

«Обробка даних аерокосмічних спостережень»

Змістовий модуль 1. Принципи повітряно-космічних спостережень

Тема 1. Орбітальний рух космічних апаратів спостереження

Практичне заняття №2 Оцінювання можливостей знімання заданих ланок.

Мета: Закріпити вміння роботи з програмою моделювання руху КА Orbitron та навчитись оцінювати з його допомогою можливість виконання задачі космічних спостережень заданої ланки Землі.

Вимоги до забезпечення виконання роботи:

Персональний комп'ютер з операційною системою Windows XP і новіше. Інтернет з'єднання не гірше за 3G.

Для **оформлення результатів виконання роботи (звітної карти з нанесеним районом знімання)**

- 1) у простішому випадку можна наносити положення точок та ліній в Google Maps / Google Earth згідно наведеної у додатку до цього тексту методики;
- 2) ви також можете за бажанням використовувати будь-яку ГІС (ArcGIS, QGIS) або цифрову карту, якою Ви вмієте користуватися. (+2 бали за активність).

За **звіт по роботі** здається підписаний прізвищем виконавця скриншот карти, яка показує підсупутникові точки на час начала і кінця знімання та прямокутник розрахованого району знімання. Приклад у додатку.

Підготовка до роботи

Напередодні роботи завершити виконання завдань попереднього практичного заняття.

Перед початком виконання практичних завдань уважно прочитайте теоретичний матеріал щодо методики розрахунків.

Теоретичний матеріал щодо методики розрахунків

На наш час існує багато комп'ютерних програм для проведення балістичних розрахунків КА з можливістю прогнозування положення КА відносно точок на земній поверхні: WinOrbit, Orbitron, VxTrack та інші. Для роботи цих програм потрібно задати параметри орбіти КА шляхом вводу двохрядкових TLE – елементів, задати поточний місцевий час і епоху та положення точки земної поверхні. Програми можуть проводити покрокові розрахунки по часу, що дозволяє проводити планування знімання. До того ж ці програми розраховують кути Сонця (освітлення) на заданий час.

Оскільки в програмі Orbitron не передбачена можливість моделювання саме процесу космічних спостережень, то для планування зйомки заданого району застосуємо опосередкований підхід.

Слід зауважити, що точки на земній поверхні задаються в цих програмах не як точки району знімання, а як положення деякого радіотехнічного засобу прийому інформації з КА (Tracking Server), тому поперечний кут відхилення датчика α слід розраховувати як додатковий до кута піднесення ε (Elevation) $\alpha = 90^\circ - \varepsilon$ (рис.1).

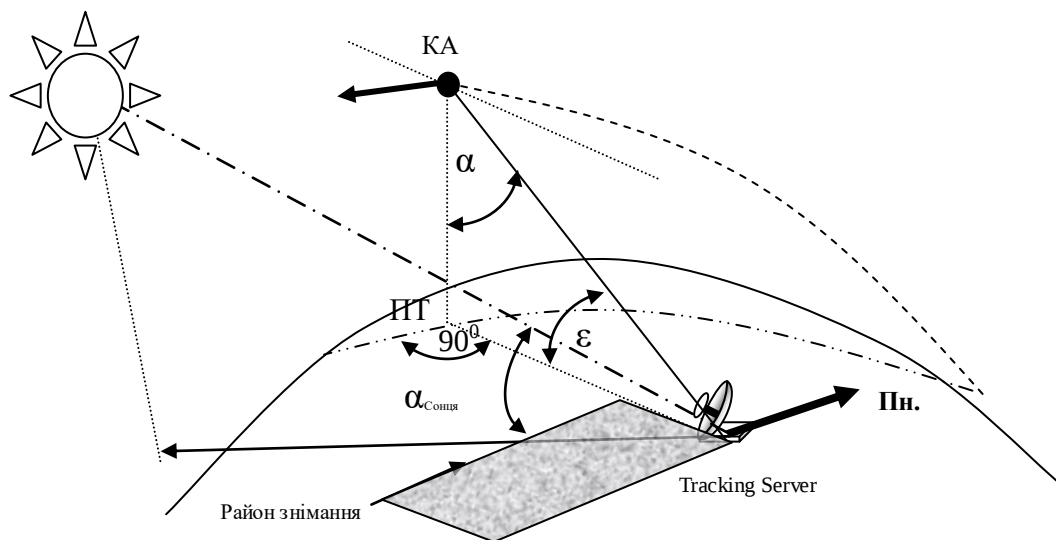


Рис.1. Геометричні особливості розрахунків підсупутникових точок в програмах

Після розрахунків географічних координат двох під супутникових точок (на момент початку та момент кінця знімання) їх положення слід зафіксувати на топографічній карті. (рис.2).

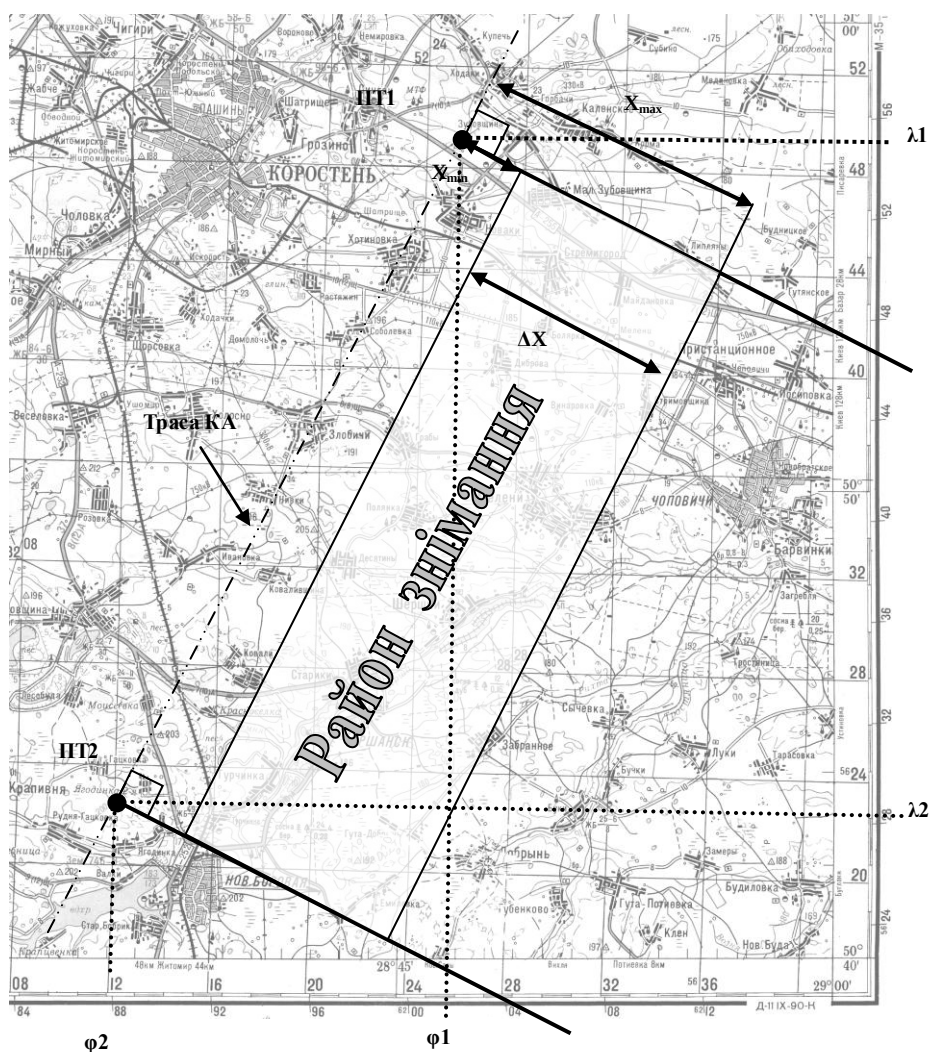


Рис.2. Визначення району знімання відносно підсупутникових точок

З'єднавши ці точки на карті прямою лінією, визначимо підсупутникову **трасу КА**.

Побудувавши з початкової і кінцевої точки центральної лінії перпендикуляри, одержимо лінії **ближньої** (до траси КА) і **дальньої** **границі** зони огляду.

