додано у загальний шар помилок ERRORS із коментарем «Бергштрих не на горизонталі» (Рис. 3.5).

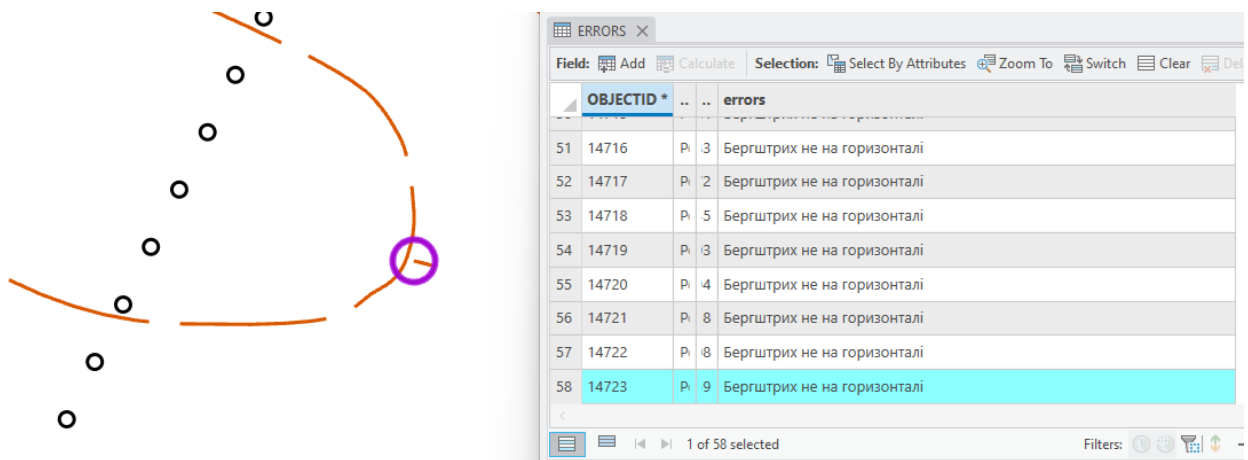


Рис. 3.5. Результат роботи Інструмента після перевірки бергштрихів

Ще один важливий етап при розробці будь-якого інструмента – це додавання метаданих, тобто текстових інструкцій для роботи з інструментом. Повний та детальний опис допоможе користувачу краще опанувати усі нюанси роботи з інструментом.

Короткі метадані є у властивостях інструмента, а більш розширена версія – це власне текстова сторінка метаданих, що доступна через Каталог. Для редагування метаданих необхідно натиснути правою кнопкою на інструмент та обрати Властивості.

Ім'я (Name) інструмента має бути без пробілів, спеціальних символів та обов'язково починатися з літери, а не цифри. Такі строгі вимоги до імені – через ймовірність використання моделей у скриптах Python. *Підпис (Label)* – це те, як інструмент буде підписаний в Toolbox (наборі інструментів). У наступному полі автоматично прописується місцезнаходження інструмента в пам'яті комп'ютера. *Короткий опис* – текстове пояснення, де висвітлено перш за все призначення інструмента. За необхідності можна встановлювати *пароль*, тоді користувачі зможуть використовувати модель, але без можливості редагувати її (Рис. 3.6).

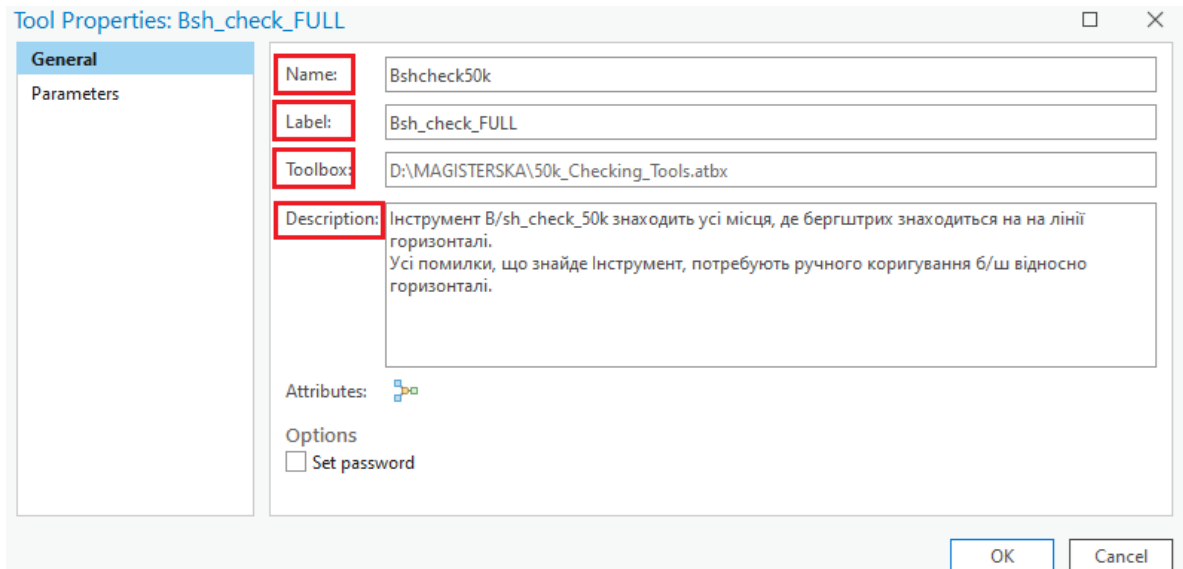


Рис. 3.6. Властивості Інструмента «Bsh_check_FULL»

Наступним кроком є редагування метаданих інструмента. Для цього необхідно клацнути правою кнопкою на інструменті та обрати «Редагувати метадані» (Рис. 3.7).

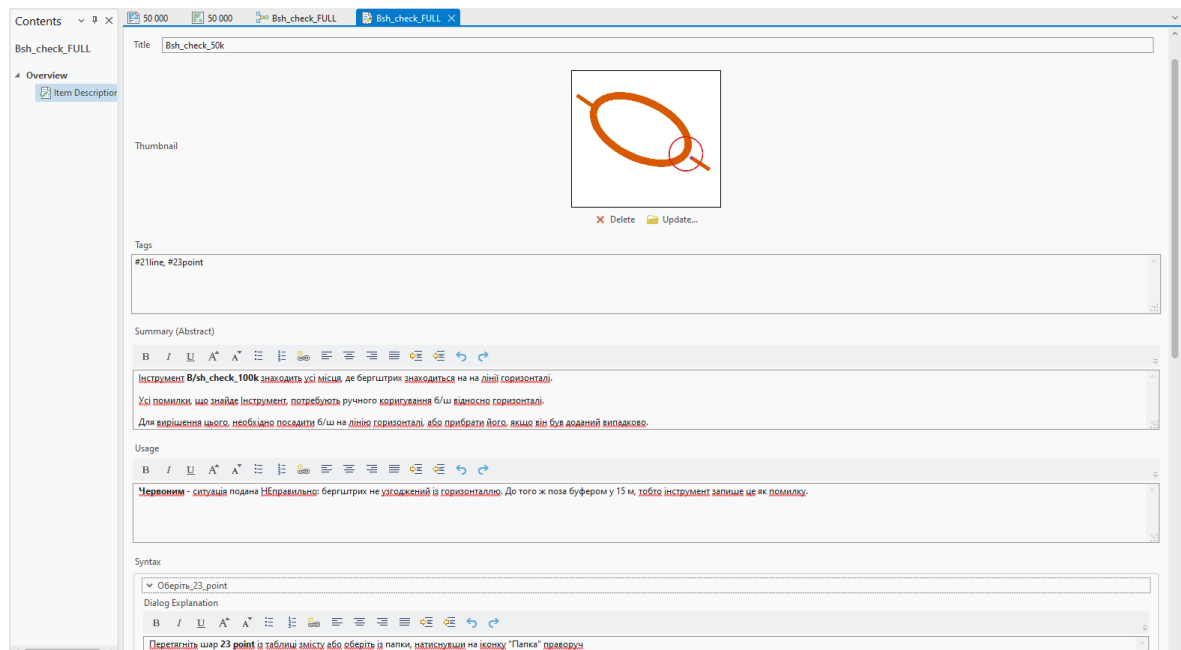


Рис. 3.7. Редагування метаданих

Назва (Title) може бути різною, але у всіх створених моделях вона збігалась із підписом інструмента. Додавання *ілюстрації (illustration)* корисно при описі випадків, які інструмент сприйматиме як помилки. До картинки можна додавати пояснення у полі *Usage*.

Заповнення *тегів (Tags)* є обов'язковим, якщо створюється багато інструментів геообробки. У даному випадку основними тегами, що

використовувалися у дослідженні були назви шарів, які залучалися до роботи інструмента. За тегами зручно шукати необхідні для роботи моделі.

Опис (Description) – це пояснення про призначення інструмента, особливостей його роботи, а також порад для укладачів, як виправити помилки, знайдені інструментом. Часто цей зміст може дублюватися із описом у Властивостях інструмента. ArcGIS Pro дозволяє здійснювати форматування тексту: змінювати розмір, вирівнювати та нумерувати текст. Доступно також додавати підкреслення, виділяти якісь частини курсивом чи жирним шрифтом.

Синтаксис (Syntax) – це налаштування підказок, що з'являтимуться на етапі, коли користувач, відкривши інструмент, має додати необхідні шари для запуску моделі. До кожного із вхідних даних, що мають параметр (Parameter) можна додати окремі підказки (Explanation), наприклад, де знайти необхідний шар, або яким чином додати його в інструмент.

Оформлені метадані можна проглянути за допомогою Каталогу (Рис. 3.8).

