ЛЕКЦИЯ 10

Ауа сапасы және оны спутниктік әдістермен бақылау



Турсумбаева Мадина Оразгазиевна
PhD, аға оқытушы
Метеорология және Гидрология кафедрасы

Дәрістің мақсаты және оқу нәтижелері

Дәрістің мақсаты

Sentinel-5P/TROPOMI аспабының өлшеу принципін түсіндіру және атмосферадағы ластаушы газдардың спутниктік деректерін GEE-де өңдеу мен түсіндіру тәсілдерін үйрету.

Оқу нәтижелері

Дәрісті меңгерген студент:

1. ауа сапасын жерүсті және спутниктік бақылаудың мүмкіндіктері мен шектеулерін салыстырады;
2. TROPOMI сипаттамаларын және газдың бағандық мөлшерін анықтау принципін (DOAS, AMF) түсіндіреді;
3. бағандық мөлшер мен жер бетіндегі концентрацияның айырмашылығын ажыратады;
4. GEE-дегі Sentinel-5P өнімдерін (NRTI/OFFL, L3) мақсатына сай таңдайды;
5. бұлт маскасы мен орташалауды қолданып NO_2 картасын және уақыттық қатарын құрады, нәтижесін түсіндіреді.

Дәріс жоспары

1. **Ауа сапасын ғарыштан бақылаудың мәні**
   5-дәрісті еске түсіру: ластаушы заттар және жерүсті бақылауының шектеулері

2. **Sentinel-5P және TROPOMI аспабы**
   Орбита, спектрлік диапазондар, кеңістіктік ажыратымдылық

3. **Өлшеу принципі**
   Жұтылу спектрлері және газдың бағандық мөлшері

4. **GEE-дегі Sentinel-5P өнімдері**
   NO_2, SO_2, CO, O_3, HCHO, CH_4, аэрозоль индексі

5. **Деректерді GEE-де өңдеу**
   Сүзу, бұлт маскасы, орташалау, карта мен уақыттық қатар

Неліктен ғарыштан бақылау қажет?

Жерүсті посттары

- Жер бетіне жақын концентрацияны **тікелей** өлшейді
- Уақыттық ажыратымдылығы жоғары: сағат сайын
- Бірақ посттар аз және біркелкі орналаспаған
- Қала сыртында, шекара маңында дерек жоқтың қасы

Спутник

- Бүкіл аумақты **біркелкі** қамтиды
- Ластану көздері мен тасымалын көрсетеді
- Бірақ атмосфера бағанындағы жалпы мөлшерді өлшейді
- Тәулігіне бір рет, тек күндіз және ашық аспанда

Екі тәсіл бірін-бірі алмастырмайды, толықтырады.

Sentinel-5P және TROPOMI

Sentinel-5 Precursor — Copernicus бағдарламасының атмосфера құрамын бақылайтын спутнигі (ESA, 2017 жылғы 13 қазанда ұшырылған). Жалғыз аспабы — **TROPOMI** спектрометрі.

824 км	13:30	2600 км	1 тәулік
күн-синхронды орбита биіктігі	экваторды кесіп өтетін жергілікті уақыт	түсіру жолағының ені	жер шарын толық қамту

- Кеңістіктік ажыратымдылық (надирде): **5,5 × 3,5 км** (2019 жылғы тамыздан; оған дейін 7 × 3,5 км)
- CO мен CH_4 үшін: 5,5 × 7 км

Дереккөз: ESA Sentinel-5P миссиясының сипаттамасы; developers.google.com/earth-engine/datasets (COPERNICUS/S5P)

TROPOMI қандай диапазондарда өлшейді?

Диапазон	Толқын ұзындығы	Анықталатын шамалар
Ультракүлгін (UV)	270–320 нм	O_3 профилі, SO_2
UV – көрінетін (UVIS)	320–495 нм	NO_2, HCHO, O_3 жалпы мөлшері, аэрозоль индексі
Жақын ИҚ (NIR)	675–775 нм	Бұлт параметрлері, аэрозоль қабатының биіктігі
Қысқа толқынды ИҚ (SWIR)	2305–2385 нм	CO, CH_4

Әр газдың өз «саусақ ізі» бар: ол белгілі бір толқын ұзындықтарында ғана жұтады.

