

## «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.

**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) Ви можете використовувати будь-яку цифрову карту або ГІС, якою Ви вмієте користуватися.

У простішому випадку можна наносити положення точок та ліній в Google Maps / Google Earth згідно наведеної у додатку до цього тексту методики.

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.

**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  $\alpha$  слід розраховувати як додатковий до кута піднесення  $\varepsilon$  (Elevation)

$$\alpha = 90^\circ - \varepsilon \quad (\text{рис.1}).$$

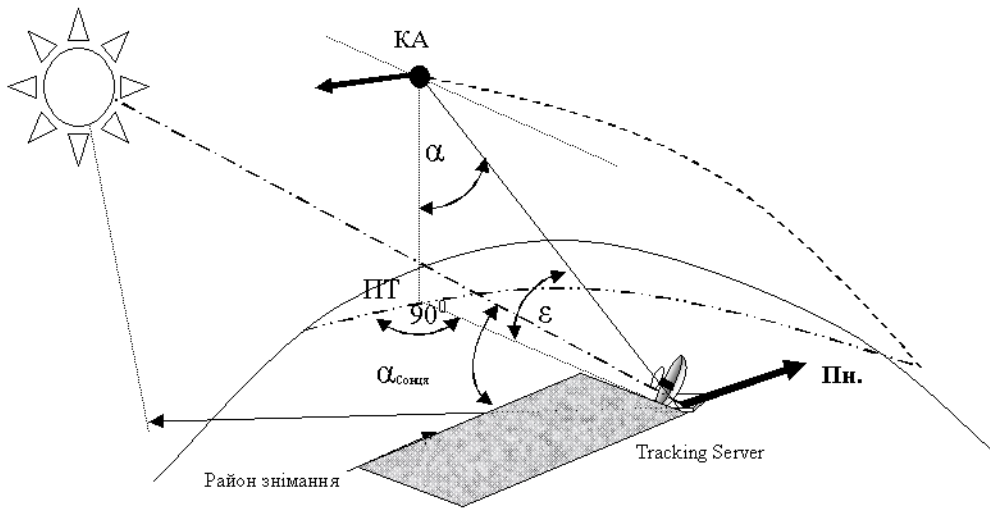


Рис.1. Геометричні особливості розрахунків підсупутникових точок в програмах

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

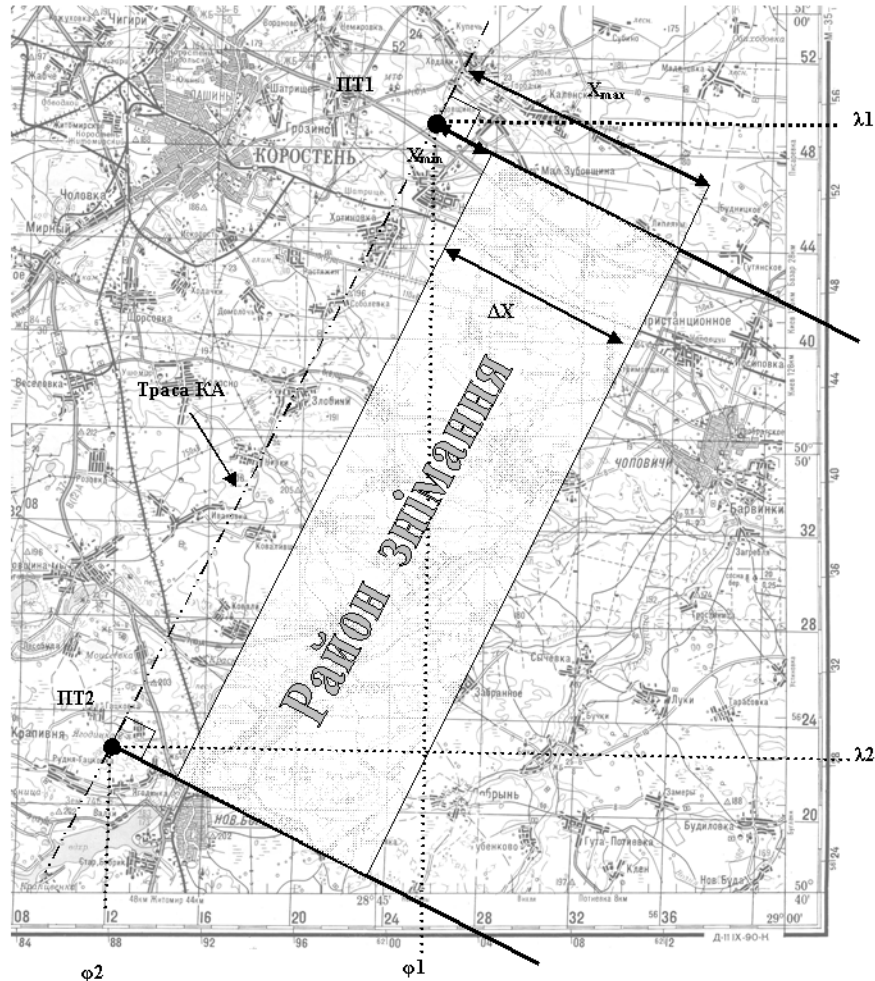


Рис.2. Визначення району знімання відносно підсупутникових точок

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

Побудувавши з початкової і кінцевої точки центральної лінії перпендикуляри, одержимо лінії північної і південної границі зони огляду.