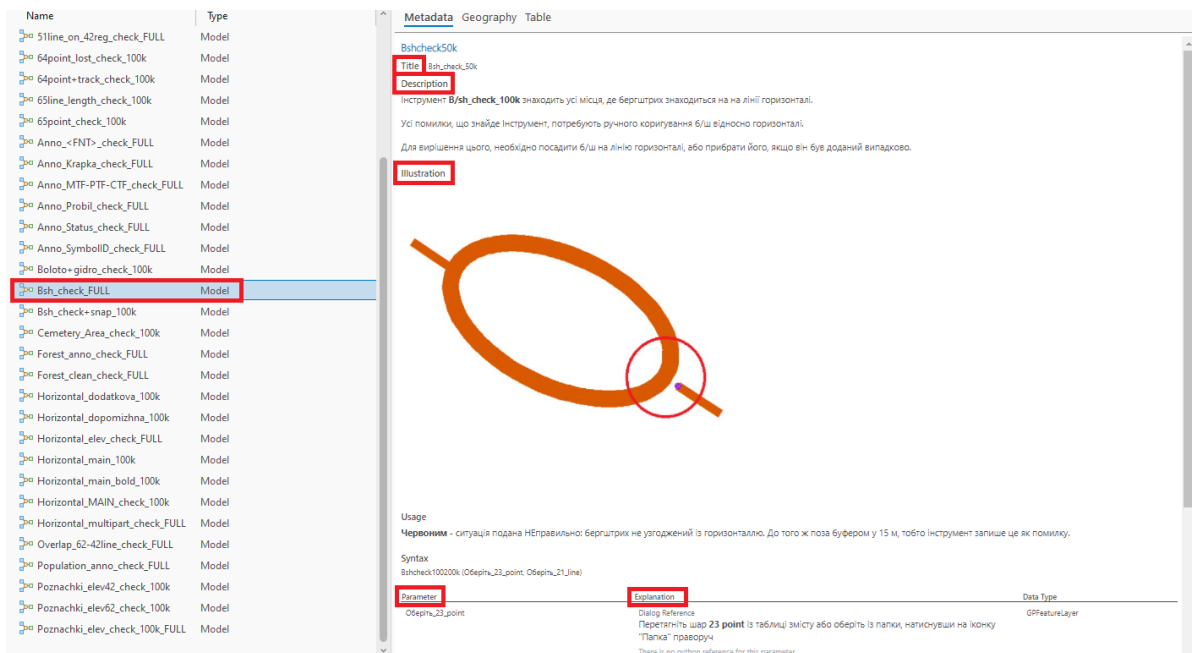


Рис. 3.8. Перегляд метаданих через Каталог

Отже, кожна створена модель буде вважатися завершеною після додавання коректних метаданих, які є критично важливими для розуміння призначення створених інструментів.

РОЗДІЛ 4. АВТОРСЬКІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ

4.1. Загальний огляд інструментарію.

У процесі виконання дослідження вдалося створити 3 користувацькі набори інструментів, де для карт масштабу 1:50 000 передбачено **29**, для 1:100 000 – **27**, а для 1:200 000 – **25** авторських спеціалізованих інструментів. Ознайомитися із їх повним переліком можна у Додатку А.

Різна кількість моделей-інструментів спричинена особливостями та вимогами кожного із масштабів. Наприклад, не має сенсу використання інструмента *Population_anno_check_FULL*, який здійснює перевірку анотацій кількості жителів на картах масштабу 1:200 000, адже у цьому масштабі кількість жителів під назвою населеного пункту не підписується. Аналогічно, інструмент *Poznachki_elev_check_FULL* не є затребуваним на картах масштабу 1:200 000, де позначок висот на одному аркуші карти може бути близько 10. Це пов'язано із тим, що для відбору використовують переважно пункти ДГМ, нівелірної та знімальної мережі, а тільки у випадку їх нестачі, залучають позначки висот. Інструмент *35line_dams_aboveground* актуальний тільки для масштабів карт 1:50 000, бо подібної проблеми із дамбами проїжджими на інших масштабах не виникає. Схожа ситуація із інструментом *Apostrof_check*, який теж корисний тільки для масштабу 1:50 000, бо тільки у цьому масштабі апостроф із української клавіатури інколи сприймається некоректно, тому є сенс замінювати його на англійський аналог.

Усі інші інструменти схожі між собою. Усі моделі-інструменти налаштовані на кожен масштаб і знаходяться у 3 окремих наборах інструментів для карт 1:50 000 (*50k_Checking_Tools.atbx*), 1:100 000 (*100k_Checking_Tools.atbx*) та 1:200 000 (*200k_Checking_Tools.atbx*) (Рис. 4.1).

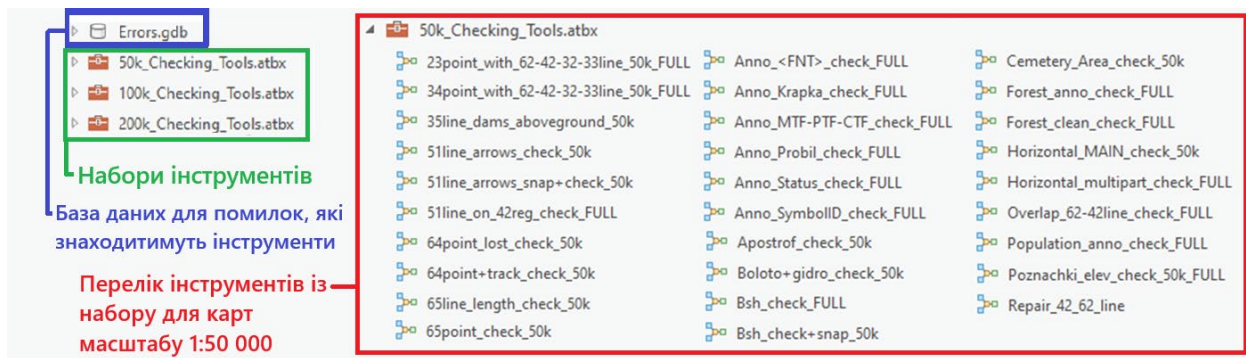


Рис. 4.1. База помилок, набори інструментів та перелік інструментів у для масштабу 1:50 000

Створення 3 окремих наборів, що налаштовані під кожен масштаб, спричинено різницею у назвах певних шарів, деяких полів, а також різною мінімально допустимою відстанню на картах, що для масштабу 1:50 000 складає 10 м, 1:100 000 – 20 м та 1:200 000 – 40 м. Задля дотримання цих вимог, кожен із інструментів створювався на один масштаб, а потім доопрацьовувався та тестувався на інших масштабах.

Для тестування усіх інструментів створювались 2 схожі ситуації (Рис. 4.2): на одній із них об'єкти укладались згідно вимог, а на іншій було допущено певні помилки в узгодженні елементів змісту між собою. Після запуску інструмента перевірялось, чи знайшов написаний алгоритм такі помилки. У разі виявлення лише частини із них, модель доопрацьовувалась та перевірялась знову. Після досягнення того, коли інструмент виявляв усі неузгоджені між собою об'єкти, він вважався робочим. Після додавання метаданих проводилось тестування цього ж інструмента у проєкті карти іншого масштабу, де повторно створювалось 2 ситуації із згодженими та неузгодженими об'єктами. Перед запуском моделі обов'язково редагувались певні числові дані, після чого здійснювалось перше пробне тестування. Після перевірки коректності роботи інструмент або доопрацьовувався, або вважався робочим вже для цього масштабу карти. Кожен інструмент із 3 наборів тестувався за такою схемою.

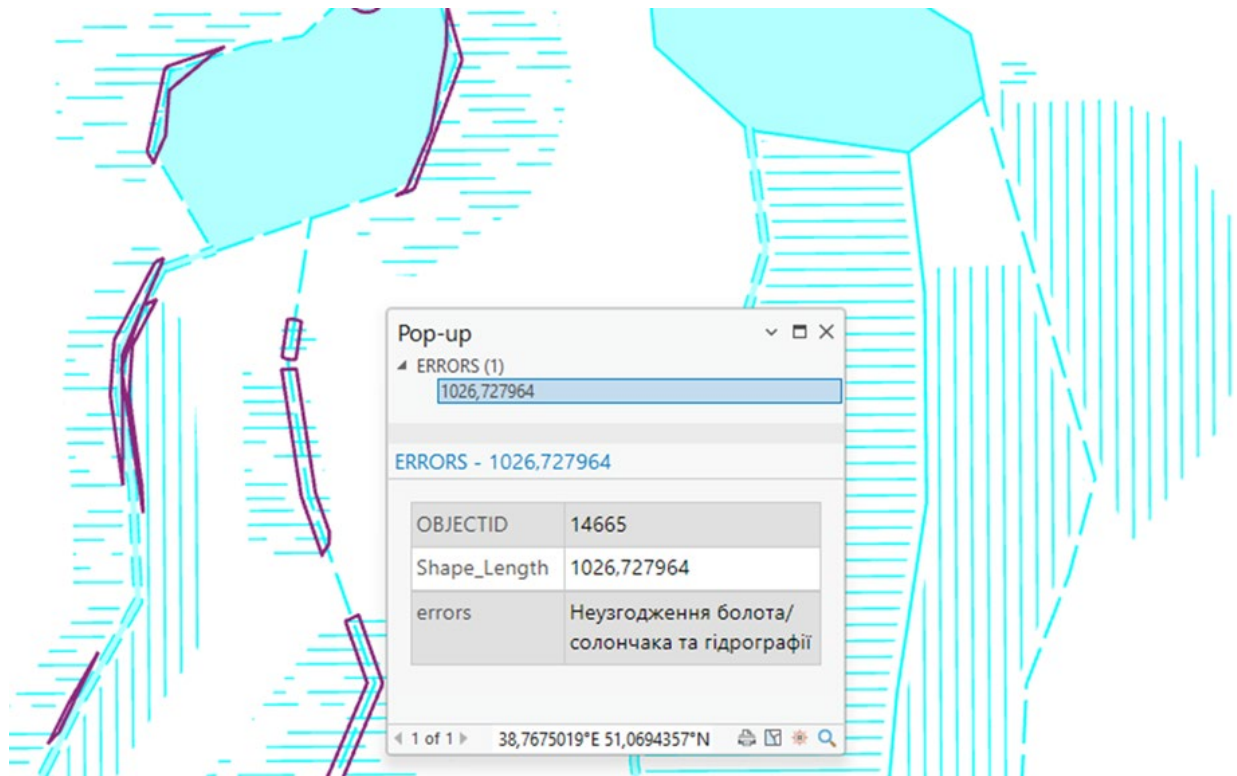


Рис. 4.2. Тестування інструмента (ситуація зліва - об'єкти неузгоджено, тому інструмент виявив помилки, ситуація справа – об'єкти подані коректно)

Назви інструментів складаються із назв шарів або об'єктів, які будуть залучені для аналізу цією моделлю. Окрім цього слово Snap у назві інструмента означає, що модель не просто перевірятиме, але й у певних випадках (у межах буферу) автоматично коригуватиме дані, задля зменшення ручної роботи та кількості помилок на аркуші. Це стосується інструментів *51line_arrows_snap+check* («садить» близько розташовані опори на лінію ЛЕП) та *Bsh_check+snap* (приєднує бергштрихи до горизонталі в межах буфера). Інструмент *Repair_42_62_line* єдиний із інструментів, що не створює коментарі у шарі ERRORS. Призначення цієї моделі – це коригування вектору доріг та проїздів, що безпосередньо виконується на аркуші. Усі інші інструменти обов'язково формують помилки у шарі ERRORS із відповідними коментарями.