Өлшеу принципі: шағылған күн сәулесінің спектрі

1 Күн сәулесі

Атмосфера арқылы өтіп, жер бетінен шағылады

→

2 Жұтылу

Газ молекулалары өз толқын ұзындықтарында сәулені жұтады

→

3 Спектр

TROPOMI шағылған сәуленің спектрін тіркейді

→

4 Көлбеу баған

Жұтылу тереңдігінен сәуле жолындағы газ мөлшері (DOAS)

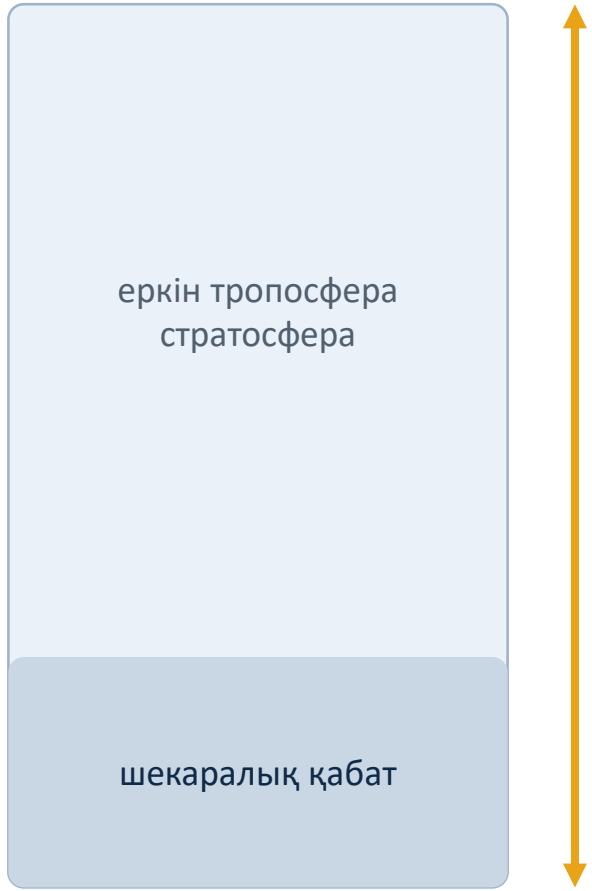
→

5 Тік баған

Ауа массасы факторына (AMF) бөлу арқылы

- Нәтиже — **бағандық мөлшер**: бір шаршы метр үстіндегі бағанда қанша моль газ бар (моль/м^2)
- AMF бұлттылыққа, жер бетінің альбедосына және газдың тік таралуына тәуелді — негізгі қателік көзі

Бағандық мөлшер ≠ жер бетіндегі концентрация



спутник бүкіл бағанды «көреді»

Не өлшенеді?

- Спутник: моль/м² — баған бойынша **жинақталған** мөлшер
- Пост: мкг/м³ — тыныс алу деңгейіндегі концентрация
- Екеуінің арақатынасы араласу қабатының биіктігіне тәуелді
- Қысқа инверсия кезінде баған аз өзгергенімен, жер бетіндегі концентрация күрт өседі

Спутниктік деректер ШРК-мен тікелей салыстырылмайды. Олар кеңістіктік таралуды, көздерді және өзгеріс үрдісін көрсетеді.

GEE-дегі Sentinel-5P өнімдері

Газ	Жинақ (S5P/OFFL/…)	Негізгі арна	Негізгі көздері
NO_2	`L3_NO2`	`tropospheric_NO2_column_number_density`	Көлік, ЖЭО, өнеркәсіп
SO_2	`L3_SO2`	`SO2_column_number_density`	Көмір жағу, металлургия, жанартау
CO	`L3_CO`	`CO_column_number_density`	Толық жанбау, өрт
O_3	`L3_O3`	`O3_column_number_density`	Жалпы озон (көбі стратосферада)
HCHO	`L3_HCHO`	`tropospheric_HCHO_column_number_density`	Өрт, ұшпа органикалық қосылыстар
CH_4	`L3_CH4`	`CH4_column_volume_mixing_ratio_dry_air`	Мұнай-газ, полигон, батпақ
Аэрозоль	`L3_AER_AI`	`absorbing_aerosol_index`	Шаң, түтін

Бірлігі: моль/м² (CH_4 — ppb, аэрозоль индексі — өлшемсіз). Дереккөз: developers.google.com/earth-engine/datasets

NRTI және OFFL; L2 және L3

Өңдеу ағыны

- **NRTI** (Near Real-Time): түсірілімнен кейін бірнеше сағатта; жедел бақылауға
- **OFFL** (Offline): бірнеше күннен кейін; сапасы жоғары, толық орбита
- Ғылыми талдау мен уақыттық қатарға — **OFFL**
- CH_4 тек OFFL түрінде бар

Өңдеу деңгейі

- **L2** — әр пиксель спутник геометриясында
- **L3** — тұрақты торға келтірілген; GEE-де тор қадамы 0,01° (≈ 1,1 км)
- Тор ұсақ болғанымен, нақты ажыратымдылық сол күйі **≈ 5,5 км**
- Әр орбита — бөлек Image

GEE L3-ке айналдырғанда сапасы төмен пиксельдерді алып тастайды: тропосфералық NO_2 үшін QA < 75 %, аэрозоль индексі үшін < 80 %, қалған өнімдердің көбі үшін < 50 %.