Визначення західної і східної 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.

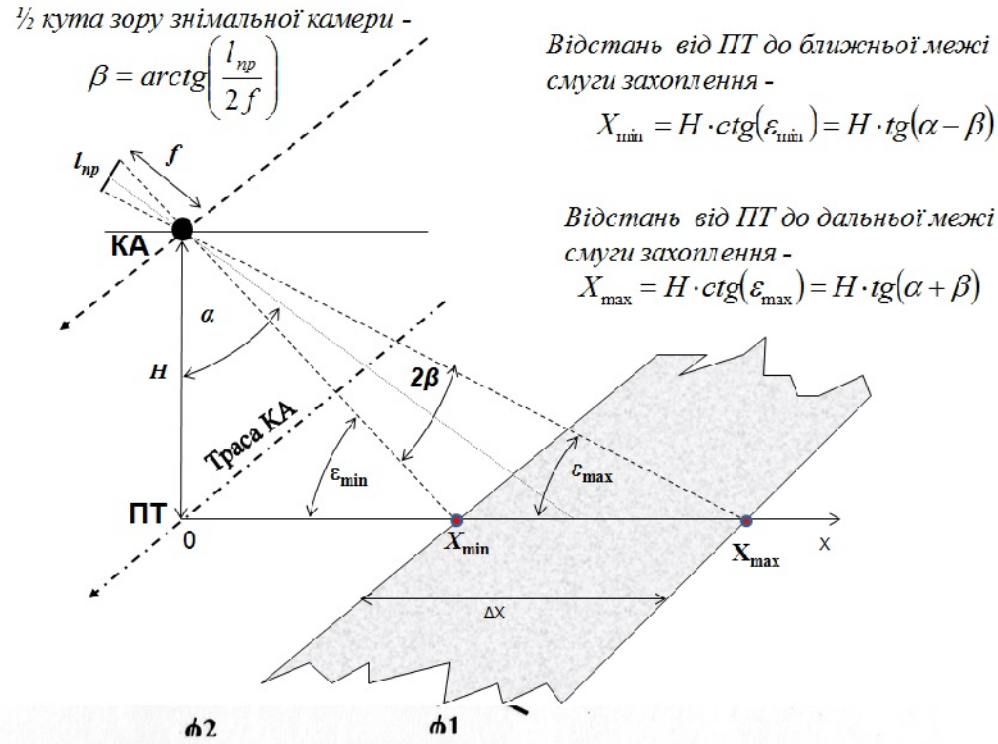


Рис.3. Визначення ближньої та дальньої меж смуги огляду оптико-електронних сканерних датчиків відносно підсупутникової точки

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  $\pm 30^\circ$ .

Вихідними даними для розрахунку є

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

З початку знаходимо кут полю зору датчика вздовж напрямку лінійки фотоприймачів  $2\beta$  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  $\epsilon_{min}$  – 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  $\epsilon_{max}$  – 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

Вважатимемо, що можна отримувати знімки прийнятної якості, якщо візирна вісь оптико-електронної апаратури спостереження (сенсора) відхилена від надира в межах  $\alpha \leq 30^\circ$ .

Завантажемо параметри орбіти досліджуваного КА.

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 *weather.txt* і клікнути кнопку **Відкрити**.

У правому вікні з'явиться КА типу NOAA-18 (його орбітальні параметри створені штучно на основі реального американського КА спостереження).

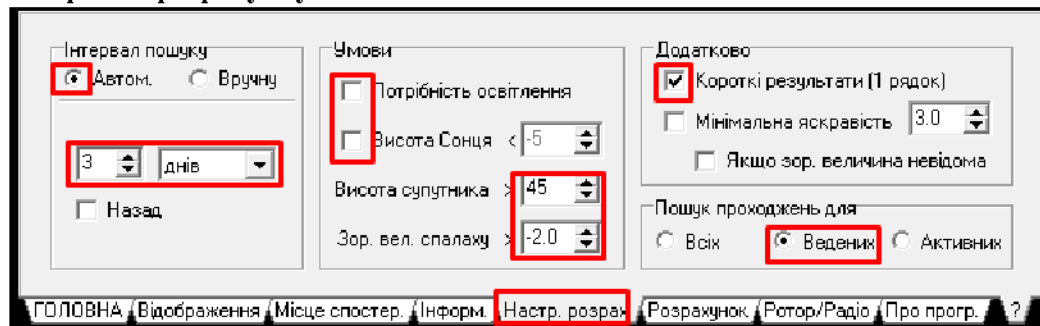
Ознайомитись з параметрами положення КА у правому та нижньому вікнах Orbitron.