Визначення **ближньої і дальньої границь** потребує розгляду особливостей одержання зображення для оптико-електронних датчиків. Геометричні умови визначення меж району знімання для оптико-електронного датчика з лінійкою фотоприймачів на ПЗЗ показані на рис.3.

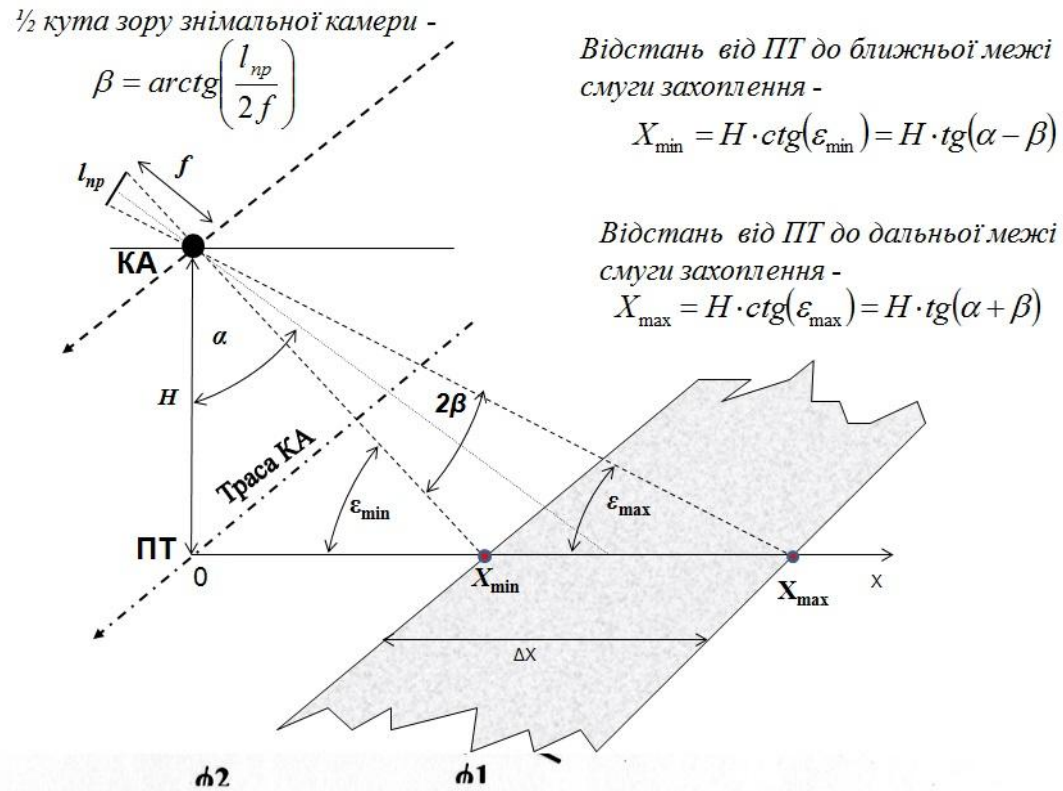


Рис.3. Визначення ближньої та дальньої меж смуги огляду оптико-електронних сканерних датчиків відносно підсупутникової точки

Оскільки для вирішення задачі ідентифікації району великої точності не потрібно, вважаємо поверхню Землі в районі знаходження КА та ланки знімання плоскою. Це припустимо тільки для відносно не великих висот КА (200-800км) та кутів відхилення оптичної вісі не більше $\pm 45^\circ$.

Вихідними даними для розрахунку є

- висота КА над земною поверхнею H ,
- кут відхилення оптичної вісі α ,
- параметри знімальної апаратури: фокусна відстань об'єктиву f , та довжина лінійки фотоприймачів l_{np} або кут полю зору датчика вздовж напрямку лінійки фотоприймачів 2β .

З початку знаходимо **кут полю зору датчика** вздовж напрямку лінійки фотоприймачів 2β по формулі

$$\beta = \arctg\left(\frac{l_{np}}{2f}\right).$$

Далі знаходимо відстань між ПТ та ближньою межею району знімання X_{min} :

$$X_{min} = H \cdot ctg(\epsilon_{min}) = H \cdot tg(\alpha - \beta)$$

де ϵ_{min} – кут піднесення КА для спостерігача, що знаходиться на лінії ближньої межі.

Наступний крок - знаходимо відстань між ПТ та дальньою межею району знімання X_{max} :

$$X_{max} = H \cdot ctg(\epsilon_{max}) = H \cdot tg(\alpha + \beta)$$

де ϵ_{max} – кут піднесення КА для спостерігача, що знаходиться на лінії дальньої межі.

Відстані і відкладаються на **перпендикулярах к трасі КА** в під супутникових точках. По краях цих відрізків проводять дальню та ближню межу району знімання (див. рис.2).

Завдання . Планування космічних спостережень за наземним об'єктом

УМОВИ

Задамо район космічного знімання - м. ЖИТОМИР.

З певною метою тематичного аналізу стану району потрібні кольорові RGB знімки видимого діапазону з просторовим розрізнення 10м не пізніше як через 3 доби від моменту початку проведення цього заняття.

Вважатимемо, що знімки будуть прийнятної якості, якщо кут нахилу знімка менший за 45° (тобто коли візирна вісь оптико-електронної апаратури спостереження (сенсора) відхилена від надира в межах $\alpha \leq \pm 45^\circ$). Контрастність знімків буде достатньою, якщо місцевість буде освітлюватися Сонцем з кутової висоти над обрієм від 15° до 50° .

Актуальні знімки заданої якості у вільному доступі можна отримати з ресурсів Інтернет, що працюють за програмою COPERNICUS Європейського космічного агентства, які публікують в реальному часі актуальні знімки з КА серії SENTINEL-2А та -2Б.

Довідково

Copernicus: Sentinel-2



<https://www.eoportal.org/satellite-missions/copernicus-sentinel-2#eop-quick-facts-section>

Для забезпечення високої доступності даних створене угруповання з двох оперативних супутників, що дозволить досягти 5-денного геометричного часу повторного відвідування. Час повторного відвідування лише з одним робочим супутником становить 10 днів.

- Sentinel-2A(-2Б) забезпечує безперервність даних для послуг, ініційованих в рамках проектів GSE (GMES Service Element). Він є ключовим європейським джерелом даних для служб швидкого моніторингу земельних ділянок GMES та сприятиме наданню послуг GMES Risk Fast Track Services.
- Часті перегляди та високі готовності місії передбачають одночасне перебування на орбіті 2 супутників, кожен з яких має смугу захоплення шириною 290 км за допомогою одного інструменту для отримання зображень
- Безперервне картографування землі + островів в діапазоні широт від -56° до $+83^\circ$ (обрана орбіта не враховує знімки з Антарктиди)
- Просторова роздільна здатність 10 м, 20 м і 60 м (у спектральному діапазоні від VNIR до SWIR) для виявлення просторових деталей, що відповідають 1 га MMU (мінімальна одиниця картографування)
- Точна геолокація (< 20 м) даних (без GCP) і створюється автоматично для дотримання вимог своєчасності. Необхідна точність геолокації даних знімків рівня 1b w.r.t. WGS-84 (Всесвітня геодезична система - 1984) еталонного еліпсоїда Землі більше 20 м при довірчому рівні 2σ без необхідності використання будь-яких наземних контрольних точок.
- Дуже хороша якість радіометричного зображення (комбінація бортового абсолютного та наземного вікарного калібрування)

MSI (мультиспектральний тепловізор) – це прилад, який використовує концепцію спостереження пересувним рядком. Його телескоп має конструкцію TMA (Three Mirror Anastigmat) з діаметром зіниці 150 мм, що забезпечує високу якість зображення на широкому полі зору. Ширина смуги становить 290 км. Телескоп і дзеркала виготовлені з карбіду кремнію (SiC), що зменшує термпружні деформації. Фокальна площина VNIR використовує монолітні детектори CMOS, а фокальна площина SWIR заснована на детекторі MCT (телурид ртутного кадмію), гібридизованому з CMOS. Дихроїчний розділювач променя забезпечує спектральне розділення між каналами VNIR і SWIR.