Өңдеу тізбегі

1 Жинақ

Газ бен ағынды таңдау: OFFL/L3_NO2

2 Сүзу

Кезең және зерттеу аймағы

3 Маска

Бұлттылығы жоғары пиксельдерді алып тастау

4 Орташалау

Айлық не маусымдық орташа — шу азаяды

5 Нәтиже

Карта, аймақтық қатар, экспорт

Неліктен орташалау керек?

- Бір күндік суретте бос орын мен шу көп — **кемінде айлық орташа** қолданылады
- Қыста қар мен бұлт салдарынан жарамды бақылау саны азаяды: орташаға кірген суреттер санын тексеріңіз

Код: NO_2 картасы

```
var kz = ee.FeatureCollection('USDOS/LSIB_SIMPLE/2017')
  .filter(ee.Filter.eq('country_na', 'Kazakhstan'));
var band = 'tropospheric_NO2_column_number_density';

function maskClouds(img) {
  return img.updateMask(
      img.select('cloud_fraction').lt(0.3));
}

var no2 = ee.ImageCollection(
    'COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2')
  .filterDate('2024-01-01', '2024-02-01')
  .filterBounds(kz)
  .map(maskClouds)
  .select(band)
  .mean()
  .multiply(1e6)              // моль/м2 -> мкмоль/м2
  .clip(kz);

Map.addLayer(no2, {min: 0, max: 150,
  palette: ['black', 'blue', 'purple', 'cyan',
            'green', 'yellow', 'red']}, 'NO2');
```

Түсініктеме

- Бұлт үлесі 0,3-тен төмен пиксельдер ғана қалады
- Қаңтардың орташасы: жылыту маусымы
- $\times 10^6$ — оқуға ыңғайлы бірлік
- Картада қалалар мен ЖЭО «ыстық нүкте» болып көрінеді

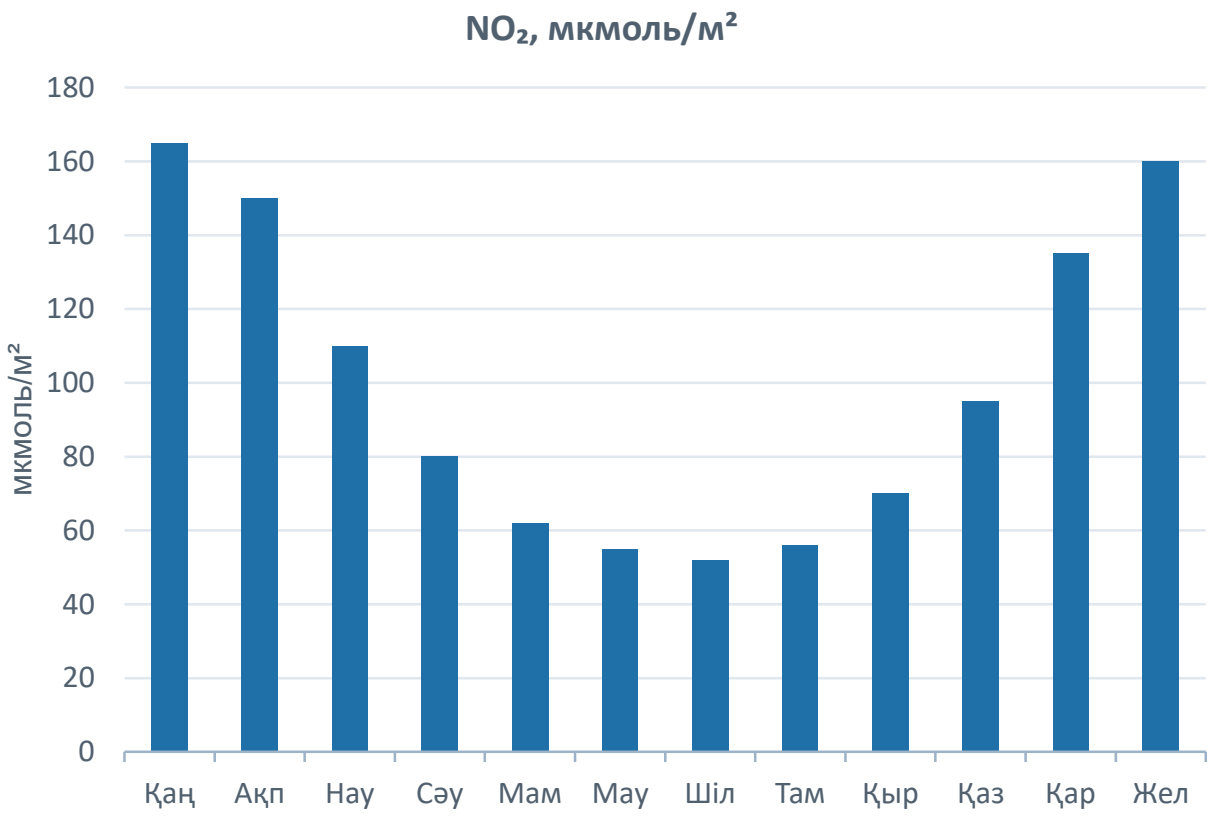
Код: қала бойынша айлық қатар

```
var city = ee.Geometry.Point([76.95, 43.25])
  .buffer(25000);                          // Алматы
var col = ee.ImageCollection(
    'COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_NO2')
  .filterBounds(city).map(maskClouds).select(band);

var months = ee.List.sequence(0, 59);  // 2020-2024
var monthly = ee.ImageCollection.fromImages(
  months.map(function(n) {
    var start = ee.Date('2020-01-01')
        .advance(n, 'month');
    return col
      .filterDate(start, start.advance(1, 'month'))
      .mean()
      .set('system:time_start', start.millis());
  }));

print(ui.Chart.image.series(
    monthly, city, ee.Reducer.mean(), 5000));
```