Задати як Об'єкт спостереження місто **Житомир**.

Вибрати супутник NOAA-18 на правій панелі.

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  $\beta = \beta_{\min} = 90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$ ,

г) опцію **Зор. величина спалаху** встановити **-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 категорію **Проходження** і натиснути **Розрахунок**; Після завершення натиснути **ОК**.

Час - місс.	Супутник	Азим.	Вис.	Зор.в.	Дист.	С.аз.	С.вис.	Проходження
03-10-2023 11:20:01	NOAA 18	258.0	64.2	6.1	924	151.8	32.1	Спахи
04-10-2023 11:03:56	NOAA 18	254.6	84.3	5.9	847	147.6	30.5	
05-10-2023 00:59:06	NOAA 18	293.1	51.0	зтм	1060	1.7	-44.2	
05-10-2023 10:47:54	NOAA 18	70.6	74.8	5.9	871	143.5	28.7	
06-10-2023 00:43:07	NOAA 18	289.9	66.8	зтм	920	356.2	-44.6	

Проаналізувати розклад сеансів радіозв'язку.

**Кращі сеанси знімання ті, коли**

- відстань (Дист.) найменша – (дальність радіозв'язку),
- кутова висота напрямку на КА з точки спостереження (Вис.) більша (близьче до zenіту) – (викривлення за перспективу менше),
- Сонце над горизонтом ( $15^\circ > \text{С.вис.} < 80^\circ$ ) – менше кращі умови освітлення.

б) видати команду **Перехід до вибраної події**  $\Rightarrow$ .

На карті відобразиться ситуація на вибраний зі списку час.

Перейти на закладку **Головна** та стрілкою  $\leftarrow$  пересунути час контакту на 2 секунди назад. Це моделює початок смуги знімання завчасно, що починається приблизно на 16 км раніше за виход 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)  $\varepsilon_1$ .

Якщо виділити лівою кнопкою миші рядок Довгота (або Широта) на панелі даних, потім клацнути правою кнопкою миші, тоді з'явиться можливість скопіювати значення в буфер обміну для подальшого його вставлення у «Блокноті».

Перейти на закладку **Головна** та стрілкою  $\rightarrow$  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.

**Запишіть широту і довготу другої підсупутникової точки** (на момент відключення апаратури знімання) та **поточну висоту КА над Землею  $H_2$**  та **кутову висоту КА** для спостерігача (кут піднесення)  $\varepsilon_2$ .

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), але у простішому випадку можна наносити положення та ліній в Google Maps / Google Earth до наведеного у додатку дао цього тексту методики.**

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

В цієї роботі **кут полю зору датчика** вздовж напрямку лінійки фотоприймачів  $2\beta$  для даної знімальної апаратури вважатиме  $2\beta = 0,5^\circ$ .

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 під супутникових 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