ЗАВДАННЯ

Для формування відповідного **запиту** до ресурсу потрібно **розрахувати**

- можливі дату час знімання заданого району (**м. ЖИТОМИР**),
- конкретизувати назву (або номер) КА з серії **SENTINEL-2A (-2B)**,
- визначити очікувані параметри знімку: **кут нахилу знімка** та **кутову висоту Сонця** на момент знімання.

ПОРЯДОК РОБОТИ

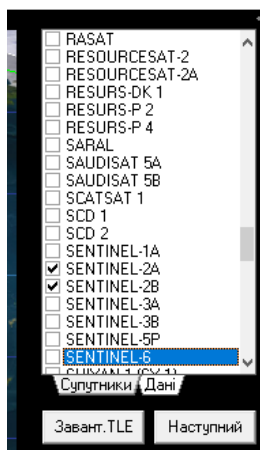
Запустити Orbitron. В нижньої панелі налаштувати параметри програми як робили у попередньої практичні роботи (ОДАКС Пр1) та встановити параметри поточного часу **UTC**, **Симуляція**

Завантажити параметри орбіт КА з яких бажано отримати знімки заданого району (КА серії **SENTINEL-2A** та **-2B**).

На правій панелі натиснути клавішу **Супутники**, у правому вікні відкриється відповідне вікно. Натиснути клавішу **Завантаження TLE**.

З'явиться вікно **Відкрити** з папкою **TLE**. Перейти вгору, знайти файл **resource.txt** і клікнути кнопку **Відкрити**.

У правому вікні з'являться КА дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Позначте для аналізу тільки КА типу **SENTINEL- 2A(-2B)**.



Ознайомитись з параметрами та поточним положенням вибраних КА у головному вікні (карті) та правому (закладка **Дані**) вікні Orbitron.

Відповісти на наступні питання.

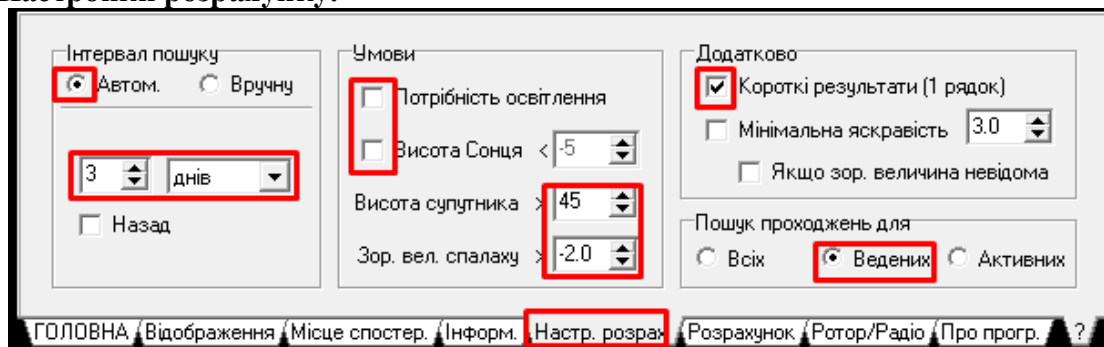
- Який тип орбіти у цих КА?
- Яке нахилення орбіти?
- Яка середня висота орбіти ?

Відповіді надати у звіті.

Задати як Об'єкт спостереження місто **Житомир** (закладка **Місце спостереження**). Ця процедура була розглянута в попередньому практичному занятті дисципліни.

Для розрахунку моментів контактів вибраних КА з районом спостереження необхідно скористатись функціями **Налаштування розрахунку** та **Розрахунок** на панелі закладок у нижньому вікні.

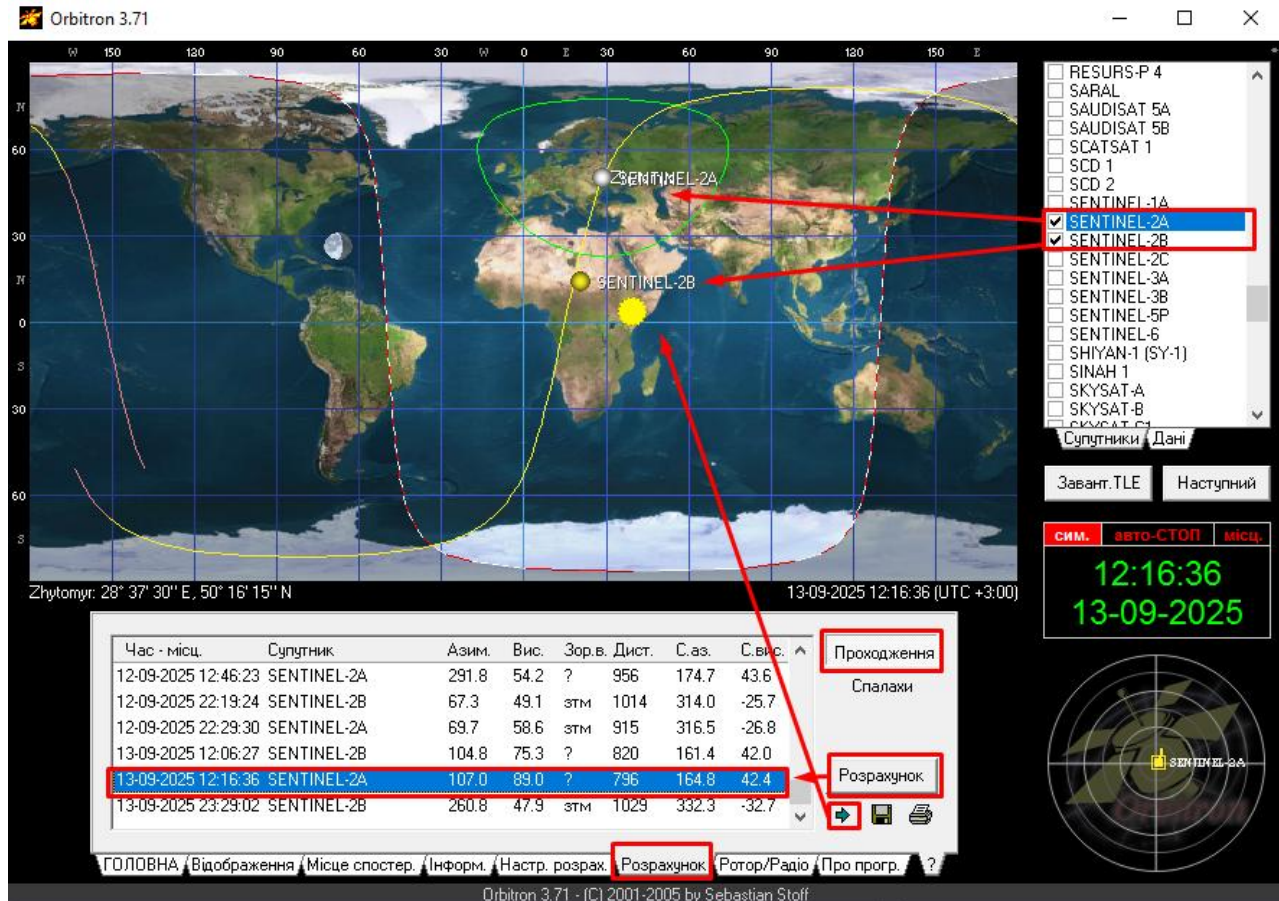
Закладка **Налаштування розрахунку**:



- а) на панелі **Інтервал пошуку** задати тривалість інтервалу пошуку **3 дні** (добі) в автоматичному режимі (**Автом.**), вперед (або за необхідності назад);
- б) на панелі **Умови** зняти опції **Потрібна освітл.** і **Висота Сонця**;
- в) задати мінімальний кут місця (висоту) супутника $\varepsilon = \varepsilon_{\min} = 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$;
- г) опцію **Зор. величина спалаху** встановити менше **-2.0** (щоб не впливала);
- д) на панелі **Додатково** задати вивід результатів в 1 рядок;
- е) на панелі **Пошук проходжень** для вибрати категорію супутників, наприклад, **Ведених**.

