ЛЕКЦИЯ 9

Спутниктік деректерден жауын-шашын мен температураның уақыттық қатарларын талдау



Турсумбаева Мадина Оразгазиевна
PhD, аға оқытушы
Метеорология және Гидрология кафедрасы

Дәрістің мақсаты және оқу нәтижелері

Дәрістің мақсаты

Спутниктік және реанализ деректерінен жауын-шашын мен температураның уақыттық қатарларын GEE-де құруды, климаттық норма, аномалия және трендті есептеу тәсілдерін үйрету.

Оқу нәтижелері

Дәрісті меңгерген студент:

1. уақыттық қатардың құрамдас бөліктерін (тренд, маусымдылық, аномалия) ажыратады;
2. жауын-шашынды ғарыштан бағалау әдістерін және CHIRPS, IMERG, ERA5-Land өнімдерінің ерекшеліктерін сипаттайды;
3. жер беті температурасы (LST) мен 2 м биіктіктегі ауа температурасының айырмашылығын түсіндіреді;
4. GEE-де бірліктерді түрлендіріп, уақыт пен кеңістік бойынша агрегаттау арқылы уақыттық қатар құрады;
5. норма, аномалия және трендті есептеп, нәтижені жерүсті бақылауымен салыстыра бағалайды.

Дәріс жоспары

1. **Уақыттық қатар және оның құрамдас бөліктері**
   Тренд, маусымдылық, аномалия

2. **Жауын-шашын мен температура ғарыштан қалай бағаланады**
   Өлшеу әдістері және GEE-дегі негізгі өнімдер

3. **GEE-де уақыттық қатар құру**
   Бірліктер, уақыт бойынша агрегаттау, аймақтық орташа

4. **Климаттық норма, аномалия және тренд**
   Есептеу тәсілдері мен код үлгілері

5. **Шектеулер және нәтижені тексеру**
   Спутниктік бағалауды станция деректерімен салыстыру

Уақыттық қатар дегеніміз не?

Уақыттық қатар — бір шаманың тең уақыт аралықтарымен алынған мәндерінің тізбегі.
Метеорологиялық қатарды үш құрамдас бөлікке жіктеуге болады:



Шартты мысал: нақты бақылау деректері емес

1. **Тренд**
   Көпжылдық баяу өзгеріс: жылыну не салқындау

2. **Маусымдылық**
   Жыл сайын қайталанатын жылдық жүріс

3. **Аномалия**
   Нормадан ауытқу: ыстық толқын, құрғақшылық

Жауын-шашын ғарыштан қалай бағаланады?

Инфрақызыл (ИҚ)

- Бұлт шыңының температурасы: суық шың — қарқынды жауын
- Геостационарлық спутниктер: әр 10–15 минут сайын
- Жанама бағалау, қателігі жоғары

Пассивті микротолқын

- Бұлт ішіндегі тамшылар мен мұз бөлшектерінің сәулеленуі
- Физикалық тұрғыдан тікелейірек
- Төмен орбита: бақылау сирек

Радар (GPM DPR)

- Жауын-шашынның тік құрылымы
- Ең дәл әдіс, эталон ретінде қолданылады
- Түсіру жолағы тар

Қазіргі өнімдер осы әдістердің бәрін біріктіріп, жер бетіндегі өлшеулермен түзетеді: IMERG, CHIRPS.

GEE-дегі жауын-шашын өнімдері

Өнім	GEE идентификаторы	Тор	Уақыт қадамы	Қамту
CHIRPS v2	`UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY`	0,05°	Тәулік	1981 жылдан; 50° о.е. – 50° с.е.
CHIRPS v3	`UCSB-CHC/CHIRPS/V3/DAILY_SAT`	0,05°	Тәулік	1981 жылдан; 60° о.е. – 60° с.е.
GPM IMERG	`NASA/GPM_L3/IMERG_V07`	0,1°	30 минут	2000 жылдан; жаһандық
ERA5-Land	`ECMWF/ERA5_LAND/DAILY_AGGR`	0,1°	Тәулік	1950 жылдан; құрлық (реанализ)

Қазақстан үшін маңызды

- **CHIRPS v2 Қазақстанның 50° с.е. солтүстігін қамтымайды**: Астана, Қостанай, Петропавл, Павлодар торға кірмейді
- Солтүстік өңірлерге — CHIRPS v3, IMERG немесе ERA5-Land
- Қыстағы қатты жауын-шашынды (қар) спутниктік өнімдер нашар бағалайды — реанализбен салыстырған жөн

Температура: LST пен T2m бір нәрсе емес

LST — Land Surface Temperature

- Жер **бетінің** радиациялық температурасы
- Жылулық ИҚ арналардан алынады (MODIS, 1 км)
- Тек **ашық аспанда** — бұлт астында дерек жоқ
- Жазда күндіз ауа температурасынан 10–20 °C жоғары болуы мүмкін
- Жер жамылғысына өте тәуелді

T2m — 2 м биіктіктегі температура

- Жерден **2 м биіктіктегі ауа** температурасы
- Реанализ: модель + бақылаулар (ERA5-Land, ≈ 11 км)
- Үздіксіз қатар, бос орын жоқ
- Метеостанция өлшейтін шамаға сәйкес келеді
- Тор ірі: таулы жерде қателік артады

Климаттық талдауға — T2m; қала жылу аралы, құрғақшылық пен өсімдік күйін зерттеуге — LST.

