

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики

(інститут)

Факультет інформаційних технологій

(факультет)

Кафедра Програмного забезпечення комп'ютерних систем

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня

магістра

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студента Мірошниченка Володимира Олександровича

(ПІБ)

академічної групи 122М-19-1

(шифр)

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(код і назва спеціальності)

на тему: *Методи, алгоритми та інформаційна технологія знаходження міських островів
тепла за допомогою супутникових знімків в інфрачервоному тепловому діапазоні*

В.О. Мірошниченко

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг овою	інституці йною	
розділ кваліфікаційної роботи				
спеціальний	Проф. Мороз Б.І.			
економічний	Доц. Касьяненко Л.В.			

Рецензент	Проф. Корнієнко В.І.			
-----------	----------------------	--	--	--

Нормоконтролер	Доц. Сироткіна О.І.			
----------------	---------------------	--	--	--

Дніпро
2020

Практична цінність результатів полягає у тому, що результати даної роботи можна використовувати для моніторингу аномально теплих зон міста та на основі цього впроваджувати заходи для покращення стану навколишнього середовища.

4 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок – кінець)
Аналіз теми та постановка задачі	08.09.2020-04.10.2020
Побудова системи алгоритмів знаходження містких островів тепла.	05.10.2020-31.10.2020
Аналіз результатів алгоритмів знаходження міських островів тепла та його удосконалення	01.11.2020-07.12.2020

Завдання видав

(підпис)

Мороз Б.І.

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Мірошниченко В.О.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 08.09.2020 р.

Термін подання кваліфікаційної роботи до ЕК 10.12.2020

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 79 стор., 25 рис., 3 таблиці, 3 додатки, 69 джерел.

Об'єкт дослідження: явище міських островів тепла

Предмет дослідження: методи та алгоритми знаходження міських островів тепла за допомогою супутникових знімків в інфрачервоному тепловому діапазоні.

Мета кваліфікаційної роботи: підвищення точності методу пошуку міських островів тепла.

Методи дослідження. Для виконання поставлених завдань були використані методи обробки космічних знімків, методи знаходження міських островів тепла.

Наукова новизна результатів кваліфікаційної роботи визначається тим, що удосконалено алгоритм пошуку міських островів тепла, в результаті чого, покращилася точність знаходження аномально теплих зон

Практична цінність. Результати, що були отримані в ході даної роботи можна використовувати для моніторингу аномально теплих зон міста та на основі цього впроваджувати заходи для покращення стану навколишнього середовища.

У розділі «Економіка» проведено розрахунки трудомісткості розробки програмного забезпечення, витрат на створення ПО і тривалості його розробки.

Список ключових слів: R, urban heat islands, land surface temperature, brightness temperature, ДЗЗ, електромагнітне випромінювання, електромагнітний спектр.

ABSTRACT

Explanatory note: 79 pages, 25 figures, 3 tables, 3 applications, 69 sources.

Object of research: the phenomenon of urban heat islands

Subject of research: algorithm for finding urban heat islands using land surface temperature data

Purpose of Master's thesis: to increase the accuracy of the algorithm for finding urban heat islands.

Research methods. To perform the tasks, methods of processing space images, methods of finding urban heat islands were used. The scientific novelty is to improve the search algorithm for urban heat islands.

Originality of research is in improvement of the algorithm for finding urban heat islands based on space images in the infrared thermal range.

Practical value of the results. The results obtained in the course of this work can be used to monitor abnormally warm areas of the city and on this basis to implement measures to improve the environment.

In the Economics section calculations of the complexity of software development, the cost of creating software and the duration of its development.

Keywords: R, urban heat islands, land surface temperature, brightness temperature, remote sensing, electromagnetic radiation, electromagnetic spectrum.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ОБЛАСТІ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ	12
1.1. Феномен міських островів тепла	12
1.2. Причини появи УНІ.....	14
1.3. Вплив УНІ на навколишнє середовище	15
1.4. Індекс міського теплового острова та його використання.....	17
1.5. Методів боротьби з УНІ.....	18
1.6. Висновки до першого розділу.....	19
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ПОШУКУ УНІ НА ОСНОВІ КОСМОЗНІМКІВ	20
2.1 Опис території дослідження	20
2.2 Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ)	21
2.2.1 Електромагнітне випромінювання	21
2.2.2 Взаємодія випромінювання з атмосферою	23
2.2.3 Електромагнітний спектр	25
2.2.4 Супутники які використовують для моніторингу температури....	26
2.2.5 Температура поверхні землі (LST)	28
2.3 Вибір знімку	29
2.4 Метод розрахунку LST.....	30
2.5 Критерії пошуку УНІ з LST.....	32
2.6 Оптимізація пошуку УНІ.....	33
2.7 Висновки до другого розділу	34
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОПТИМІЗОВАНОГО АЛГОРИТМУ ПОШУКУ УНІ.....	35
3.1 Вибір програмних інструментів	35
3.2 Вибір мови програмування	35
3.3 Мова програмування R	36
3.4 Використані пакети	36
3.5 Використані API	37
3.6 Додаткові сервіси.....	37
3.7 Опис алгоритму дій	37