Закладка **Розрахунок**:

- а) вибрати режим **Проходження** і натиснути **Розрахунок**; Після завершення натиснути **ОК**.



Проаналізувати розклад виходів вибраних КА на контакт з цільовим районом знімання (коли район знімання потрапляє в смугу захоплення КА).

Кращі сеанси знімання ті, коли

- кутова висота напрямку на КА з точки спостереження (Вис.) більша (ближче до зеніту); викривлення за перспективу на знімку будуть менші, а контрастність знімку краще;
- Сонце над горизонтом ($15^\circ > \text{С.вис.} < 50^\circ$) – кращі умови освітлення для отримання контрастних знімків.

- б) видати команду **Перехід до вибраної події** . (Або двічі клацнути ЛКМ на обраному рядку)
На карті відобразиться ситуація на вибраний зі списку час.

Перейти а нижньої панелі на закладку **Головна** та стрілкою пересунути час контакту на 2 секунди назад. Це моделює початок смуги знімання завчасно, що починається приблизно на 16 км раніше за вихід на район. Цього достатньо, щоб північна межа ланки знімання не перерізала район.

Перемкнути праву панель у режим **Дані** та записати широту і довготу першої підсупутникової точки (на момент включення апаратури знімання), поточну висоту КА над Землею H_1 та кутову висоту КА для спостерігача (кут піднесення) ε_1 .

Занотовувати це краще в **Блокноті Windows**.

Якщо виділити лівою кнопкою миші (ЛКМ) рядок з поточним значенням параметра Довгота (або Широта, Висота,...) на панелі даних, потім клацнути правою кнопкою миші (ПКМ), тоді з'явиться можливість скопіювати значення в буфер обміну для подальшого його вставлення у **Блокноті Windows**.

Перейти на закладку **Головна** та стрілкою пересунути час контакту на 4 секунди уперед. Це моделює кінець смуги знімання, яка закінчується приблизно через 32 км від верхньої (північної) межі. Тобто довжина ланки знімання буде приблизно 32 км, що цілком достатньо, щоб «накрити» велике місто.

Перемкнути праву панель у режим **Дані** та записати широту і довготу першої підсупутникової точки (на момент включення апаратури знімання), поточну висоту КА над Землею H_2 та кутову висоту КА для спостерігача (кут піднесення) ε_2 .

Поточна та кутова висоти КА та для колової орбіти майже не відрізняються від попередніх значень. Тому для розрахунків можна брати перші значення: $H = H_1 \approx H_2$ та $\varepsilon_1 = \varepsilon_1 \approx \varepsilon_2$.

Після розрахунків географічних координат двох під супутникових точок (на момент початку та момент кінця знімання) їх положення слід зафіксувати на топографічній карті.

Ви можете використовувати будь-яку карту (паперову, цифрову, ГІС), але у простішому випадку можна наносити положення та ліній в Google Maps / Google Earth до наведеної у додатку до цього тексту методики.

Розрахуйте поперечний кут відхилення датчика α як додатковий до кутової висоти КА : $\alpha = 90^\circ - \varepsilon$.

В цієї роботі кут полю зору датчика вздовж напрямку лінійки фотоприймачів 2β для даної знімальної апаратури (MSI) вважатиме $\beta = \arctg(L/2H_{KA}) = \arctg(290\text{км}/1600\text{км}) \approx 10,3^\circ$.

Далі знаходимо відстань між ПТ та ближньою межею району знімання $X_{\min}$:

$$X_{\min} = H \cdot \text{ctg}(\varepsilon_{\min}) = H \cdot \text{tg}(\alpha - \beta),$$

де $\varepsilon_{\min}$ – кут піднесення КА для спостерігача, що знаходиться на лінії ближньої межі.

Наступний крок - знаходимо відстань між ПТ та дальньою межею району знімання $X_{\max}$:

$$X_{\max} = H \cdot \text{ctg}(\varepsilon_{\max}) = H \cdot \text{tg}(\alpha + \beta),$$

де $\varepsilon_{\max}$ – кут піднесення КА для спостерігача, що знаходиться на лінії дальньої межі.

Відстані і відкладаються на перпендикулярах к трасі КА в підсупутникових точках. По краях цих відрізків проводять дальню та ближню межу району знімання (див. рис.2).

Звіт оформити в Word за зразком:

Обробка даних аерокосмічних спостережень

Змістовий модуль 1. Принципи аерокосмічних спостережень

Тема 1. Орбітальний рух космічних апаратів спостереження

Практичне заняття №2 Оцінювання можливостей знімання заданих ланок.

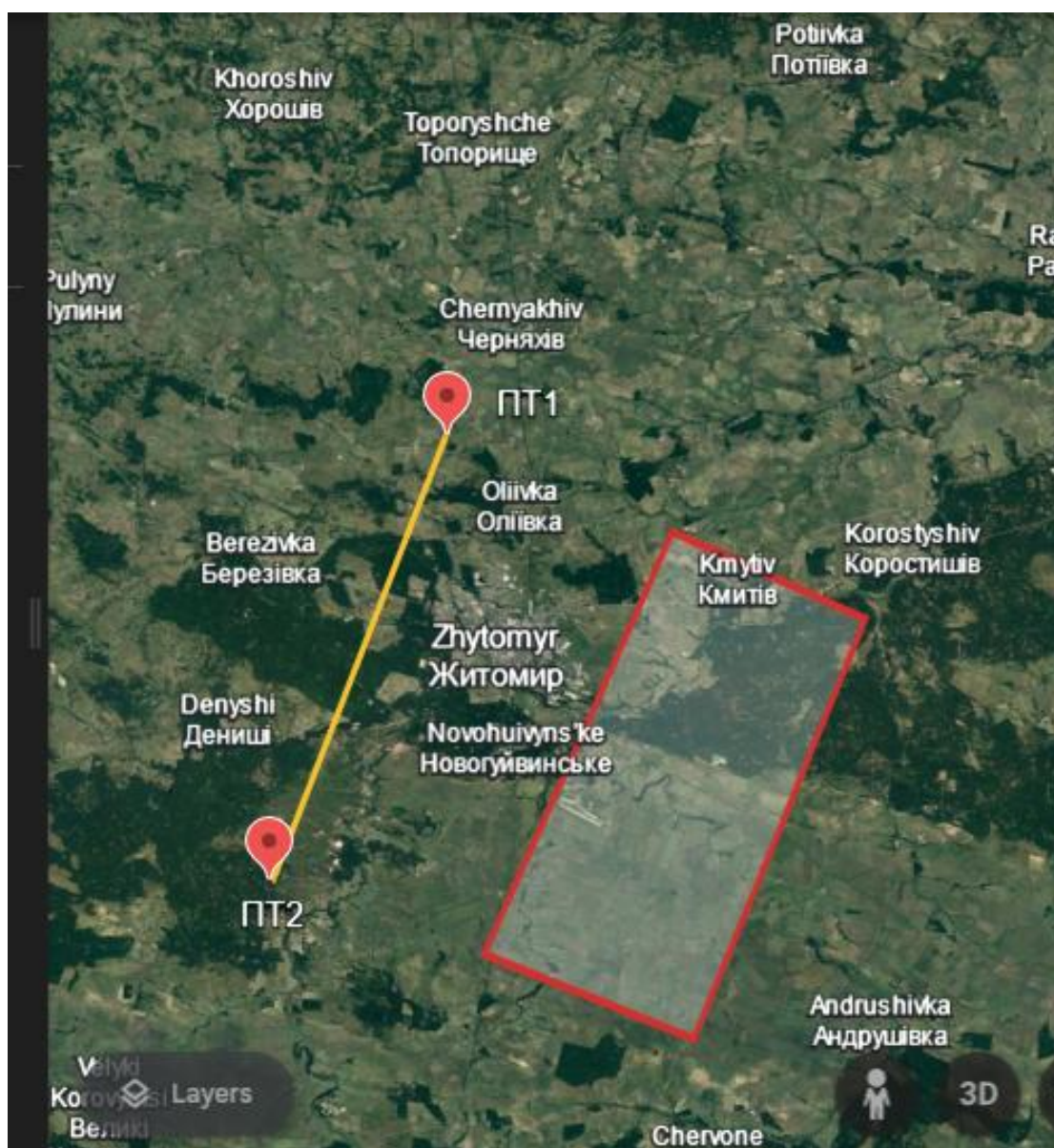
ЗВІТ

Район знімання з КА NOAA-18 на 11:03:56 4.10.2023 м. Новогуївинське

Орбіта КА NOAA-18 – колова, $H_{КА} = 850 \text{ км}$, $i = 98^\circ$,

Підсупутникова точка початку знімання: $50^\circ 21' 19'' \text{ N}$; $28^\circ 32' 05'' \text{ E}$