Түсініктеме

- Буфер радиусы 25 км — қала мен төңірегі
- Әр айға бөлек орташа сурет
- scale = 5000 м: аспаптың нақты ажыратымдылығына жуық
- Бақылауы жоқ ай графикте бос қалады

Нәтижені қалай түсіндіреміз?



Шартты мысал: нақты бақылау деректері емес

Қысқы максимумның себептері

- **Шығарындылар:** жылыту маусымында ЖЭО мен жеке сектор үлесі артады
- **Химия:** қыста күн сәулесі аз, NO_2 атмосферада ұзағырақ сақталады
- **Метеорология:** инверсия мен жел жоқ кезде ластану жиналады
- **Бақылау шарты:** қар жамылғысы мен бұлт өлшеуге әсер етеді

Шектеулер

Бұлт пен қар

Бұлт астындағы қабат көрінбейді; қар альбедоны өзгертіп, қателікті арттырады

Тәулігіне бір өлшеу

Шамамен жергілікті 13:30; таңғы және кешкі шыңдар тіркелмейді

Бағаң, концентрация емес

Жер бетіндегі мәнге көшу үшін модель немесе пост деректері қажет

Ажыратымдылық пен сезімталдық

≈ 5,5 км: жеке көше не шағын көз ажыратылмайды; SO_2 мен HCHO сигналы әлсіз, шуы көп

Жуық теріс мәндер — қате емес, шудың белгісі: орташалағанда оларды алып тастамаңыз.

Қорытынды және өзін-өзі тексеру сұрақтары

Негізгі тұжырымдар

- TROPOMI күн сайын жер шарын ≈ 5,5 км ажыратымдылықпен түсіреді
- Өлшенетін шама — газдың бағандық мөлшері
- Талдауға OFFL L3 өнімдері қолданылады
- Тізбек: сүзу → бұлт маскасы → орташалау → карта не қатар
- Нәтиже пост деректері және метеожағдаймен бірге түсіндіріледі

Сұрақтар

- Бағандық мөлшер мен жер бетіндегі концентрацияның айырмашылығы неде?
- NRTI мен OFFL қай жағдайда қолданылады?
- Неліктен бір күндік суреттің орнына айлық орташа алынады?
- Қыста NO_2 неге жоғары болады?
- L3 торы 1,1 км болса, ажыратымдылық та сондай ма?

Зертханалық жұмыс 10: Google Earth Engine көмегімен Sentinel-5P деректерін өңдеу.

Пайдаланылған дереккөздер

1. Veefkind J.P., Aben I., McMullan K. et al. TROPOMI on the ESA Sentinel-5 Precursor: A GMES mission for global observations of the atmospheric composition for climate, air quality and ozone layer applications // Remote Sensing of Environment. – 2012. – Vol. 120. – P. 70–83.
2. van Geffen J., Boersma K.F., Eskes H. et al. S5P TROPOMI NO_2 slant column retrieval: method, stability, uncertainties and comparisons with OMI // Atmospheric Measurement Techniques. – 2020. – Vol. 13. – P. 1315–1335.
3. Platt U., Stutz J. Differential Optical Absorption Spectroscopy: Principles and Applications. – Berlin: Springer, 2008. – 597 p.
4. Gorelick N., Hancher M., Dixon M. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. – 2017. – Vol. 202. – P. 18–27.
5. Earth Engine Data Catalog: Sentinel-5P (COPERNICUS/S5P). – URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets
6. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. – Geneva: World Health Organization, 2021.

Назар аударғаныңызға рақмет!

Келесі: зертханалық жұмыс 10

GEE көмегімен Sentinel-5P деректерін өңдеу