Для встановлення пакету інструментів на свій комп'ютер необхідно завантажити необхідні матеріал, а саме базу *Errors.gdb* та сам набір інструментів. Базу *Errors.gdb* потрібно розмістити на диску D, а набір інструментів перенести у вашу робочу папку на комп'ютері. У проєкт карти (при першому використанні інструментів) необхідно додати підключення до папки, де знаходиться набір

інструментів: клацнути правою кнопкою у Каталозі на Папки (Folders), обрати Додати підключення до папки (Add Folder Connection), а далі вибрати папку, у якій знаходиться пакет інструментів.

Або інший спосіб: у Каталозі правою кнопкою на Toolboxes, далі Додати набір інструментів (Add Toolbox) та обрати набір інструментів на комп'ютері.

У Таблицю змісту (Contents) необхідно додати шар помилок ERRORS із бази Errors.gdb. У цей шар автоматично буде здійснюватися запис усіх помилок, які знайде кожен із інструментів, які запускатимуться у даному проєкті. Після виправлення помилок рекомендується видаляти їх із шару ERRORS на випадок повторної перевірки одним і тим інструментом. Трапляються випадки, коли модель не знаходить помилок на аркуші карти, відповідно тоді жодних помилок у шар ERRORS додаватись не буде.

Для запуску будь-якого інструмента необхідно здійснити наступні кроки (Рис. 4.3).

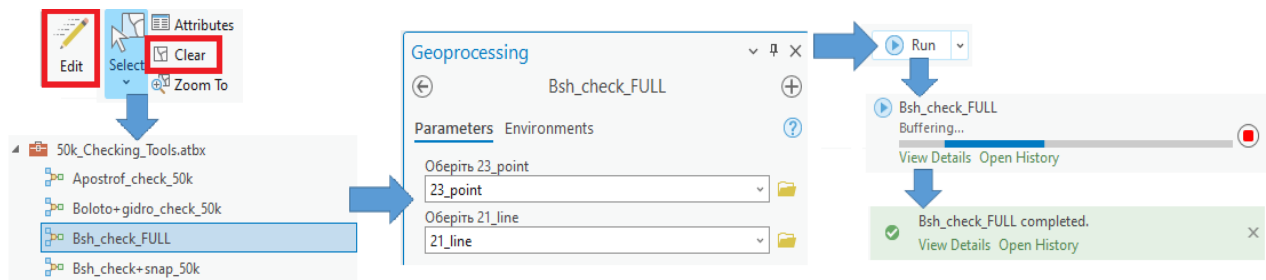


Рис. 4.3. Послідовність запуску інструмента

1. Вимкнути Редактор (Enable editing) на панелі Редагування (Edit – Manage Edits) та очистити вибірку на панелі Вибірка (Selection – Clear). Тобто перед запуском будь-якого інструмента необхідно, щоб Редактор був вимкнений та не було вибрано жодних об'єктів.
2. Обрати необхідний інструмент (подвійне клацання на інструменті) із набору інструментів. Наприклад, для проєкту карти 1:50 000 обрати інструмент *Bsh_check_FULL* із набору інструментів *50k_Checking_Tools.atbx*.
3. Після відкриття інструмента з'явиться перелік шарів, які використовуватиме алгоритм для перевірки. У випадку, якщо програма

помилково прописала шлях до якогось іншого шару, його необхідно замінити на правильний. У підказках зазначається, що це можна зробити або перетягнувши відповідний шар із Таблиці змісту (Contents), або обравши із бази даних, натиснувши на іконку «Папка» праворуч.

4. Наступним кроком є натиснути кнопку Запустити (Run). Зачекати певну кількість часу, доки відбудеться геообробка і у шар ERRORS буде додано помилки, знайдені інструментом.
5. Після закінчення роботи інструмента з'явиться повідомлення на зеленому або жовтому фоні про успішну обробку даних. Якщо фон повідомлення буде червоного кольору, рекомендується звернутися за підтримкою до розробника.
6. Далі відкрийте атрибутивну таблицю шару ERRORS та виправте знайдені інструментом помилки.

Коментарі у шарі ERRORS призначені для конкретизації помилки, у них також може міститися інформація про те, як виправити таку помилку. Приклади помилок, які знаходять різні інструменти геообробки та коментарі до них подано на Рис. 4.4.

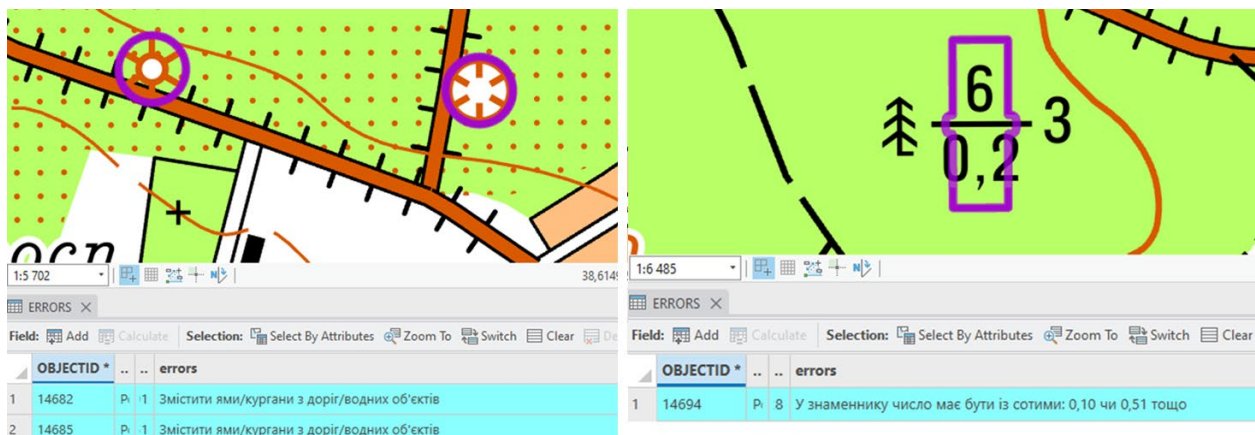


Рис. 4.4. Приклади помилок

У випадку, коли користувачеві важко зрозуміти суть помилки, рекомендується звернутися до метаданих інструмента (Рис. 4.5).

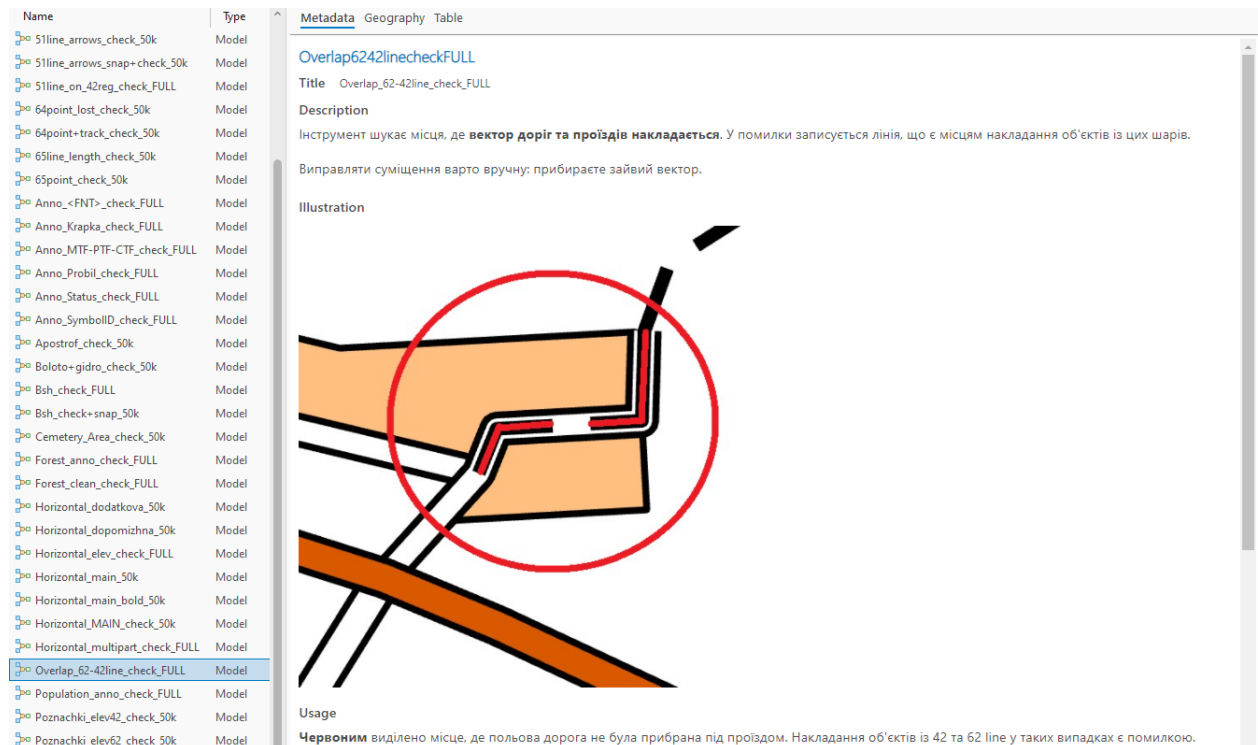


Рис. 4.5. Метадані інструмента *Overlap_62_42line_check_FULL*

Клацнувши правою кнопкою на інструмент, потрібно обрати Переглянути метадані (View Metadata). У них прописано призначення інструмента, особливості його роботи та поради щодо виправлення помилок, які знайде інструмент. Окрім цього наявна ілюстрація правильного та некоректного поєднання об'єктів. Із метаданими варто ознайомитися при використанні інструмента вперше.

4.2. Інструменти аналізу анотацій.

Інструментами для аналізу анотацій є група інструментів, які здійснюють пошуки некоректних анотацій або випадкових помилок, які допущені у них. У додатку А такими інструментами є всі від 19 до 27 номеру включно. Окремо дані про можливості кожного із інструментів надано у Додатку Б та В.

Популярними помилками у роботі із анотаціями в укладачів є використання некоректних чи зламаних шаблонів, додавання зайвих пробілів, неправильне

округлення значень, неухважність у пунктуації тощо. Авторські спеціалізовані інструменти призначені знаходити такі помилки.

Особливістю інструментів аналізу анотацій є використання циклів (інтераторів), а також логічних інструментів. До прикладу в інструменті (Рис. 4.6) *Anno_SymbolID_check_FULL* використано цикл (Iterate Feature Classes), який здійснює перегляд абсолютно всіх шарів анотацій, які є у проєкті карти (28 шарів у базах даних карт 1:50 000 та 1:100 000 та 27 шарів у картах 1:200 000). Використання логічних інструментів (If Field Value Is) дозволяє перевіряти кожен із шарів анотацій на наявність, у даному випадку, у полі SymbolID значення «-1». Тобто, якщо логічний інструмент у шарі анотацій помічає значення «-1», що є істинне (True), то відбувається експорт таких анотацій як помилок у шар ERRORS із коментарем «Не правильний шаблон (SymbolID не -1)». Якщо ж значення хибне (False), то інструмент перевіряє наступний шар анотацій на наявність істинного значення. Таким способом здійснюється перевірка усіх у базі даних шарів анотацій.