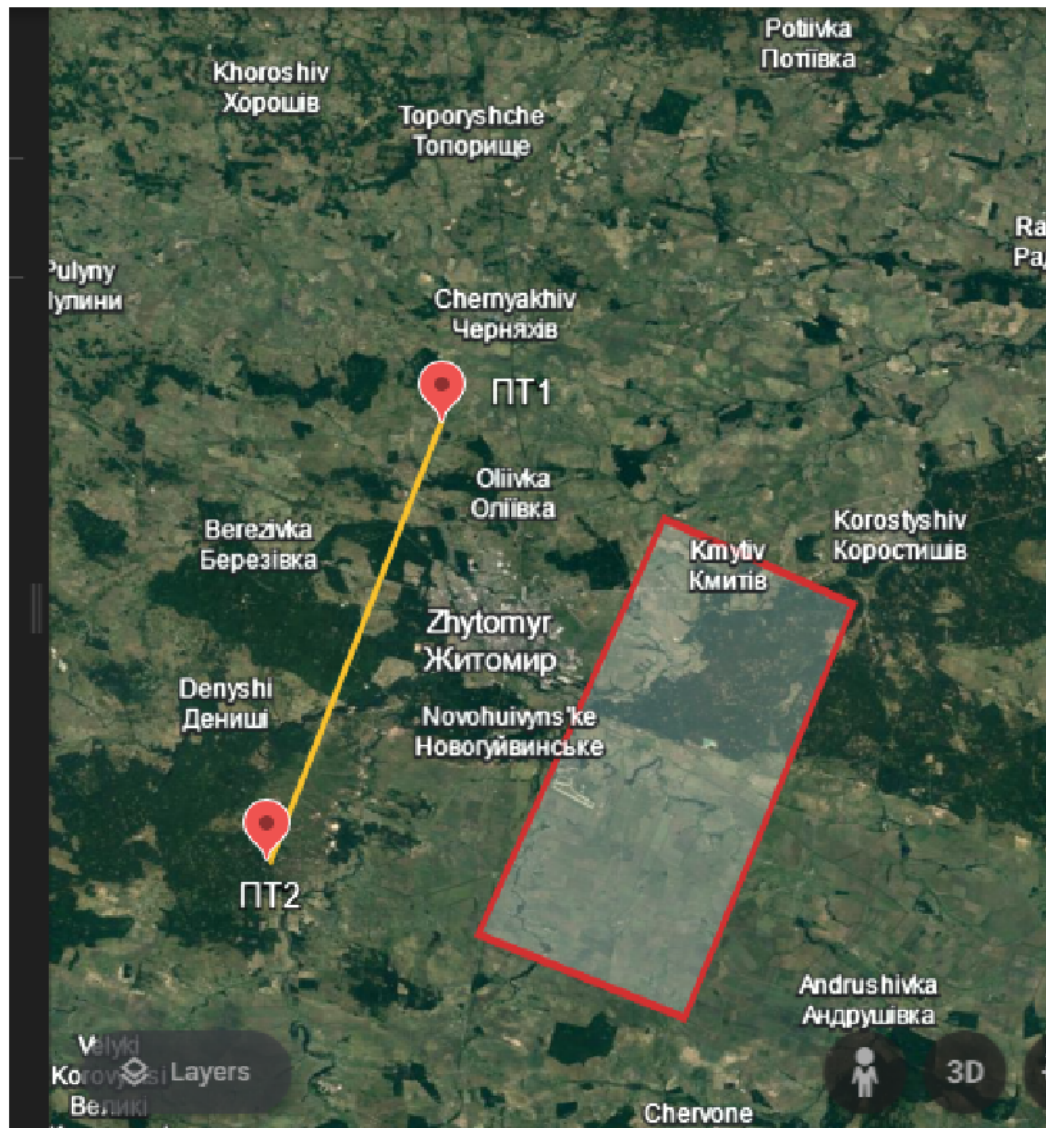
Практичне заняття №2 Оцінювання можливостей знімання заданих ланок.

### ЗВІТ

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

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

О. Горшенін

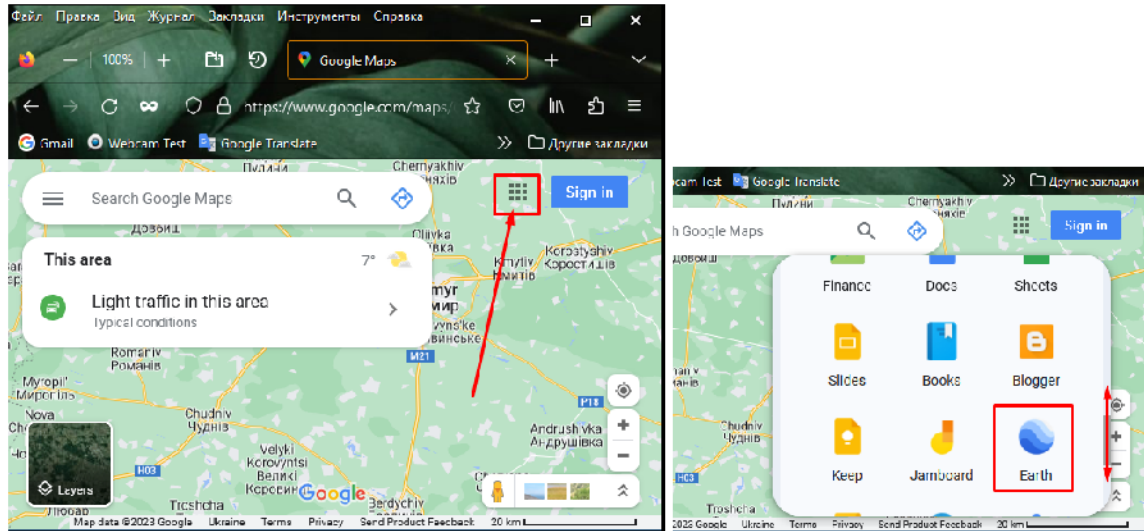
## ДОДАТОК

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

Підключитесь до Інтернету та вкльбчтите браузер.