Підсупутникова точка кінця знімання: $50^\circ 07' 01'' \text{ N}$; $28^\circ 26' 45'' \text{ E}$



Виконав
3.10.2023

Т. Потибенько

ДОДАТОК

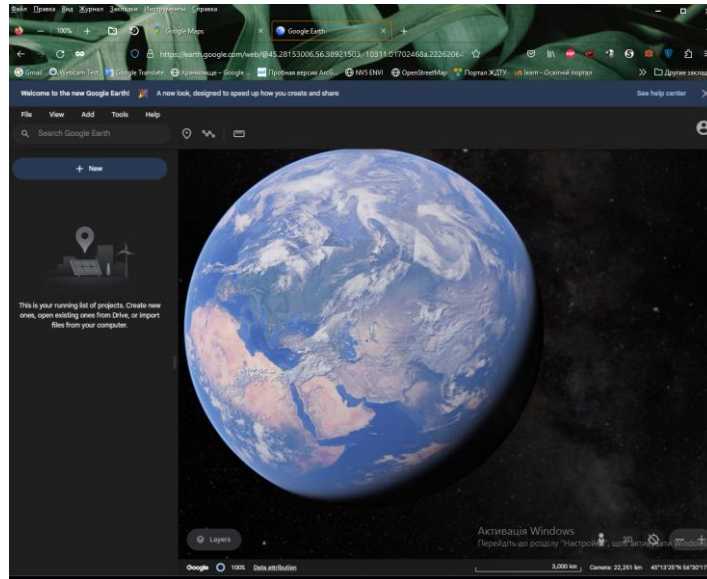
Методика нанесення положення точок та ліній в Google Maps / Google Earth

Підключитесь до Інтернету та включите браузер.

Наносити позначки в Google Maps не дозволяється, тому запустить **Google Earth**:

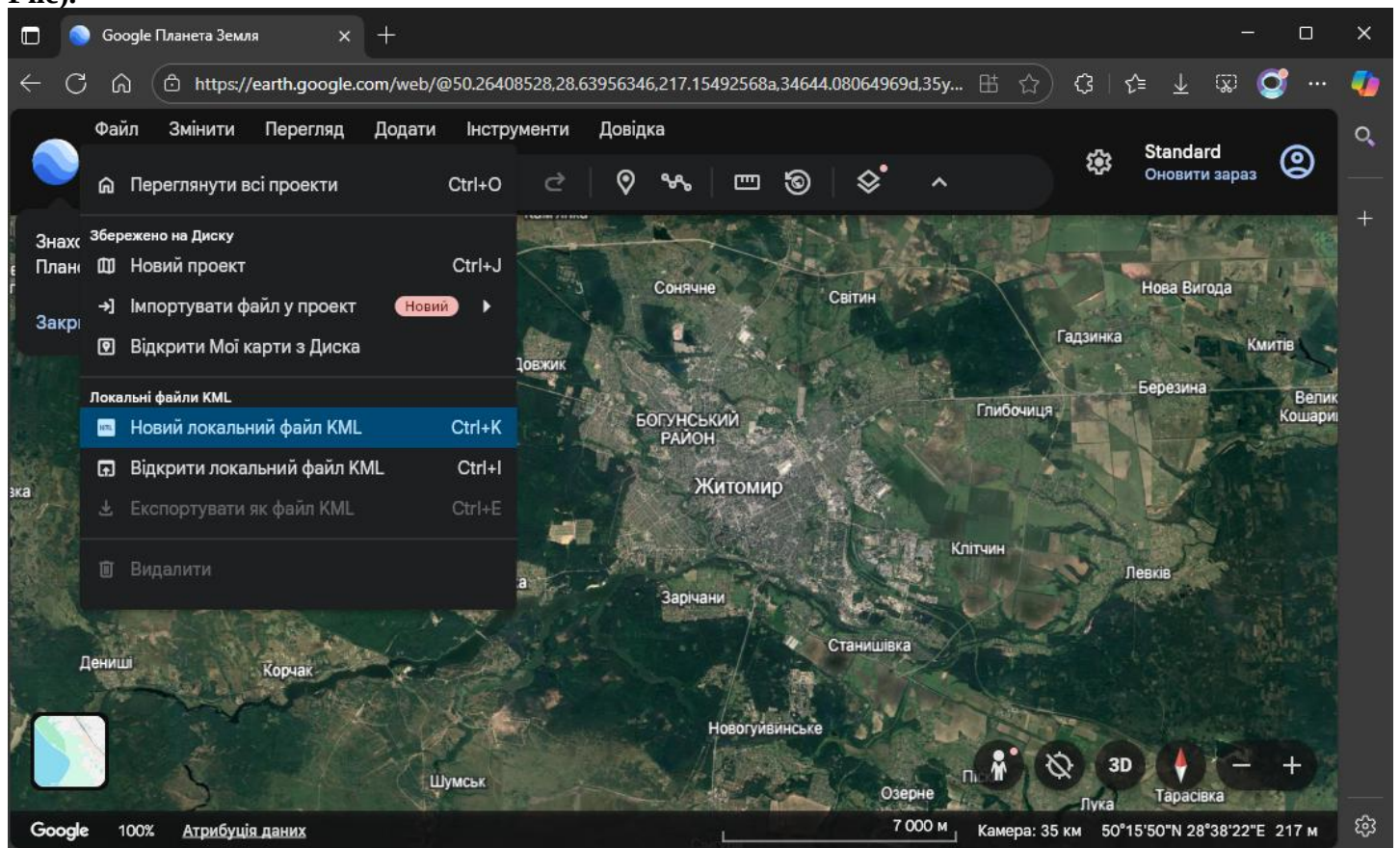
в рядку пошуку браузера наберіть <https://earth.google.com/>.

З'явиться глобус, який можна повертати затицанням лівої кнопки (ЛК) та пересуванням миші. Наближення здійснюється колесцатком миші.