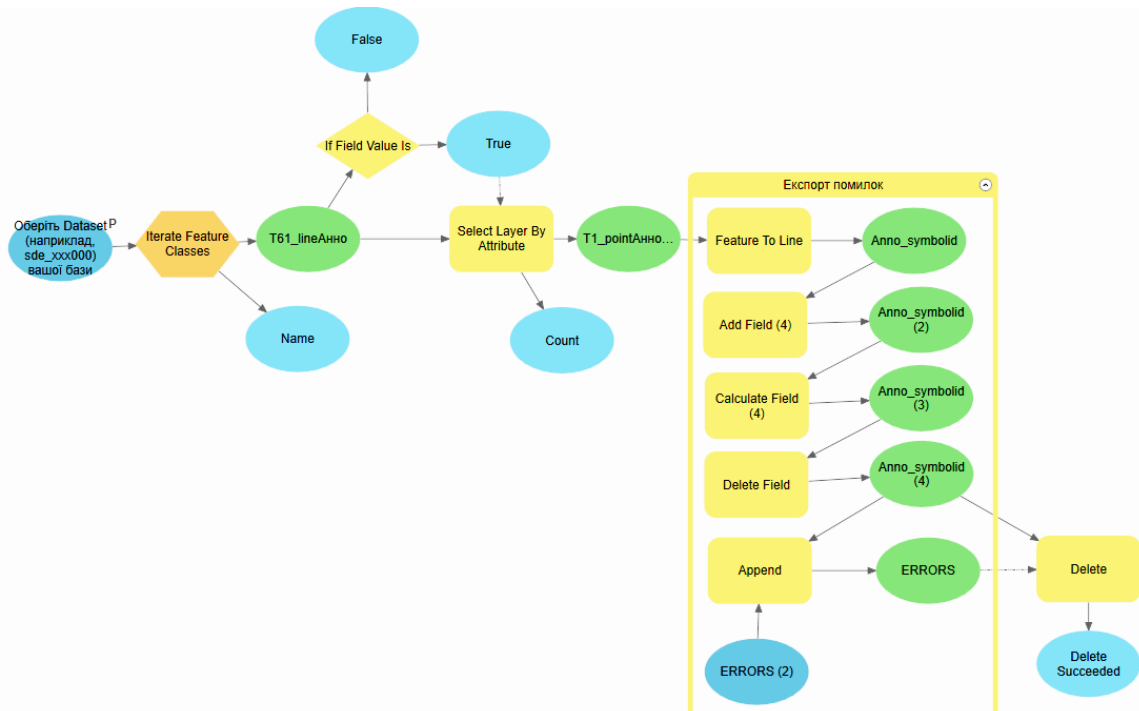


Рис. 4.6. Модель інструмента для пошуку некоректних шаблонів (де SymbolID не дорівнює -1)

Ще однією особливістю роботи з анотаціями є обов'язкове їх переведення у лінійний об'єкт. Завдяки функції Об'єкт у лінію (Feature To Line) анотація конвертується у лінійний об'єкт (переважно це прямокутник, окреслений лінією), що дозволяє експортувати об'єкти із такою геометрією до загального шару помилок ERRORS.

Більшість з інструментів для пошуку анотацій призначені для усього досліджуваного ряду карт, але деякі (*Apostrof_check*, *Population_anno_check_FULLL*) спеціалізовані тільки на певні із масштабів карт.

4.3. Інструменти для пошуку топологічної неузгодженості об'єктів.

Найбільш чисельна група інструментів (Додатки Д, Е, Ж, З) призначена для пошуку неузгодженості об'єктів між собою на карті. Причини неузгодження різні: десь це недотримання мінімально допустимої відстані між об'єктами, десь помилки у топологічному узгодженні вектора, а інколи неуважність укладачів. Спеціалізовані інструменти призначені знайти ряд помилок, які часто допускаються на різних етапах роботи із картою.

Особливістю цих інструментів є складність та багатокomпонентність. Чимало з таких інструментів кардинально різняться будовою та зовнішнім виглядом. Причиною цього є аналіз об'єктів з різних шарів, яких часто доволі багато. Наприклад, інструмент *Boloto+gidro_check* передбачає аналіз одразу із 6 шарів водних об'єктів (31_point, 32_line, 33_line, 31_region, 32_region, 33_region) та 2 шарів, де міститься заболоченість та солончаки (71_point, 71_region).

Суть роботи інструмента (Рис. 4.7). полягає у побудові численної кількості буферів для кожного шару гідрографії із специфічними налаштуваннями та аналогічних буферів для заболоченості і солончаків. Місця, де ці буфери будуть накладатися – будуть помилками. Тобто це місця, де недотримано мінімально допустиму відстань між об'єктами. Коментар для укладача («Неузгодження

болота/солончака та гідрографії») вказуватиме, що у таких випадках потрібно прибрати болото (солончак) навколо об'єктів гідрографії.

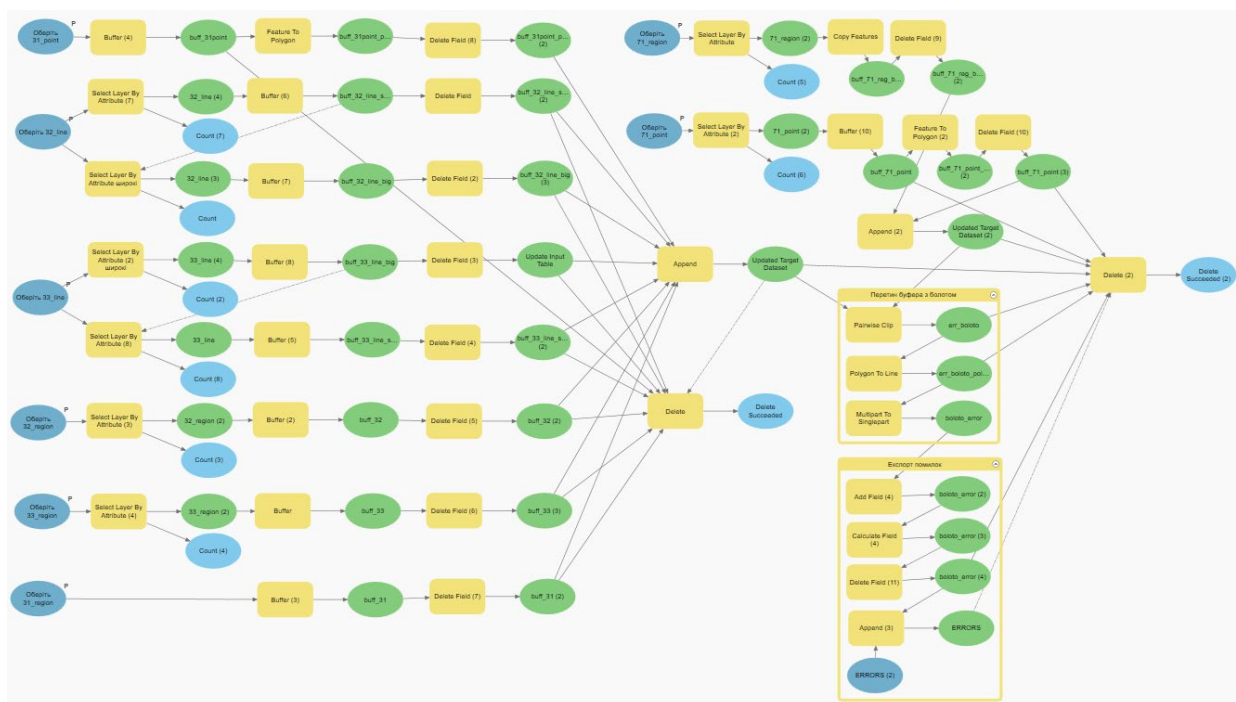


Рис. 4.7. Модель інструмента *Boloto+gidro_check*

Траплялися випадки, коли модель складалася із інших моделей, наприклад, інструмент *Horizontal_MAIN_check* складається із 5 самостійних моделей (Рис. 4.8): 4 із них аналізують певний вид горизонталі (основні потовщені, основні, додаткові та допоміжні), а ще одна модель знаходить некоректні значення висоти горизонталей, наприклад, від'ємні, нульові (тобто висота горизонталі не введена) та занадто великі значення (3550 замість 350, де подвійна «5» введена випадково). Великою перевагою розбивання моделей на менші та самостійні алгоритми спрощує роботи із їх тестування.

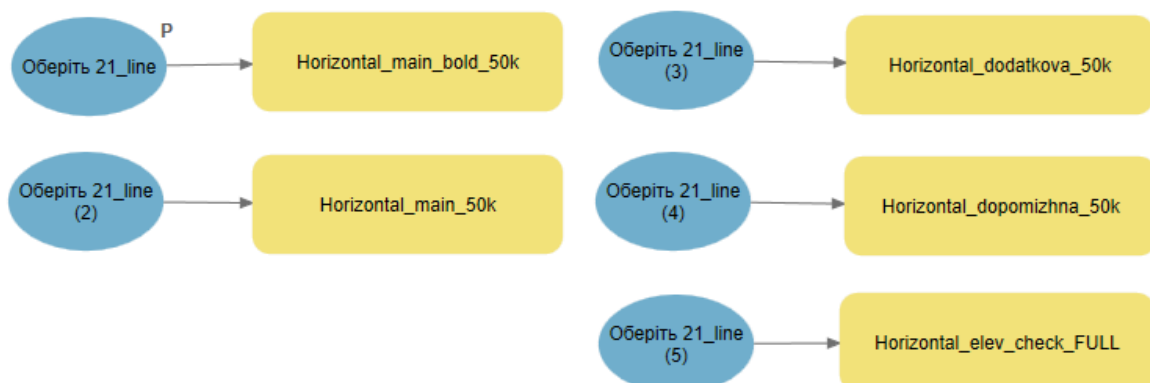


Рис. 4.8. Модель інструмента *Horizontal_MAIN_check*

Характерною особливістю деяких із моделей є використання цікавих математичних функцій, що необхідні для вибірки певних об'єктів. Наприклад, функція MOD застосовувалась для вибірки усіх додаткових горизонталей (для масштабу 1:50 000), у яких значення висоти не закінчувалось на 5 чи 0.

Функція у SQL виглядала ось так: «NOT MOD (K4, 10) = 5 OR NOT MOD (K4, 1) = 0» (Рис. 4.9).