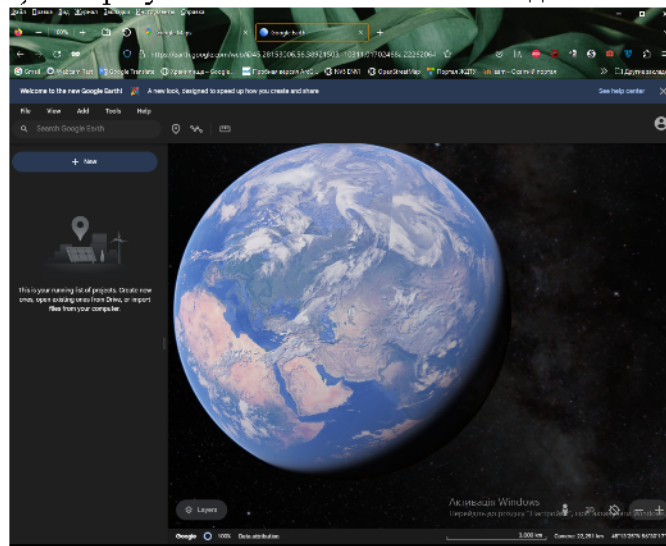
В рядку пошуку браузера наберить <https://www.google.com/maps>.

Наносити позначки в **Google Maps** не дозволяється, тому з вікна **Google Maps** запусить **Google Earth**:



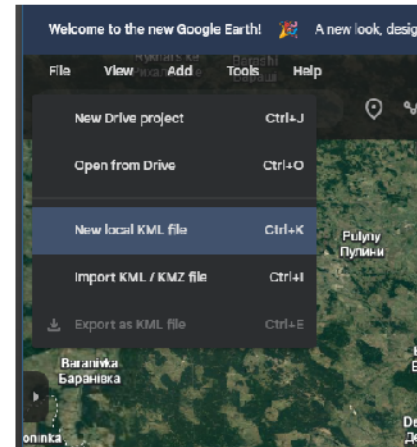
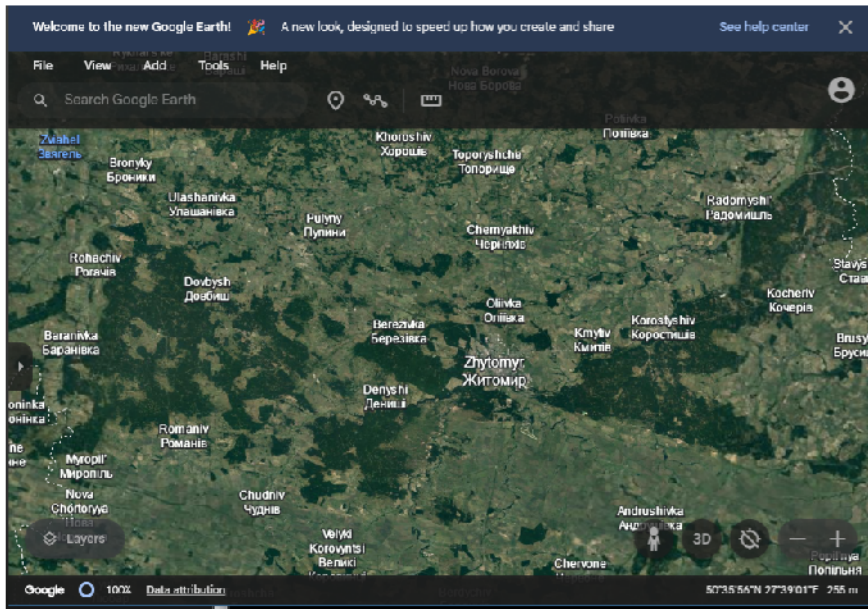
У верхньому правому куті **Google Maps** виберить Інструменти **Google** та клацніть на Інструменті **Earth**. Шукайте цей інструмент пересуваючі «бігунок» праворуч вікна інструментів. Клацніть правою кнопкою миші на інструменті **Earth**, він запусить.

Натисніть на велику кнопку **Explore Google Earth**. З'явиться глобус, який можна повертати затикуванням лівої кнопки (ЛК) та пересуванням миші. Наближення здійснюється колесчатком миші.