3.8	Опис структури проекту	38
3.9	Результати реалізації	40
3.9.1	Отримання космознімку з Landsat-8	40
3.9.2	Отримання території міста Дніпро	43
3.9.3	Розрахунок NDVI	44
3.9.4	Розрахунок температури яскравості.....	45
3.9.5	Розрахунок температури поверхні землі	46
3.9.6	Порівняння отриманої температури з показники метеоцентру.....	47
3.9.7	Пошук УНІ та виділення аномально теплих зон.	48
3.9.8	Пошук адрес екстремальних УНІ	52
3.10	Аналіз отриманих результатів.....	53
3.11	Висновок до третього розділу	54
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА.....		55
4.1.	Визначення трудомісткості розробки програмного забезпечення	55
4.2.	Розрахунок витрат на створення програмного забезпечення.....	58
4.3.	Маркетингові дослідження	60
4.4.	Економічна ефективність	62
ВИСНОВОКИ.....		63
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		65
ДОДАТОК А. ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ.....		72
ДОДАТОК Б. ВІДГУК КЕРІВНИКА ЕКОНОМІЧНОГО РОЗДІЛУ		78
ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ДОКУМЕНТІВ НА ОПТИЧНОМУ НОСІЇ.....		79

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЧТ – абсолютно чорне тіло;

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі;

API – application program interface;

BT – brightness temperature;

GDAL – geospatial data abstraction library;

SCC – scene cloud cover;

TIRS – thermal infrared sensor;

LST – land surface temperature;

NDVI – normalized difference vegetation index;

UHA – urban heat islands.

ВСТУП

Актуальність дослідження. Після першої промислової революції у Великобританії, в кінці XVII століття, послідував різкий економічний ріст. До першої половини XIX століття, покращилася якість і продуктивність праці, зріс рівень урбанізації, почався стрімкий розвиток технологій. Внаслідок цього, на сьогоднішній день, ми маємо неймовірно високий рівень технологій, міста-мегаполіси та все більше і більше автономних виробництв. Однак, цей розвиток вкрай негативно позначається не тільки на мікроклімат населених пунктів, а й на глобальному кліматі.

З моменту, як людство почало займатися дистанційним зондування Землі (ДЗЗ) за допомогою супутників - з'явилася можливість вивчати і займатись моніторингом багатьох факторів, що впливають на навколишнє середовище. Зважаючи на ці можливості, в останні десятиліття, зростає науковий інтерес до вивчення проблеми так званих міських островів тепла (далі УНІ - urban heat islands).

Сам по собі цей термін описує феномен різниці температури в центрі міста і за її межами. Це добре помітно в містах-мегаполісах, де різниця може досягати від 1,0-3,0 °C вдень та до 12,0 °C і більше вночі. Причому варто відзначити, що чим довше ми віддаляємося від центру міста, тим різниця температур менше. На інтенсивність даних островів тепла впливає безліч факторів, таких як: ландшафт, малий рівень альbedo асфальту і будівель в порівнянні з природним ландшафтом, кількість та якість рослинності на території міста, повітряні потоки і т.п.

Даний феномен не тільки робить внесок у погіршення навколишнього середовища (як приклад: вплив на глобальне потепління), але і негативно позначається на людському здоров'ї.

Пошуки, дослідження і оцінка міських островів тепла є важливим завданням в сучасних дослідженнях навколишнього середовища. Її рішення дозволить використовувати ефективні методи боротьби і запобігання цих аномалій.

У даній роботі такі теплові острови були досліджені на території міста Дніпро, Дніпропетровської області. Дніпро - четверте місто-мільйонник за чисельністю населення України. Промисловість - головний фактор погіршення навколишнього середовища в місті та підвищення температури, зокрема.

Мета дослідження полягає у підвищення точності знаходження міських островів тепла на території міста.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані і вирішені такі завдання:

- Пошук та завантажити супутникових даних з Landsat-8;
- Знаходження температури поверхні території міста Дніпро та виділення теплових аномалій завдяки різних алгоритмам;
- Дослідження результатів пошуку найгарячіших точок міста та дати обґрунтування їх появи;
- Вдосконалення алгоритму пошуку найгарячіших точок.