Ця функція дозволяє повертати залишок від ділення. Тобто кожне число у полі K4 (Висота) ділиться:

- на 10 і якщо число після коми не 5 (наприклад, 27 / 10 = 2,7),
- на 1 і є остача (наприклад 15,5 / 1 = 15,5) то таке значення не може мати додаткова горизонталь, а отже воно помилкове.

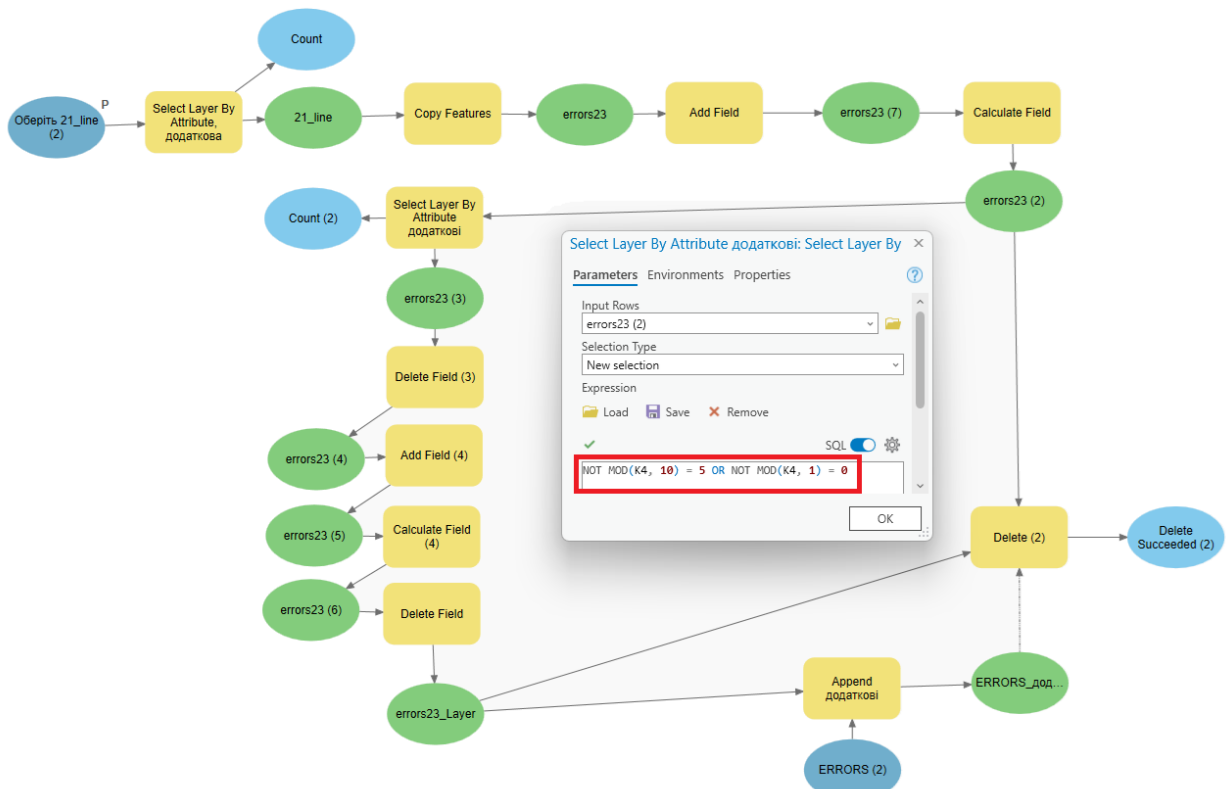


Рис. 4.9. Модель для пошуку некоректних значень додаткових горизонталей

Схожі математичні функції застосовувались для пошуку помилок у основних потовщених, основних та допоміжних горизонталей усіх масштабів.

4.4. Інструменти для автоматизованого виправлення ряду помилок.

Серед численної кількості помилок, які можна допустити на карті, трапляються ті, що можна автоматизовано виправити. Інформація про такі інструменти знаходиться у Додатку И.

У 2 інструментах, а саме: *5line_arrows_snap+check* та *Bsh_check+snap* – передбачена можливість автоматичного виправлення певних помилок.

При укладанні горизонталей часто використовують вбудовані інструменти Згладжування (Smooth) та Генералізації (Generalization). Суть першого полягає у згладжуванні прямих ребер та гострих кутів, при чому форма об'єкта замінюється на плавні лінійні сегменти (дуги чи криві). Суть другого – спросити форму за допомогою певних алгоритмів, тобто лінія із параметричної кривої знову стає звичайною полілінією із точками на ній.

Такі здавалось прості маніпуляції мають один недолік: через зміни у формі лінійного об'єкта, бергштрихи часто залишаються не на горизонталі, а десь поруч із нею. Аби уникнути того, що усі бергштрихи будуть визначені звичайним інструментом *Bsh_check_FULL* як помилки, можна скористатися *Bsh_check+snap*. У межах буферу (для карт 1:50 000 він становить 10 м, для 1:100 000 – 15 м та для 1:200 000 – 20 м) інструмент автоматично приєднує (Snap) бергштрих до горизонталі. Ті бергштрихи, що знаходяться поза буфером, переносяться у шар помилок ERRORS для виправлення або видалення (якщо бергштрих був доданий на карту випадково).

Схожа ситуація із інструментом *5line_arrows_snap+check*, який «садить» опори на лінію ЛЕП, якщо вони знаходяться поруч з нею у межах буфера.

Інструмент *Repair_42_62_line* допомагає усувати недоліки вектору вулиць та доріг. Чимало проблем виникає при редагування вектора «на око», зокрема без використання Замикання (Snapping), через що на аркуші існує безліч вулиць та доріг, що візуально з'єднані, а у векторі навіть не стикуються одне з одним.

Поєднуючи вбудовані інструменти Розтягнути (Extend) та Скоротити (Trim) можна полагодити значну частину вектора. Таким чином працює інструмент *Repair_42_62_line*.

4.5. Майбутні модифікації та перспективи розвитку інструментарію.

Протягом даного дослідження було створено 3 набори інструментів із 25-29 моделями різних інструментів.

Зважаючи на складність топографічних карт, створений пакет інструментів – це далеко неповний комплект, який би всесторонньо міг здійснити перевірку усіх елементів карти, врахувати усі нюанси та виявити всі неточності.

Тому розробка додаткових інструментів, що здійснюватимуть аналіз об'єктів, у пріоритеті.

Задля зручності користування усім пакетом інструментів, цікавою ідеєю є укрупнення інструментів, наприклад, на базі усіх моделей, що здійснюють перевірку анотацій, цілком реально створити один інструмент, що включатиме в себе усі варіанти перевірки анотацій. Таким чином, замість використання 10-и інструментів поштучно, можна запускати лише 1, який вміщуватиме ці 10 підмоделей. Аналогічно, сформувавати один інструмент, який перевірятиме вектор та опрацьовуватиме помилки у топології.

Перспективним напрямком є розробка інструментів, що здійснюватимуть автоматичне виправлення помилок. Це б зменшило кількість ручного корегування даних, а також значно економило б час.

Важливим кроком є роботи із впровадження подібних інструментів в укладання та перевірку топографічних карт.

Збільшення простору для тестування роботи інструментів. Використання баз даних різних виконавців, а також аркушів різних масштабів дозволить виявити недоліки у роботі інструментів та розробити способи їх вирішення.

Залучення мови програмування Python, або повний перехід на розробку інструментів у вигляді скриптів Python дозволить розширити можливості із налаштування такого інструментарію, а також буде корисним при розробці більш складних інструментів.

Використання вбудованих налаштувань для перевірки топології у ArcGIS Pro дозволить виявити помилки пов'язані із нульовою геометрією, накладанням,

суміщенням, перетинанням тощо. Це може стати корисним для пошуку помилок, які не помітно неозброєним оком на аркуші.

Такий вектор руху дозволить розробленим наборам інструментів бути корисними у сфері виготовлення топографічних карт.

ВИСНОВКИ

За результатами проведеного дослідження зі створення спеціалізованих інструментів для топографічних карт можна зробити такі висновки:

1. Топографічні карти – це загальногеографічні карти, що мають свої особливості та характерні риси. Умовні знаки є особливою штучною мовою карти, завдяки яким наносять основні елементи змісту топографічних карт.

2. Топографічне картографування території України має свою тривалу історію. Періодом його розквіту на території України – XIX та XX ст. Із часів здобуття незалежності триває новий етап топографічного картографування, де на сьогодні домінують сучасні геоінформаційних технології, а у цифрові топографічні карти поступово впроваджують стандарти НАТО.

3. Визначено основні можливості мови програмування Python як основної мови програмування у середовищі програмних продуктів ArcGIS.

4. ModelBuilder як візуальна мова програмування посідає важливе місце у автоматизації численних процесів. Середовище цієї програми є зручним для розробки різноманітних користувацьких інструментів геообробки.

5. Розроблено 3 набори інструментів для створення топографічних карт масштабів 1:50 000, 1:100 000 та 1:200 000. Описано алгоритми створення моделей, особливості їх інсталяції на комп'ютер та роботи із ними. Інструменти для аналізу анотацій, пошуку топологічної неузгодженості об'єктів та автоматизованого виправлення ряду помилок є основними групами інструментів, що були розроблені у рамках дослідження.

6. Важливим кроком для подальшого розвитку створеного інструментарію є впровадження його у роботи з укладання та перевірки топографічних карт.

7. Визначено перспективні напрямки розвитку інструментів та проаналізовано майбутні їх модифікації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування : Постанова Каб. Міністрів України від 04.09.2013 № 661 : станом на 14 черв. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення: 26.04.2025).
2. Військова топографія : підручник / С. Г. Шмаль та ін. 4-е вид., перероблене та доповнене. Київ : «Видавництво Ліра-К», 2018. 499 с.
3. Керівництво зі створення оригіналів топографічних карт у системі координат WGS-84 із прямокутною сіткою UTM та системою цілеуказання MGRS масштабів 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000. РВЦ ЗС України, Київ, 2022. 252 с.
4. Божок А. П., Молочко А. М., Остроух В. І. Картознавство : підручник. Київ, 2011. 272 с.
5. Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000. НДІГК, Київ, 1999. 18 с.
6. Розвиток картографування України. *kvt-tc.ukraine7.com*. URL: <https://kvt-tc.ukraine7.com/t556-topic> (дата звернення: 26.04.2025).
7. Призначення, властивості та зміст топографічних карт. *StudFiles*. URL: <https://studfile.net/preview/10975326/page:4/> (дата звернення: 26.04.2025).
8. Сосса Р. І. Розвиток топографічного картографування України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 45(1(45)), 2021. С. 74-78 URL: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2021.45.74-78>.
9. Лазоренко-Гевель Н. Ю., Карпінський Ю. О., Кінь Д. О. Особливості створення (оновлення) цифрових топографічних карт для формування основної державної топографічної карти. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. Випуск I (41), 2021. С. 113–122 URL:

<https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/8a044d73-21f7-48ee-a479-5d026fde54f0/content> (дата звернення: 26.04.2025).