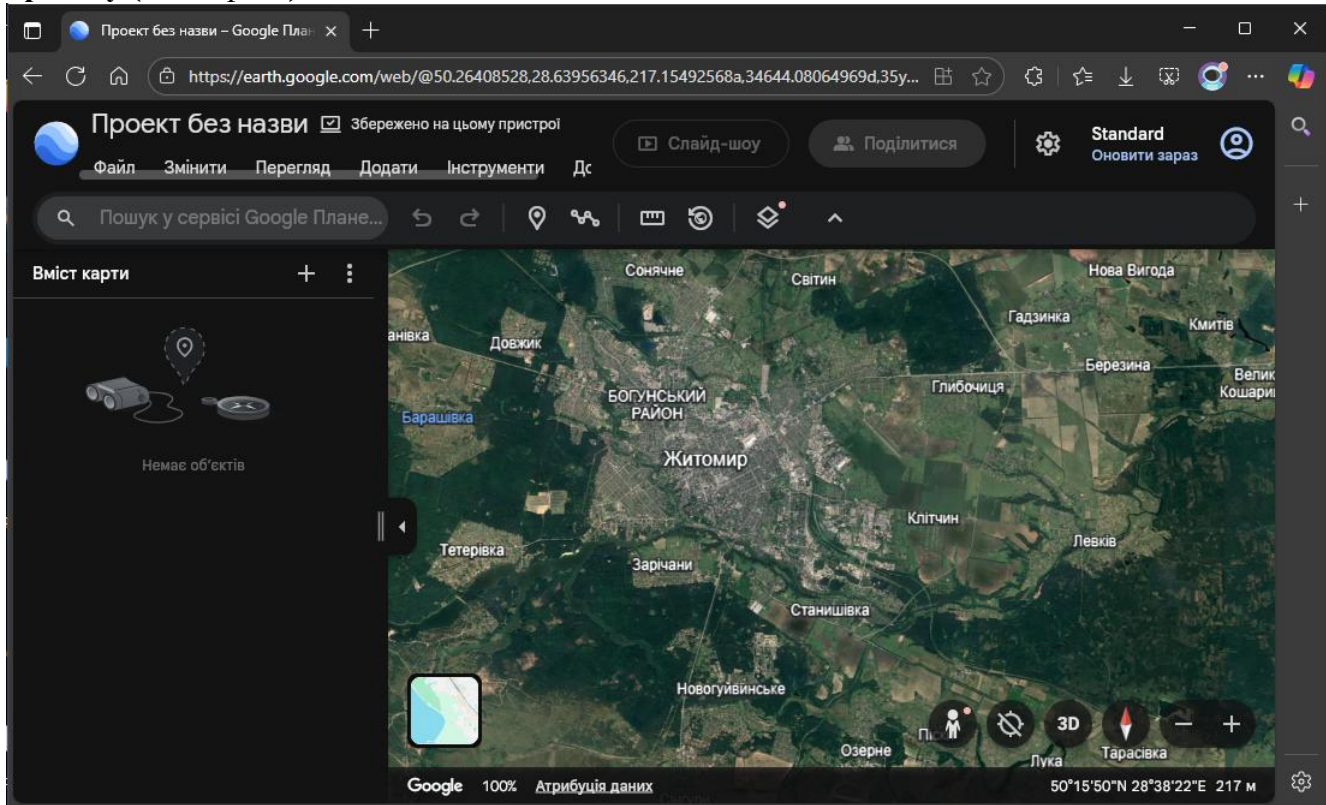
Наблизитися до району, що потрібно знімати (Житомир і область).

В меню **Файл (File)** вікна **Google Earth** виберіть **Новий локальний файл KML (New Local KML File)**.



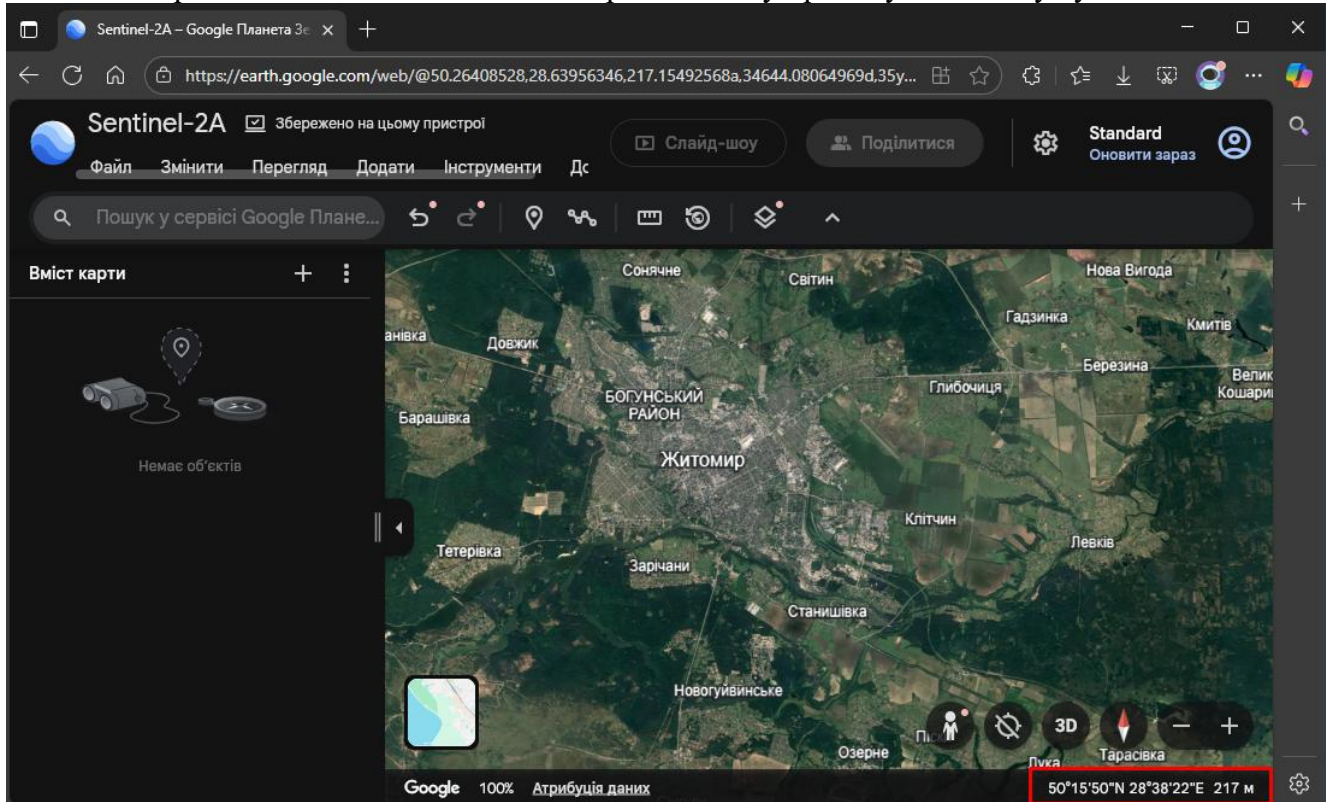
Ліворуч з'явиться порожня бічна панель з шаром.

Клацнувши на три крапки  можна визвати меню, де можна перейменувати створюваний **файл проекту** (KML файл).

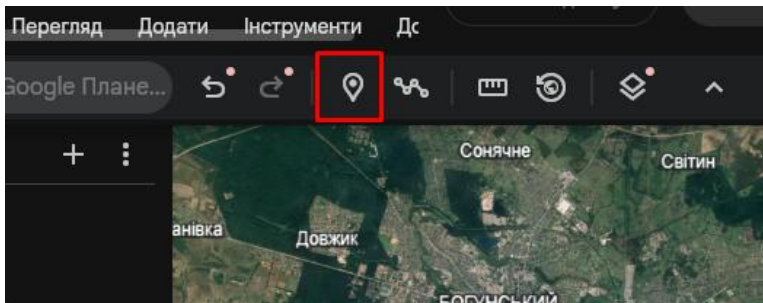


Далі можна наносити потрібні позначки і лінії.

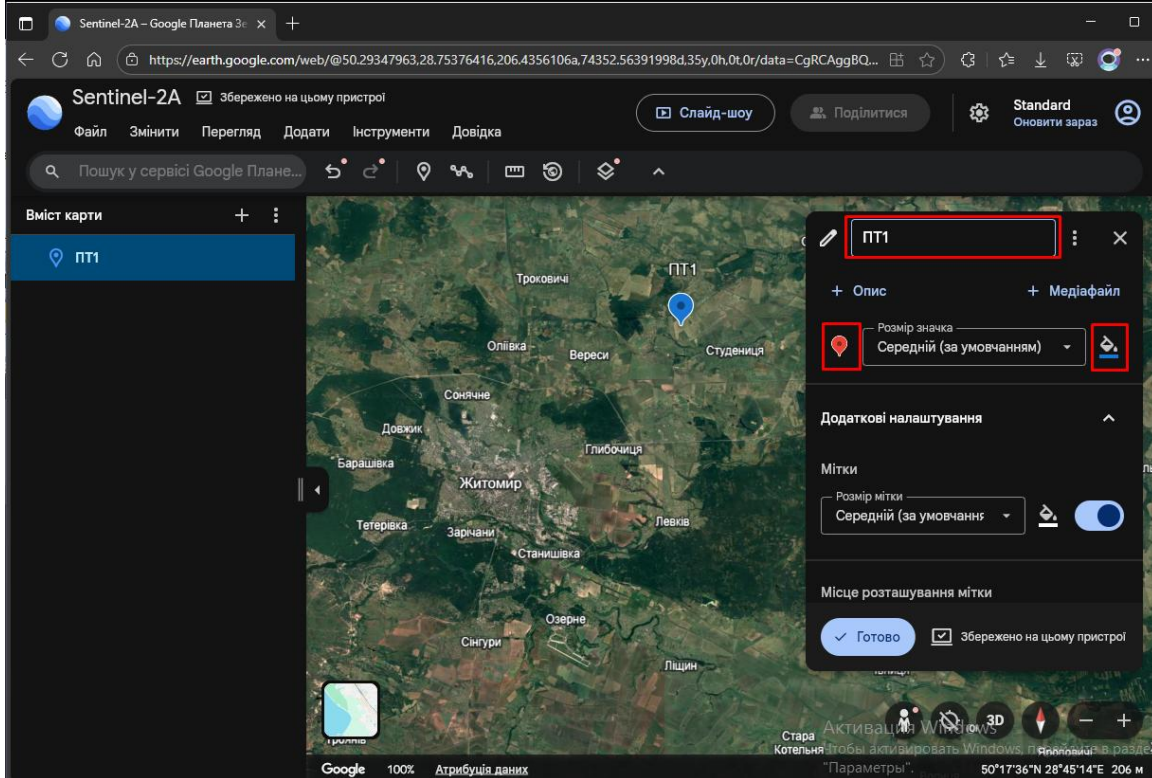
Поточні координати вказівника миші відображаються у правому нижньому куті вікна.