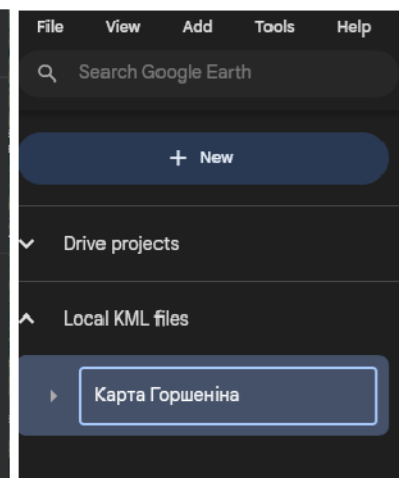
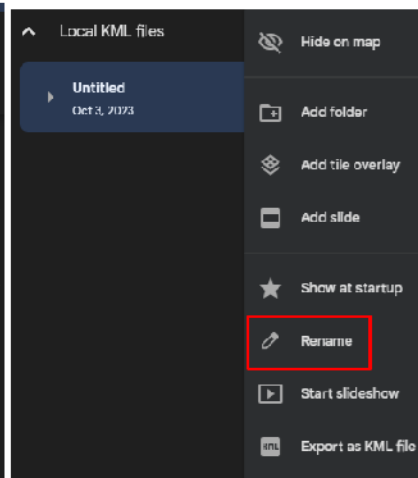
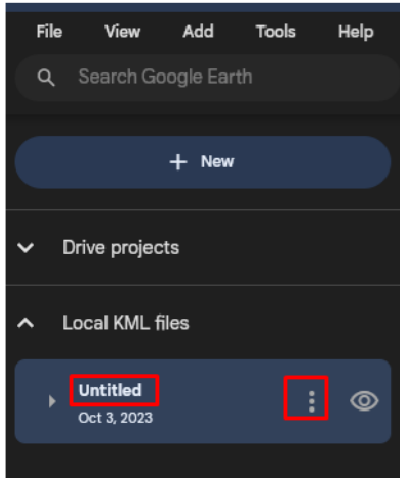


Наблизитися до району, що потрібно знімати (Житомир і область).

В меню **File** вікна **Google Earth** виберить **New Local KML File**.



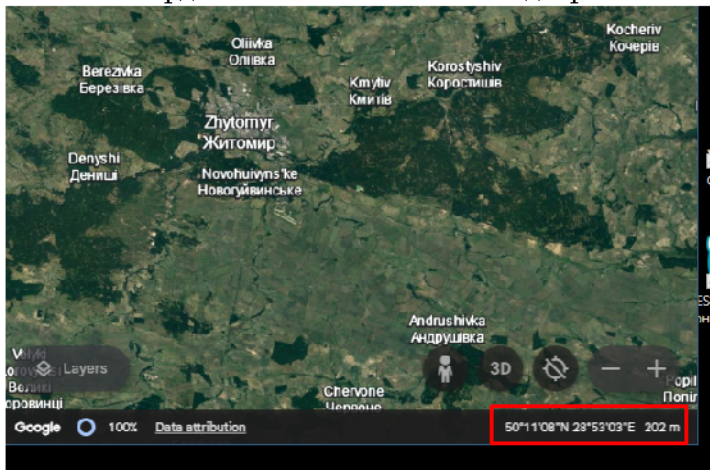
Ліворуч з'явиться бічна панель з шаром Local KML Files та Посиланням на файл під назвою **Untitled**



Клацнувши на три крапки можна визвати меню, де можна перейменувати створований KML файл.

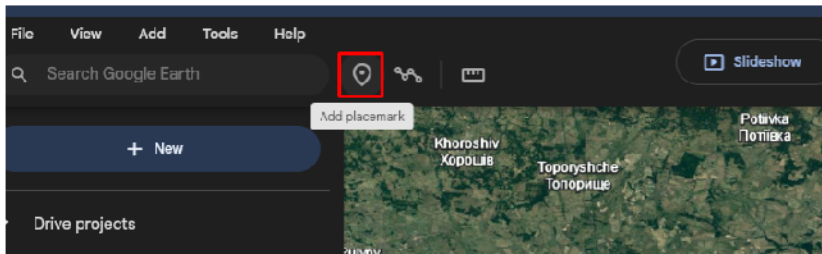
Далі можна наносити потрібні позначки і лінії.

Поточні координати вказівника миші відображаються у правому нижньому куті вікна.

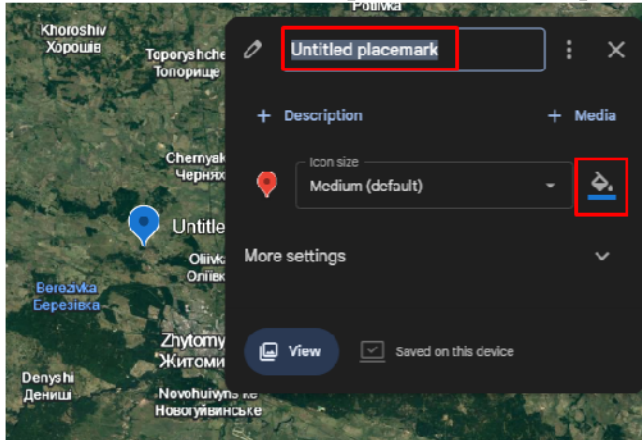


Для встановлення позначки за координатами виберить з верхнього набору інструментів позначку **Add plasemark**.

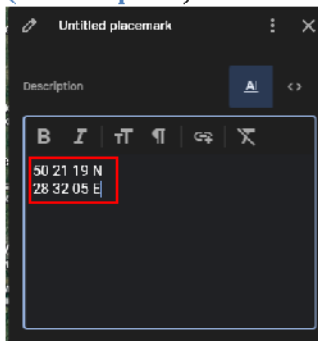




Наведить вказівник на потрібна місце за координатами та клацніть ЛКМ. Позначка закріпиться на карті.