10. Про національну інфраструктуру геопросторових даних : Закон України від 13.04.2020 № 554-IX : станом на 31 груд. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text> (дата звернення: 26.04.2025).

11. Сосса Р. І. Стан та перспективи картографічного забезпечення України. *Геодезія, картографія та аерофотознімання*. 2000. Вип. 1 (61). С. 167–173.

12. Про внесення зміни до Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування : Постанова Каб. Міністрів України від 29.11.2022 № 1332. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1332-2022-п#Text> (дата звернення: 26.04.2025).

13. Геоінформаційні системи та бази даних : монографія / Зацерковний В. І. та ін. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. 492 с.

14. Світличний О. О., Плотницький С. В. Основи геоінформатики : навч. посіб. Суми : ВТД «Університетська книга», 2006. 295 с.

15. Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних картах масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000, затверджений начальником ГУГКК при КМ України і погоджений з начальником ЦТУ ГШ Збройних Сил України у 1998 р. 53 с.

16. Слічна Л.В. Можливості мови програмування Python у програмних продуктах ArcGIS для вирішення просторових задач. *Шевченківська весна – 2025 : Географія* : збірник наукових праць XXII міжнародної наукової міждисциплінарної конференції студентів. Аспірантів та молодих вчених. Випуск XXII. К.: Видавництво «Наукова столиця», 2025. С. 51–53.

17. Zandbergen, Paul A. Python scripting for ArcGIS Pro. Esri Press, USA. 2020. 668 p.

18. Слічна Л.В. Використання можливостей ModelBuilder у ArcGIS для роботи з геопросторовими даними. *Географічні дослідження : історія, сучасність, перспективи* : збірник тез та доповідей XXXIV щорічної науково-практичної конференції студентів та аспірантів. Харків, 2025.

19. SQL reference for query expressions used in ArcGIS – ArcGIS Pro | Documentation. URL: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/mapping/navigation/sql-reference-for-elements-used-in-query-expressions.htm> (date of access: 29.04.2025).

20. Лазоренко-Гевель Н. Ю., Кінь Д. О. Розроблення програмного комплексу «Validate» для автоматизованого контролю якості цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000. *Геофорум-2021* : матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Брюховичі, 2021. С. 35-38.

21. ModelBuilder vocabulary – ArcGIS Pro | Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/modelbuilder-vocabulary.htm> (date of access: 01.05.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Загальний перелік авторських спеціалізованих інструментів

№	Інструмент	Масштаб		
		1:50 000	1:100 000	1:200 000
1.	23point_with_62-42-32-33line_FULL	+	+	+
2.	34point_with_62-42-32-33line_FULL	+	+	+
3.	35line_dams_aboveground	+	HI	HI
4.	51line_arrows_check	+	+	+
4.1	* 51line_arrows_snap+check	+	+	+
5.	51line_on_42reg_check_FULL	+	+	+
6.	64point_lost_check	+	+	+
7.	64point+track_check	+	+	+
8.	65line_length_check	+	+	+
9.	65point_check	+	+	+
10.	Boloto+gidro_check	+	+	+
11.	Bsh_check_FULL	+	+	+
11.1	* Bsh_check+snap	+	+	+
12.	Cemetery_Area_check	+	+	+
13.	Forest_clean_check_FULL	+	+	+
14.	Horizontal_MAIN_check	+	+	+
15.	Horizontal_multipart_check_FULL	+	+	+
16.	Overlap_62-42line_check_FULL	+	+	+
17.	* Repair_42_62_line	+	+	+
18.	Poznachki_elev_check_FULL	+	+	HI
19.	Anno_<FNT>_check_FULL	+	+	+
20.	Anno_Krapka_check_FULL	+	+	+
21.	Anno_MTF-PTF-CTF_check_FULL	+	+	+

22.	Anno_Probil_check_FULL	+	+	+
23.	Anno_Status_check_FULL	+	+	+
24.	Anno_SymbolID_check_FULL	+	+	+
25.	Apostrof_check	+	HI	HI
26.	Population_anno_check_FULL	+	+	HI
27.	Forest_anno_check_FULL	+	+	+

Інструменти аналізу анотацій



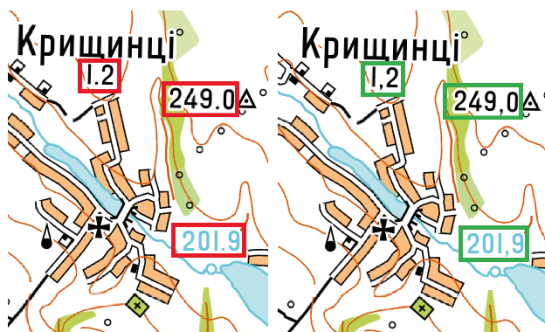
Anno_SymbolID_check_FULL

Інструмент аналізує всі анотації і знаходить ті, де SymbolID = -1.

У таких анотацій використаний неправильний шаблон, а отже може бути не такий колір, шрифт чи навіть наявність/відсутність гало.

Як виправити: використовуйте лише вбудовані шаблони (тоді SymbolID >= 0) для коректного відображення анотацій у масиві аркушів.

Пошук у **всіх** шарах анотацій **всіх масштабів**

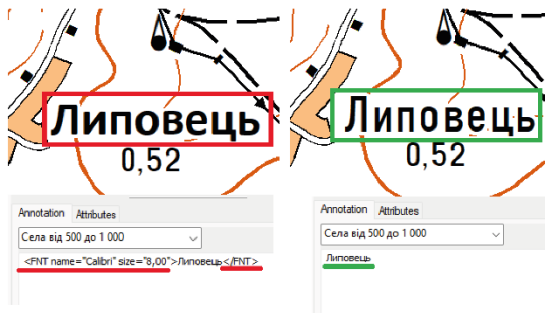


Anno_Krapka_check_FULL

Інструмент знаходить усі анотації із крапками (замість коми) у числових записах.

Як виправити: замініть крапки на коми у числах.

Пошук у **всіх** шарах анотацій **всіх масштабів**



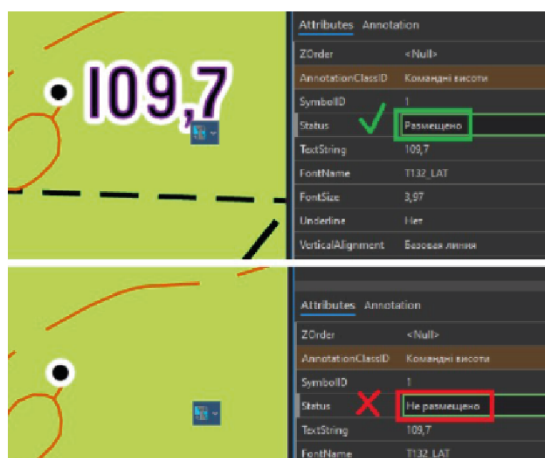
Anno_<FNT>_check_FULL

Інструмент знаходить анотації із зламаним шаблоном, тобто де у полі TextString програма помилково прописує зайві символи, такі як "<FNT....</FNT>".

Корисно використовувати Інструмент для аркушів, що створюються із використанням програмного продукту ArcMap.

Як виправити: приберіть зайві символи у TextString, аби у полі залишилась лише текст анотації, яка буде підписана на карті.

Пошук у **всіх** шарах анотацій **всіх масштабів**



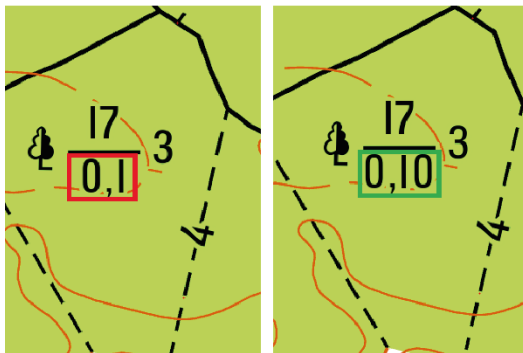
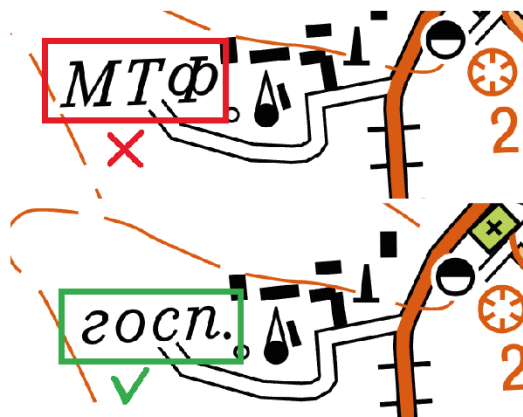
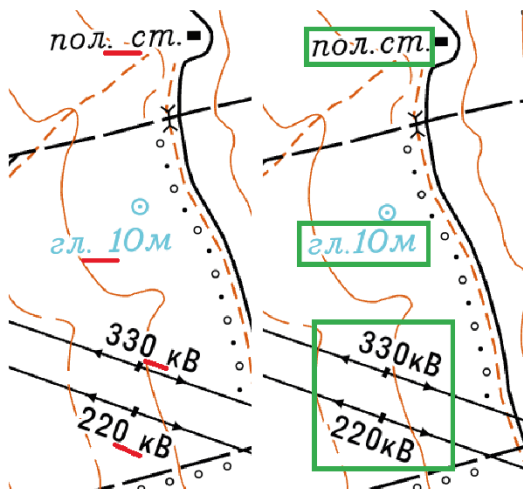
Anno_Status_check_FULL

Інструмент знаходить усі анотації, які мають Статус "Нерозміщені".

Як виправити: приберіть такі анотації, якщо вони не будуть подані на аркуші, або змініть статус на "Розміщений", аби анотація стала видимою.

Пошук у **всіх** шарах анотацій **всіх масштабів**

Інструменти аналізу анотацій



Anno_Probil_check_FULL

Інструмент знаходить усі анотації із пробілами.

Інструмент знайде навіть пробіли, що були випадково додані після слова, наприклад "госп. _", де _ - це пробіл.

Як виправити: приберіть пробіли у скороченнях, а також у підписах, де їх не повинно бути.

Пошук у всіх шарах анотацій всіх масштабів

Anno_MTF-PTF-CTF_check_FULL

Інструмент знаходить усі анотації МТФ, СТФ, ПТФ, ВТФ. Навіть якщо анотація буде не у 52point_Анно (де вона в ідеалі мала би бути), Інструмент все одно її знайде.