Бірліктер мен масштаб коэффициенттері

Деректер	Арна	Сақталған бірлік	Түрлендіру
ERA5-Land	`temperature_2m`	K	− 273,15 → °C
ERA5-Land	`total_precipitation_sum`	м	× 1000 → мм
CHIRPS	`precipitation`	мм/тәулік	қажет емес
GPM IMERG	`precipitation`	мм/сағ	× 0,5 → 30 минуттағы мм
MODIS LST	`LST_Day_1km`	сандық мән (DN)	× 0,02 → K, содан кейін − 273,15

Ең жиі қате — бірлікті тексермеу

- Әр жинақтың бірлігі мен масштаб коэффициенті каталог бетіндегі **Bands** кестесінде көрсетілген
- Жауын-шашын — **қосынды** (sum), температура — **орташа** (mean) арқылы агрегатталады

Талдау тізбегі

1 Аймақ

Нүкте, буфер немесе әкімшілік шекара

2 Жинақ

Өнім, кезең және арнаны таңдау

3 Бірлік

map() арқылы түрлендіру

4 Уақыт

Айлық, жылдық қосынды не орташа

5 Кеңістік

Аймақ бойынша орташа: reduceRegion

6 Нәтиже

График, CSV экспорты

Нүкте ме, аймақ па?

- **Нүкте:** станциямен салыстыруға ыңғайлы, бірақ бір пиксель кездейсоқ қателікке сезімтал
- **Аймақ:** орташа мән тұрақтырақ; жер бедері әртекті болса, мағынасы азаяды

Агрегаттау реті

- Тәуліктік мән → айлық → жылдық
- Ұзақ қатарды алдымен уақыт бойынша жинақтап, содан кейін графикке шығарған тиімді

Код: тәуліктік жауын-шашын қатары

```
// Алматы төңірегі: радиусы 20 км буфер
var almaty = ee.Geometry.Point([76.95, 43.25])
  .buffer(20000);

var rain = ee.ImageCollection('UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY')
  .filterDate('2023-01-01', '2024-01-01')
  .select('precipitation');

var chart = ui.Chart.image.series({
  imageCollection: rain,
  region: almaty,
  reducer: ee.Reducer.mean(),
  scale: 5566
}).setOptions({
  title: 'Алматы: тәуліктік жауын-шашын, 2023',
  vAxis: {title: 'мм/тәулік'}
});
print(chart);
```

1. **Аймақ**
   Нүктенің айналасындағы буфер бірнеше пиксельді қамтиды
2. **Жинақ**
   Бір жыл, бір арна
3. **График**
   Әр күн үшін аймақтық орташа есептеледі; scale — CHIRPS торы

Графикті Console-дан CSV түрінде жүктеп алуға болады.

Код: айлық жауын-шашын қосындысы

```
var months = ee.List.sequence(1, 12);

var monthly = ee.ImageCollection.fromImages(
  months.map(function(m) {
    return rain
      .filter(ee.Filter.calendarRange(m, m, 'month'))
      .sum()                        // айлық қосынды, мм
      .set('month', m);
  })
);

print(ui.Chart.image.series(
    monthly, almaty, ee.Reducer.mean(), 5566, 'month')
  .setChartType('ColumnChart')
  .setOptions({vAxis: {title: 'мм/ай'}}));
```

Не болып жатыр?

- ee.List.sequence — сервердегі тізім
- map() әр айға бір функцияны қолданады
- calendarRange — күнтізбелік ай бойынша сүзгі
- set() — суретке «month» қасиетін жазады, ол графиктің x осі болады

Жауын-шашын — sum(), температура — mean(). Шатастырмаңыз!

Климаттық норма және аномалия

Анықтама

Норма — базалық кезеңдегі көпжылдық орташа мән. ДМҰ ұсынатын қазіргі базалық кезең: 1991–2020 жж.

Аномалия = бақыланған мән − норма

- Температура: айырма, °C
- Жауын-шашын: айырма (мм) немесе нормаға пайызбен
- Маусымдылықты алып тастап, ерекше жылдарды көрсетеді



Шартты мысал: нақты бақылау деректері емес

Код: шілде айының температура аномалиясы

```
var era = ee.ImageCollection(
    'ECMWF/ERA5_LAND/MONTHLY_AGGR')
  .select('temperature_2m');

// 1991-2020 жж. шілде айының нормасы
var norm = era
  .filterDate('1991-01-01', '2021-01-01')
  .filter(ee.Filter.calendarRange(7, 7, 'month'))
  .mean();

// 2024 жылғы шілде
var jul = era
  .filterDate('2024-07-01', '2024-08-01')
  .first();

var anomaly = jul.subtract(norm);

Map.addLayer(anomaly, {min: -4, max: 4,
  palette: ['blue', 'white', 'red']}, 'Аномалия');
```