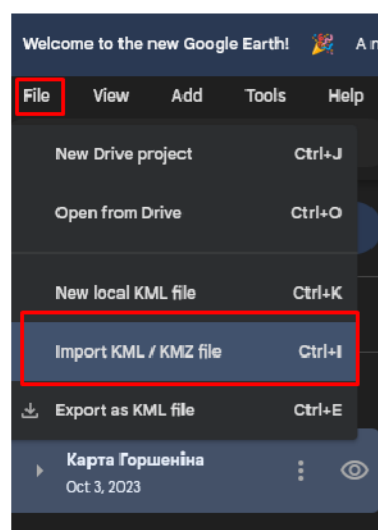
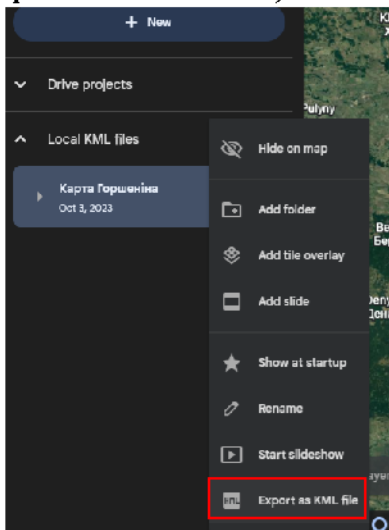


Виберить Назву точки (Наприклад «ПТ1»), колір та розмір позначки. Додайте опис точки (+Description). В описі проставте значення координат.



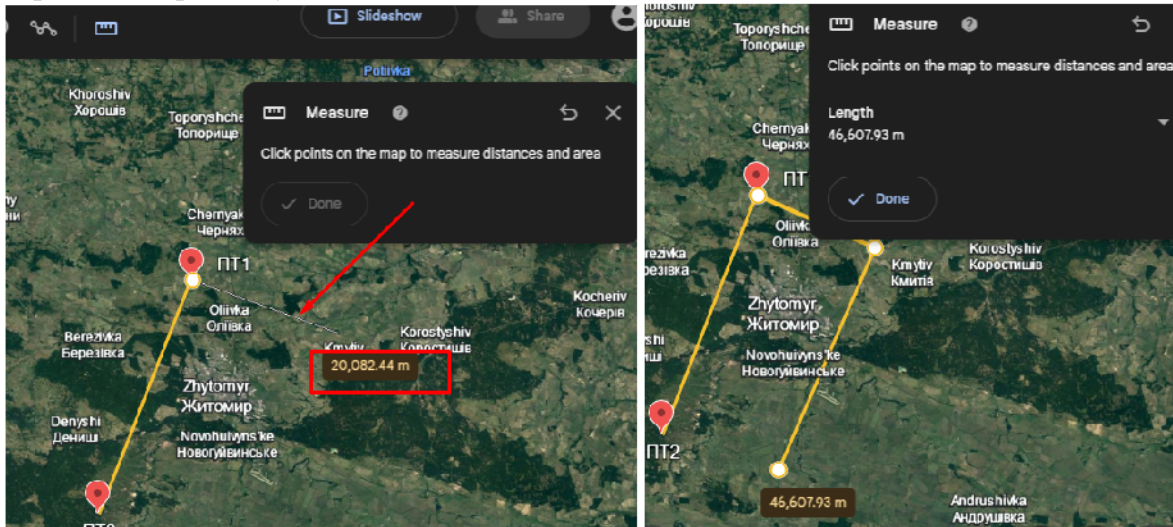
Вікно параметрів позначки можна закрити (X). Позначка з новою назвою закріплена на карті.

Створені зміни бажано кожного разу зберігати в створюваному KML файлі: ліве вікно – «три крапки» - з меню вибрати **Export As KML file**. Файл зберігається у стандартних **Завантаженнях (Downloads)**. За потребою його можна **завантажити** в будь-який новий проект (карту через головне меню **File – Import KML/KMZ file**).