Як виправити: замініть ці скорочення на "госп.". Спрощення скорочень різних товарних ферм (свино-, птахо-, вівце-, молоко-...) стосується усього масштабного ряду карт.

Пошук у всіх шарах анотацій всіх масштабів

Forest_anno_check_FULL

Інструмент призначений для пошуку помилок у дробових характеристиках лісу. Значення у знаменнику обов'язково має бути написано із сотими, наприклад: 0,20 0,31 0,45 тощо.

Як виправити: виправити значення, або замінити крапку на кому, якщо помилково число було записано через крапку.

Пошук тільки у T71_regionАнно для всіх масштабів

Population_anno_check_FULL

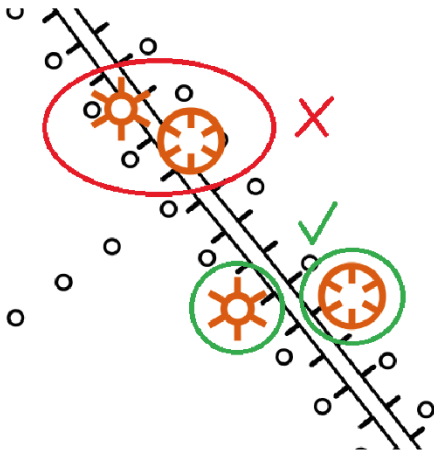
Інструмент знаходить помилки у анотаціях кількості жителів.

Залежно від того, у яку градацію (менше 1000, від 1000 до 100 000, понад 100 000 жителів) потрапляє значення, число може бути округлене до сотих, десятих чи записано цілим числом.

Як виправити: у помилках буде вказано, як має бути округлене число.

Пошук тільки у T41_regionАнно
для 1:50 000 та 1:100 000

Інструменти для пошуку топологічної неузгодженості об'єктів (рельєф)



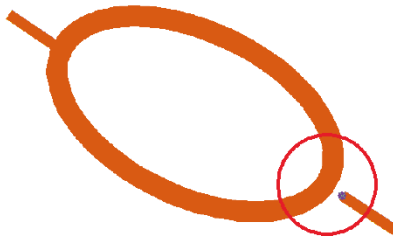
23point_with_62-42-32-33line_FULL

Інструмент знаходить місця, де точкові ями, кургани чи горби (23_point) знаходяться на чи поруч доріг/проїздів.

Аналогічна ситуація із узгодженням 23_point із річками та каналами: точкові об'єкти зміщуються відносно лінійних.

Як виправити: рекомендується узгоджувати ці об'єкти між собою, тобто змістити точковий об'єкт відносно дороги задля досягнення кращої читаності ситуації.

Для **всіх** масштабів



Bsh_check_FULL

Інструмент B/sh_check_50k знаходить усі місця, де бергштрих знаходиться на лінії горизонталі.

Як виправити: усі помилки, що знайде Інструмент, потребують ручного коригування б/ш відносно горизонталі. Для вирішення цього, необхідно посадити б/ш на лінію горизонталі, або прибрати його, якщо він був доданий випадково.

Для **всіх** масштабів

Для 1:50 000 (переріз 10 м)

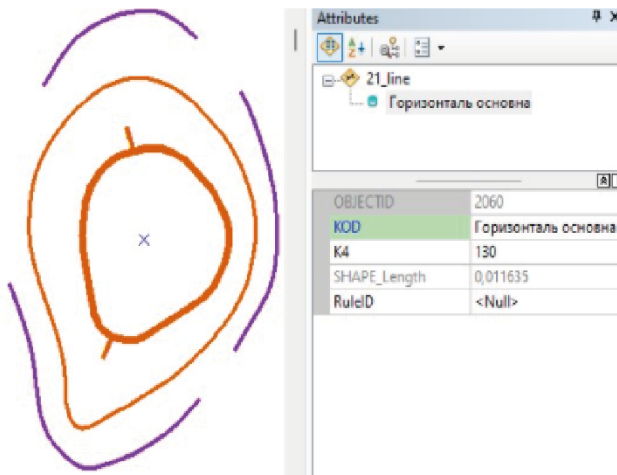
— основна потовщена —	50 150 200 310
— основна —	30 100 110 140
— додаткова —	25 125 138 255
— допоміжна —	2,5 15 17,5 27,5

Horizontal_MAIN_check

Інструмент аналізує абсолютну висоту та значення поля Об'єкт. Якщо значення абсолютної висоти не узгоджується з об'єктом, то Інструмент запише такий випадок як помилку.

Як виправити: проаналізуйте, що у такої горизонталі завказано не правильно: абсолютна висота чи об'єкт.

Для **всіх** масштабів



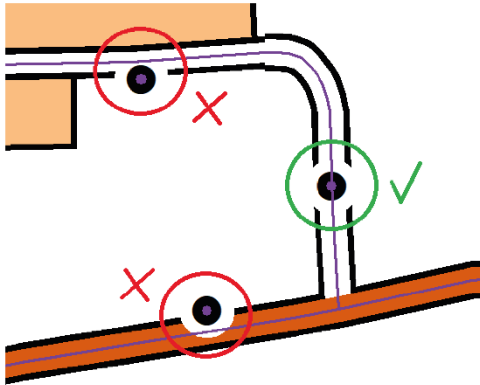
Horizontal_multipart_check_FULL

Інструмент знаходить мультиоб'єкти у шарі 21_line. Multipart feature - це багатоконпонентний об'єкт, що складається з кількох частин, які мають спільні атрибути. Геометрично, такі об'єкти не є суцільними простими об'єктами.

Як виправити: перевести мультиоб'єкти у окремі лінійні об'єкти. Використати інструмент Explode Multipart Feature (на панелі Advanced Editing), якщо такі об'єкти дійсно не мають спільних точок і можуть співіснувати окремо, перевірити стики таких об'єктів.

Для **всіх** масштабів

Інструменти для пошуку топологічної неузгодженості об'єктів (точкові об'єкти)



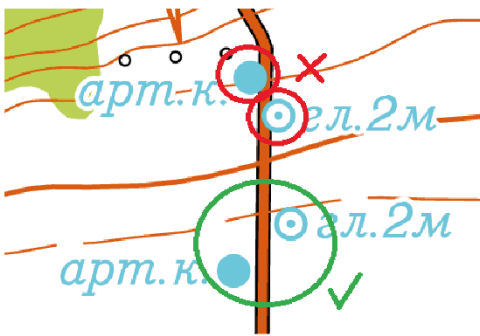
Poznachki_elev_check_FULL

Інструмент вказує місця, де позначка висот знаходиться дуже близько до дороги/проїзду. У таких випадках рекомендується давати позначку висот чітко на векторі дороги/проїзду, а не збоку.

Стосується тільки позначок висот, а не пунктів дгм, нівелірної та знімальної мережі.

Як виправити: у місці, де Інструмент виявив помилку, варто перевірити місцезнаходження позначки висот: відсуньте і поставте точку назад чітко на перетин із дорогою/проїздом.

Для масштабів **1:50 000 та 1:100 000**



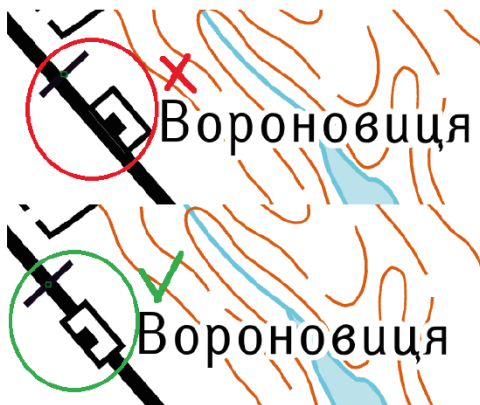
34point_with_62-42-32-33line_FULL

Інструмент знаходить місця, де точкові колодязі, артезіанські свердловини, устатковані джерела (34_point) знаходяться на чи поруч доріг, проїздів, річок, каналів.

Як виправити: рекомендується узгоджувати ці об'єкти між собою, тобто змістити точковий об'єкт відносно доріг, проїздів, річок чи каналів задля досягнення кращої читаності ситуації.

Якщо на колодязі знаходиться позначка висот, то вона зміщується разом із колодязем, але додатково повинна ще узгоджуватися із горизонталями.

Для **всіх** масштабів



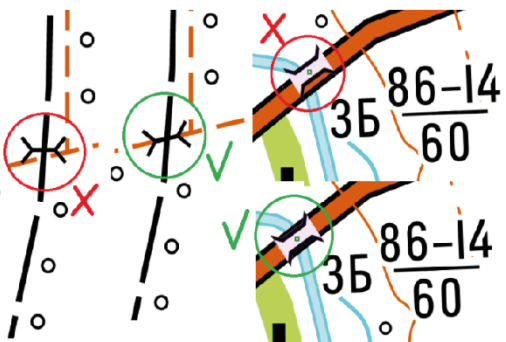
64point_lost_check та 64point+track_check

Інструмент знаходить колійність та об'єкти шару 64 point, що були залишені («загублені») після видалення лінії залізниці.

Інструмент знаходить колійність та об'єкти шару 64 point, що не узгоджені із лінією залізниці.

Як виправити: такі об'єкти варто розміщувати чітко на b1 line, особливо це стосується станцій, зуп.п., рзд, платформ, які часто помилково чи випадково наносять поруч із залізницею.

Для **всіх** масштабів



65point_check

Інструмент призначений для пошуку помилок в узгодженні точкових мостів/труб із лінійними об'єктами, на яких вони знаходяться: дорогами, проїздами, залізницями річками, каналами і промоїнами.

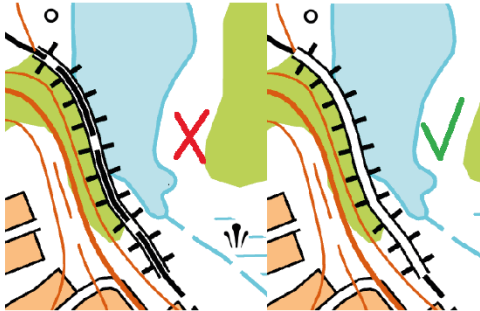
Випадки, де вказано неправильне місцезнаходження мосту, наприклад "міст на вулиці" поданий "мостом на автомобільній дорозі" також фіксуються як помилки. Інструмент знаходить усі місця, де дорога/вулиця вирізана під умовним знаком мосту ("міст висить у повітрі").

Як виправити: чітко посадити 65 point на лінійний об'єкт (або виправити вектор дороги/проїзду).

Ще один варіант - змінити атрибути, де вони не правильні.