Для встановлення позначки за координатами виберіть з верхнього набору інструментів позначку **Додати мітку (Add_plasemark)**.



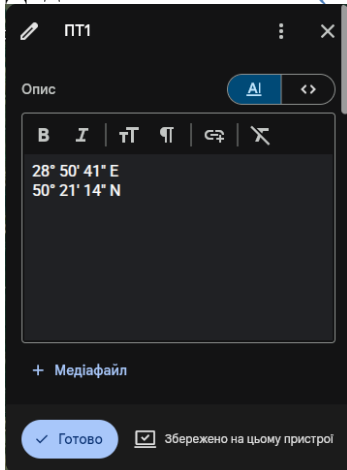
Наведіть вказівник на потрібна місце за координатами та клацніть ЛКМ. Позначка закріпиться на карті.



Виберіть **Назву** точки (Наприклад «ПТ1»), колір та розмір позначки.

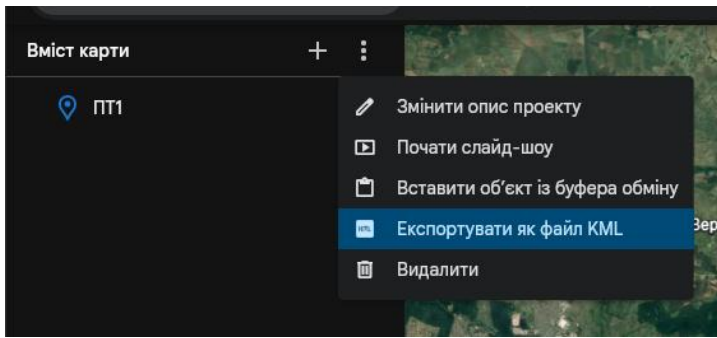
Можна змінити колір та форму позначки.

Додайте **+Опис** точки (**+Description**). В описі проставте значення координат.

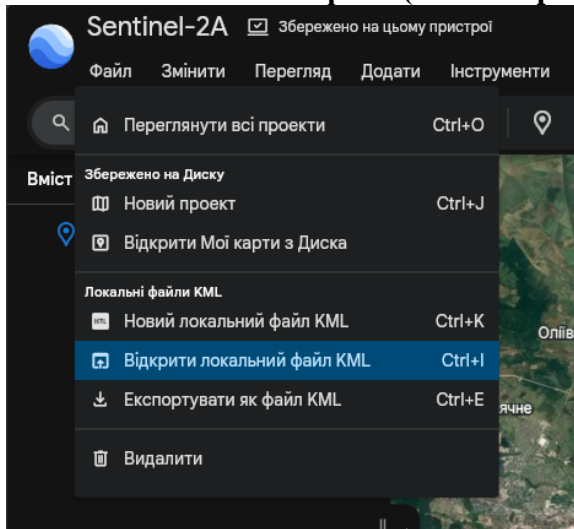


Вікно параметрів позначки можна закрити (X). Позначка з новою назвою закріплена на карті.

Створені зміни бажано кожного разу зберігати в створюваному **KML** файлі: ліве вікно – «три крапки» - з меню вибрати **Експортувати як файл KML (Export As KML file)**. Файл зберігається у стандартних **Завантаженнях (Downloads)**.

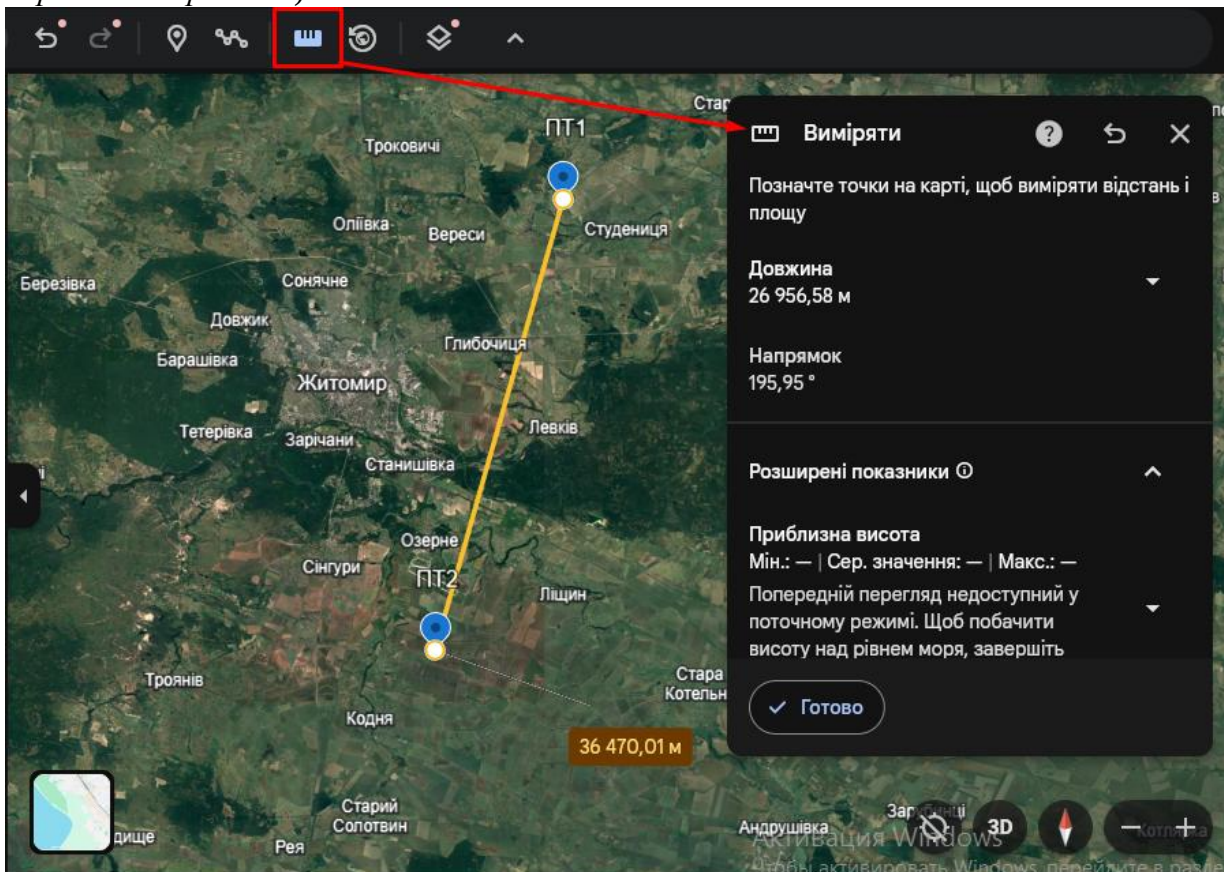


За потребою його можна **завантажити** в будь-який новий проект (карту) через головне меню **Файл - Відкрити локальний KML файл (File – Import KML/KMZ file)**.