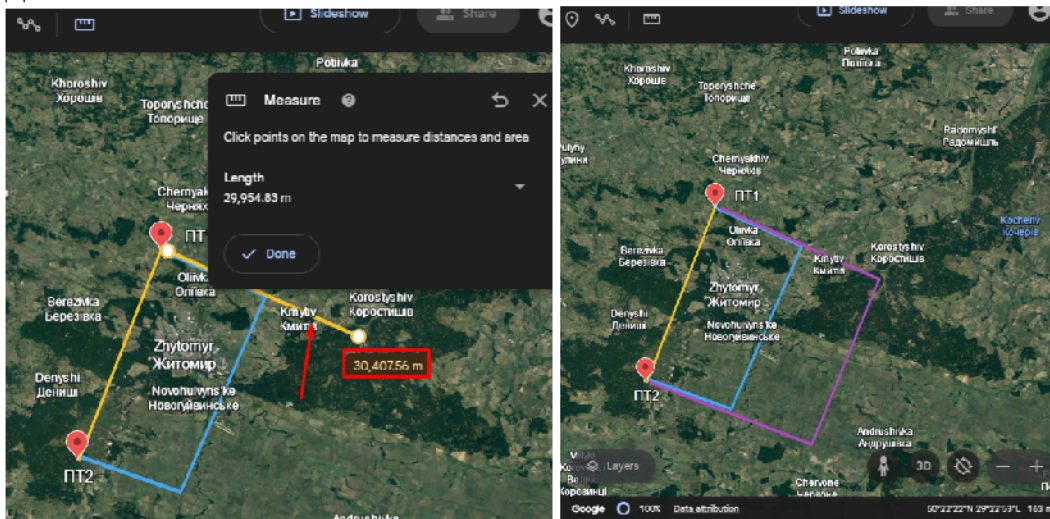


Нанесення ліній аналогічно за допомогою інструментів Полілінія та Лінійка з верхньої панелі інструментів.

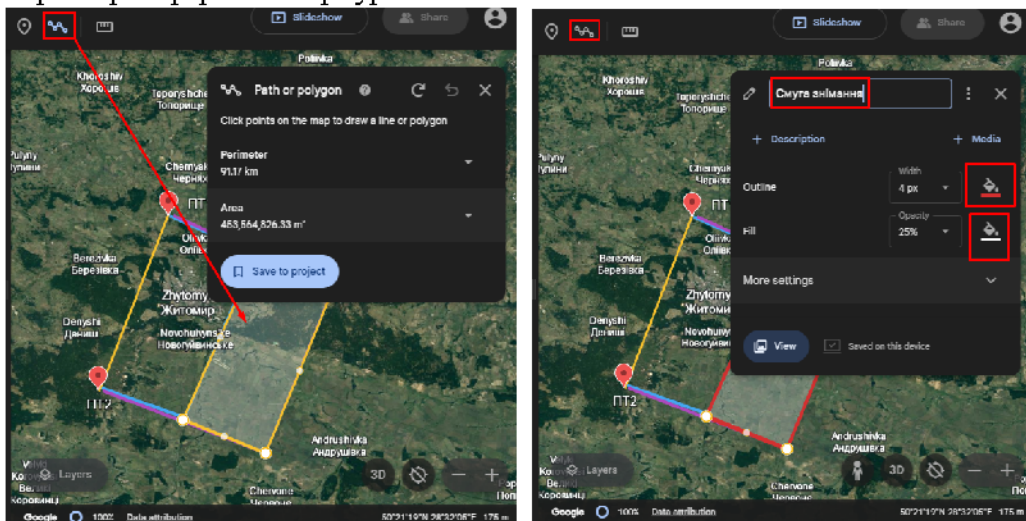
В цій роботі зручніше використати Лінійку, оскільки одразу відображається відстань, що потрібно відкласти (наприклад відстань від траси КА до ближньої межі смуги знімання. Сама межа буде паралельно трасі КА).



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



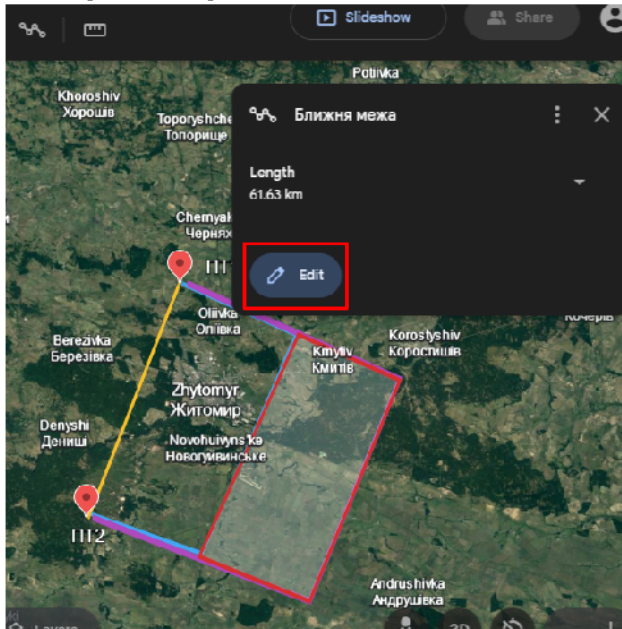
Полігон (прямокутник) смуги знімання можна намалювати поверх замкнутою полілінією. Потрібні параметри оформлення фігури можна змінювати.



НЕ забувайте зберегти KML файл (Ctrl - E).



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



Для збереження зображення карти використайте PrintScreen.