Для **всіх** масштабів

Інструменти для пошуку топологічної неузгодженості об'єктів (лінійні об'єкти)

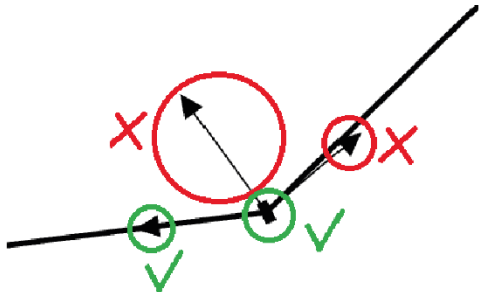


35line_dams_aboveground

Інструмент знаходить дамби двосторонні проїжджі, у яких незачповнені атрибути. Це характерно тільки для карт масштабу 1:50 000.

Як виправити: якщо дамба проїжджа знаходиться на дорозі/проїзді, то необхідно, щоб у полі "Характер розташування об'єкта відносно земної (водної) поверхні" було вказано "наземний". У такому випадку дамба буде коректно відображена при експорті аркуша .pdf.

Тільки для масштабу **1:50 000**

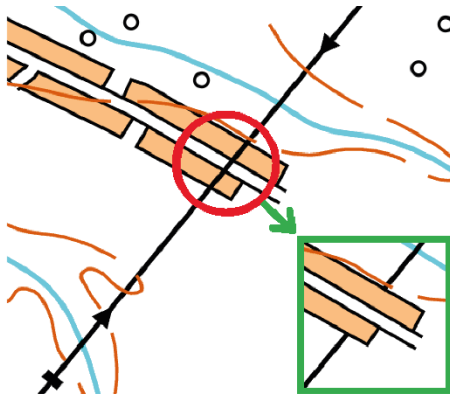


51line_arrows_check

Інструмент аналізує якість нанесення опор та стрілок на лініях ЛЕП. Усі неточності Інструмент запише як помилки. Окрім цього, Інструмент знаходить "загублені" опори чи стрілки, що залишилися після видалення лінії ЛЕП.

Як виправити: для виправлення помилок скористайтесь вбудованим інструментом Align to Shape, або чітко нанесіть опори та стрілки повторно.

Для **всіх** масштабів

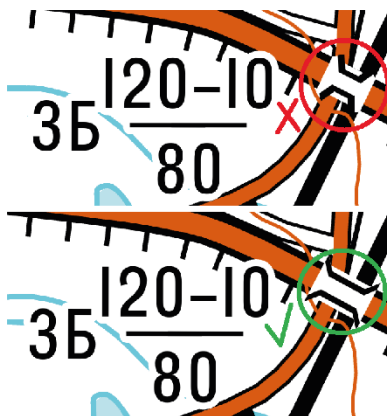


51line_on_42reg_check_FULL

Інструмент вказує випадки, де трубопроводи та лінії ЛЕП накладаються на квартали населених пунктів.

Як виправити: за правилами, у таких випадках об'єкти із 51 line прочищаються.

Для **всіх** масштабів



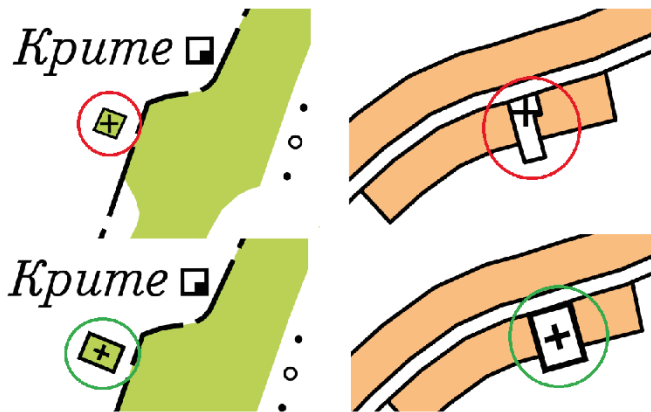
65line_length_check

Інструмент знаходить короткі лінійні мости, шляхопроводи, тунелі, які варто подавати не лінійними, а точковими умовними позначеннями. Це робиться для підвищення читабельності картографічного зображення.

Як виправити: замінити лінійний міст на точковий. Врахуйте, що у точковий необхідно перенести атрибутивні дані (за наявності їх у лінійного мосту).

Для **всіх** масштабів

Інструменти для пошуку топологічної неузгодженості об'єктів (полігональні об'єкти)

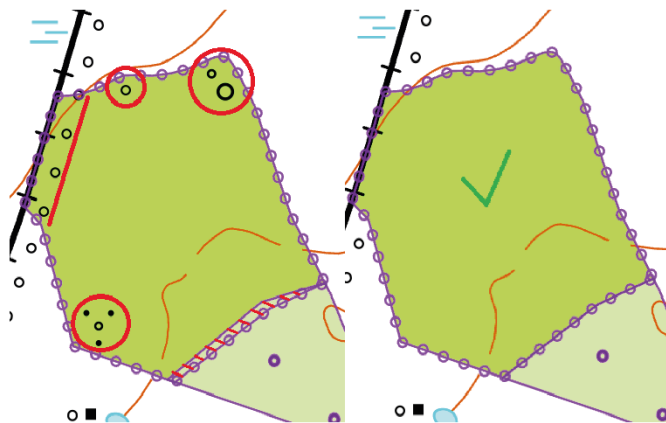


Cemetery_Area_check

Інструмент знаходить полігональні кладовища, що за площею настільки дрібні, що їх варто подавати не полігональним, а точковим умовним позначенням. Це робиться для підвищення читабельності картографічного зображення.

Як виправити: замінюючи кладовище на точкове, враховуйте атрибути (з рослинністю чи без). А знімаючи полігональне кладовище варто прибрати і точковий "хрест" перед додаванням точкового уз.

Для **всіх** масштабів



Forest_clean_check_FULL

Інструмент призначений для пошуку некоректного поєднання різних об'єктів із полігоном лісу.

Помилками Інструмент запише усі випадки, де лісополоси із 71 line та точкові об'єкти із 71 point накладаються на лісові масиви. Окрім цього перевіряється поєднання із полігонами 73 region та власне між об'єктами 71 region, аби виключити абсурдні випадки поєднання таких об'єктів.

Як виправити: прибери́ть відповідні точкові та лінійні об'єкти, які не мають бути на площі лісу; підкорегуйте контур полігональних об'єктів, щоб уникнути накладання.

Для **всіх** масштабів



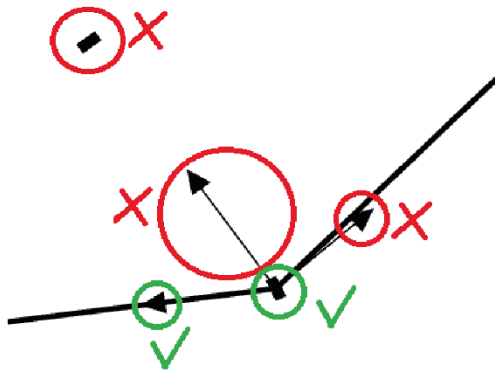
Boloto+gidro_check

Інструмент призначений для пошуку неузгодження болота та солончаків із гідрографією (точкові, лінійні, полігональні об'єкти). Зважаючи, що мінімальна відстань (візуально між уз.) повинна бути не менше 10 м, Інструмент окреслить усі випадки неузгодження цих об'єктів між собою.

Як виправити: прибери́ть частину заболоченості із гідрографії. Відстань для трасування зі зміщенням для річок/каналів у 2 лінії становить 25 м, а у одну лінію - 20 м. Від берегової лінії полігональних гідрооб'єктів - 20 м. Зважайте на ці значення при укладанні заболочених територій чи солончаків з гідрографією.

Для **всіх** масштабів

Інструменти для автоматизованого виправлення ряду помилок



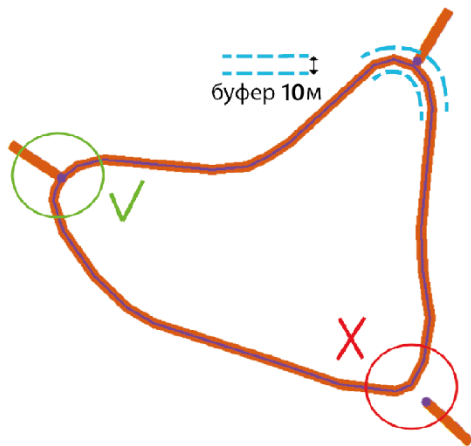
51line_arrows_snap+check

Інструмент аналізує якість нанесення опор та стрілок на лініях ЛЕП. Усі неточності Інструмент запише як помилки. Окрім цього, Інструмент знаходить "загублені" опори чи стрілки, що залишились після видалення лінії ЛЕП.

Інструмент запрограмований "посадити" опори, що на невеличкій відстані зміщені від лінії ЛЕП. Це стосується тільки опор ЛЕП, стрілки варто коригувати вручну.

Як виправити: все, що буде винесено у шар помилок (навіть після снєпінгу до лінії в межах буферу) варто відкоригувати самостійно. Скористайтесь вбудованим інструментом Align to Shape, або чітко нанесіть опори та стрілки повторно.

Для **всіх** масштабів



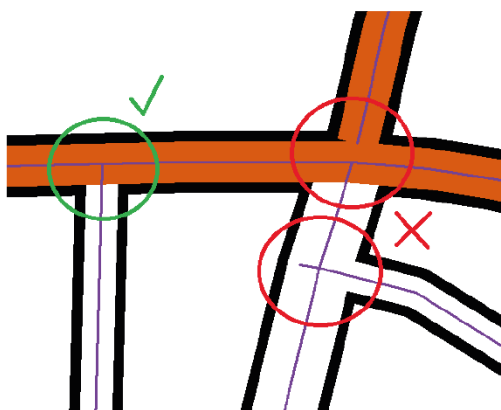
Bsh_check+snap

Інструмент B/sh_check+snap_50k знаходить усі місця, де бергштрих знаходиться на лінії горизонталі.

У межах буферу 10 м усі бергштрихи будуть автоматично посаджені на вершину чи кінець горизонталі, а ті, що знаходяться поза буфером винесені у шар помилок.

Як виправити: усі помилки, що знайде Інструмент, потребують ручного коригування б/ш відносно горизонталі. Для вирішення цього, необхідно посадити б/ш на лінію горизонталі або прибрати його, якщо він був доданий випадково.

Для **всіх** масштабів



Repair_42_62_line

Поеднання інструментів Extend, Trim та Span Tools для коригування вектора 42 та 62 line.

Інструмент автоматично виправить некоректне поєднання геометрії між всіма типами доріг і проїздів у кожному шарі, а також між шарами оркемо.

Для **всіх** масштабів