Түсініктеме

- Норма: 30 шілденің орташасы
- Айырма К-де есептеледі, бірақ К айырмасы °C айырмасына тең — түрлендіру қажет емес
- Палитра нөлге қатысты симметриялы: көк — суық, қызыл — жылы

Трендті бағалау

Әдіс	GEE-де	Ерекшелігі
Сызықтық регрессия	`ee.Reducer.linearFit()`	Қарапайым; шеткі мәндерге сезімтал
Сен көлбеуі	`ee.Reducer.sensSlope()`	Шеткі мәндерге төзімді
Манн–Кендалл	`ee.Reducer.kendallsCorrelation()`	Трендтің бар-жоғын тексереді

```
// annual: жылдық орташа суреттер жинағы,
// әр суретте 'year' қасиеті бар
var withTime = annual.map(function(img) {
  var t = ee.Image.constant(
      ee.Number(img.get('year'))).float();
  return t.rename('t').addBands(img);
});
var fit = withTime.reduce(
    ee.Reducer.linearFit());
// 'scale' арнасы: жылына өзгеріс
```

Ескеретін жайттар

- Климаттық трендке қатар ұзындығы кемінде **30 жыл** болғаны жөн
- Өнім нұсқасы не аспап ауысса, қатардың **біртектілігі** бұзылуы мүмкін
- Мәнділікті тексермей, көлбеуді ғана хабарлау жеткіліксіз

Спутниктік бағалаудың шектеулері

Жауын-шашын

- ИҚ әдісі жылы бұлттан жауған жаңбырды төмен бағалайды
- Қар мен мұз басқан бетте микротолқынды бағалау қиын
- Таулы аймақта орографиялық жауын-шашын нашар байқалады
- Станция сирек өңірлерде түзету әлсіз

Температура

- LST: бұлт астында дерек жоқ, қатарда бос орын көп
- LST түсіру уақытына тәуелді — тәуліктік орташа емес
- Реанализ: модель қателігі, ірі тор
- Тау мен жағалауда пиксель ішіндегі айырма үлкен

Нәтижені әрқашан жерүсті бақылауымен салыстырыңыз:

Bias
жүйелі ауытқу

RMSE
орташа квадраттық қателік

r
корреляция коэффициенті

Қолдану мысалдары

Құрғақшылық мониторингі

Жауын-шашын аномалиясы мен стандартталған жауын-шашын индексі (SPI) — егіншілік аймақтарына

Жылу толқындары

Тәуліктік максимум температураның нормадан ауытқуы және ұзақтығы

Қар еруі және су тасқыны

Көктемгі температураның жүрісі мен қар қоры — тасқын қаупін бағалауға

Қала жылу аралы

Қала мен оның төңірегіндегі LST айырмасы

Әр мысалда тізбек бірдей: дерек жинағы → бірлік → агрегаттау → норма → аномалия.

Қорытынды және өзін-өзі тексеру сұрақтары

Негізгі тұжырымдар

- Уақыттық қатар = тренд + маусымдылық + аномалия
- Жауын-шашын өнімдері қамтуы мен дәлдігі бойынша әртүрлі
- LST ≠ ауа температурасы
- Бірлік пен агрегаттау тәсілін әрқашан тексеру керек
- Спутниктік бағалау станция деректерімен салыстырылады

Сұрақтар

- CHIRPS v2 неліктен Астана үшін жарамайды?
- LST пен T2m айырмашылығы неде?
- Жауын-шашынға неге mean емес, sum қолданылады?
- Аномалия қалай есептеледі және не үшін керек?
- Трендті бағалауда қатар ұзындығы неге маңызды?

Зертханалық жұмыс 9: климаттық көрсеткіштердің уақыт бойынша өзгеруін зерттеу — таңдалған қала үшін жауын-шашын мен температура қатарлары.

Пайдаланылған дереккөздер

1. Funk C., Peterson P., Landsfeld M. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations — a new environmental record for monitoring extremes // Scientific Data. – 2015. – Vol. 2. – 150066.
2. Huffman G.J., Bolvin D.T., Braithwaite D. et al. NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG): Algorithm Theoretical Basis Document. – NASA GSFC.
3. Muñoz-Sabater J., Dutra E., Agustí-Panareda A. et al. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications // Earth System Science Data. – 2021. – Vol. 13. – P. 4349–4383.
4. Wan Z. New refinements and validation of the collection-6 MODIS land-surface temperature/emissivity product // Remote Sensing of Environment. – 2014. – Vol. 140. – P. 36–45.
5. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals (WMO-No. 1203). – Geneva: World Meteorological Organization, 2017.
6. Wilks D.S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. – 4th ed. – Amsterdam: Elsevier, 2019. – 818 p.
7. Earth Engine Data Catalog. – URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets

Назар аударғаныңызға рақмет!

Келесі: зертханалық жұмыс 9
Климаттық көрсеткіштердің уақыт бойынша өзгеруі