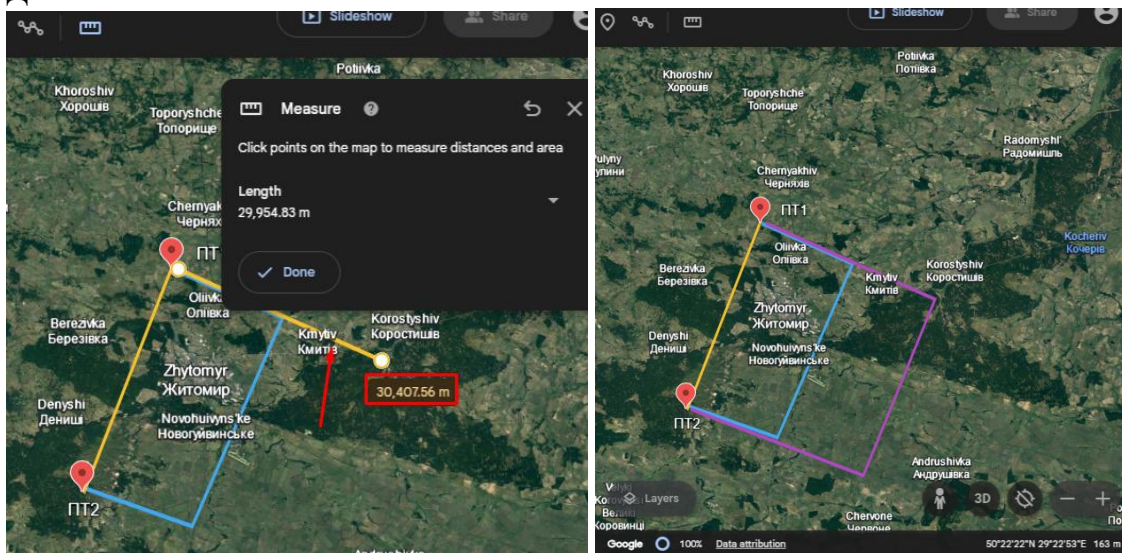


Нанесення ліній аналогічно за допомогою інструментів **Полілінія**  та **Лінійка**  з верхньої панелі інструментів.

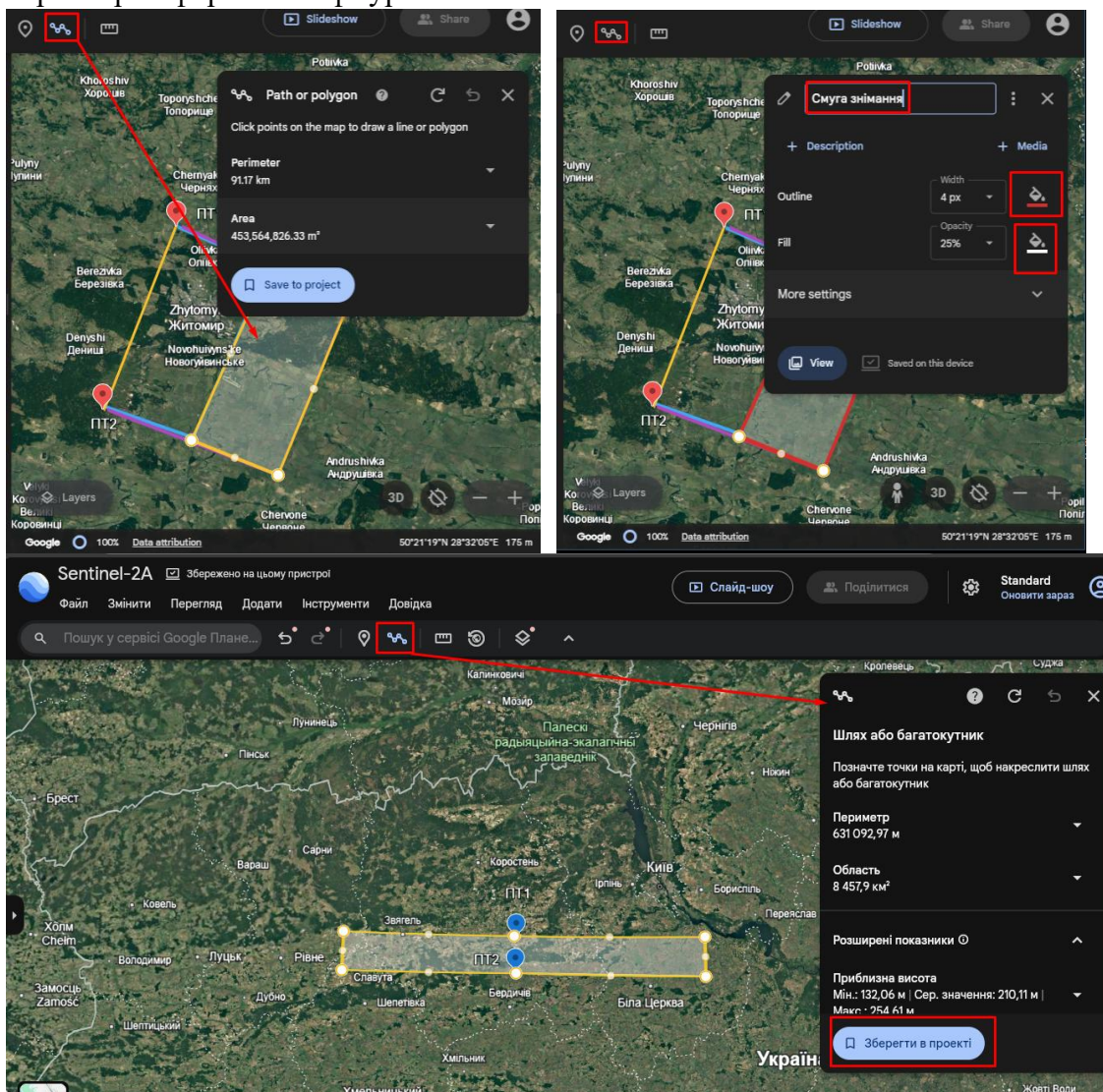
В цій роботі зручніше використати **Лінійку**, оскільки одразу відображається відстань, що потрібно відкласти (наприклад відстань від траси КА до ближньої межі смуги знімання. Сама межа буде паралельно трасі КА).



Лінійкою можна так само, як і Полілінією малювати полілінії та замкнуті полігони. Дальня межа позначається аналогічно Лінійкою.

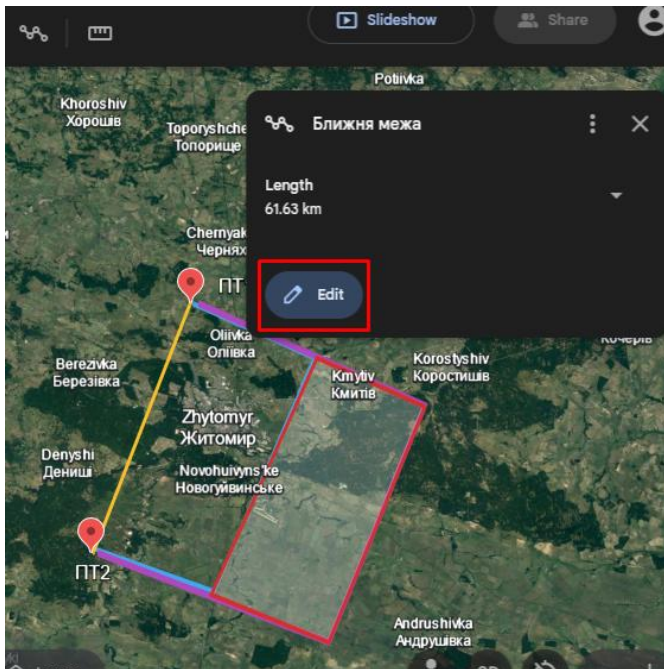


Полігон (прямокутник) смуги знімання можна намалювати поверх замкнутою полілінією. Потрібні параметри оформлення фігури можна змінювати.



НЕ забувайте зберегти KML файл (Ctrl - E).

Кляцанням на будь-який елемент нанесених позначень можна його редагувати та знищити.



Для збереження зображення карти використайте **PrintScreen**.