Об'єкт дослідження: явище міських островів тепла

Предмет дослідження: методи та алгоритми знаходження міських островів тепла за допомогою супутникових знімків в інфрачервоному тепловому діапазоні.

Методи дослідження. Для виконання поставлених завдань були використані методи обробки космічних знімків, методи знаходження міських островів тепла.

Наукова новизна результатів кваліфікаційної роботи визначається тим, що удосконалено алгоритм пошуку міських островів тепла, в результаті чого, покращилася точність знаходження аномально теплих зон.

Практична цінність. Результати, що були отримані в ході даної роботи можна використовувати для моніторингу аномально теплих зон міста та на основі цього впроваджувати заходи для покращення стану навколишнього середовища.

Особистий внесок автора:

1. Наукові результати роботи отримані автором самостійно.
2. Вибір методів досліджень і технологій реалізації;
3. Реалізація алгоритмів пошуку міських островів тепла;
4. Розробка теоретичної частини роботи, в якій досліджені і систематизовані знання про існуючі підходи до пошуку міських островів тепла та покращення алгоритму їх пошуку;
5. Оцінка отриманих результатів.

Структура і обсяг роботи. Робота складається з вступу, трьох розділів і висновків. Містить 79 сторінки, в тому числі 50 сторінок тексту основної частини з 25 рисунками, списку використаних джерел з 69 найменуваннями на 8 сторінках, 3 додатка на 8 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ОБЛАСТІ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ

1.1. Феномен міських островів тепла

Міський острів тепла (далі УНІ) – міська територія, температура повітря якої перевищує температуру в приміській місцевості. При цьому, температурна різниця зазвичай більша вночі, ніж у день. Це пов'язане з тим, що більшість різних споруди, які були нагріті за весь день мають низький показник альбедо, яких не дає будівлям швидко охолонути. Найсильніші прояви різниці температур у місті та за його межами можна побачити у літній та зимній періоди. Даний феномен вперше був досліджений і описаний хіміком та метеорологом Люком Говардом, ще в 1810х роках [9].

Приблизно половина людського населення у світі живе в міських районах. Найближчим часом очікується, що глобальний темп урбанізації збільшиться на 70% від сучасного міського населення у світі до 2030 року, оскільки виникають міські агломерації та триває міграція населення із сільських у міські / заміські райони [56]. Таким чином, не дивно, що негативні наслідки, пов'язані з урбанізацією, викликають дедалі більшу стурбованість, що привертає увагу людей у всьому світі.

Урбанізація негативно впливає на навколишнє середовище головним чином через забруднення, модифікацію фізико-хімічних властивостей атмосфери та покриття поверхні ґрунту. Хоча острови тепла можуть утворюватися в будь-якій сільській чи міській місцевості та у будь-якому просторовому масштабі, містам надають перевагу, оскільки їх поверхні схильні виділяти велику кількість тепла. Тим не менше, УНІ негативно впливає не тільки на мешканців міських околиць, а й на людей та пов'язані з ними екосистеми, розташовані далеко від міст. Насправді УВТ опосередковано пов'язані зі зміною клімату через їхній внесок у парниковий ефект, а отже, і в глобальне потепління. Концентрація тепла в міських районах створює ризики для здоров'я як через

вплив тепла, так і через посилене утворення забруднювачів повітря, особливо озону [56].

Сильний вплив міського острова тепла на нічні температури обмежує здатність людей охолоджуватися та відновлюватися до спеки наступного дня, а отже, збільшує ризик захворювань та летальних випадків. Серед найбільш сприйнятливих до тепла є вагітні жінки, маленькі діти, люди похилого віку та люди з певними раніше існуючими захворюваннями, такими як діабет або серцеві захворювання, а також люди, які працюють або займаються спортом на відкритому повітрі [29].

Зафіксовано, що серйозні збільшення смертності, госпіталізацій та відвідувань невідкладної допомоги трапляються під час хвиль спеки. Крім того, навіть у нетерпеливий період існують чітко задокументовані зв'язки між підвищеною температурою та рядом проблем зі здоров'ям. У Каліфорнії зафіксовано збільшення кількості відвідувань лікарень та відвідувань швидкої допомоги через підвищену спеку, включаючи відвідування через респіраторні захворювання, хвороби серця, інфаркти, інсульт, діабет, ниркову недостатність, кишкові інфекції, тепловий удар, дегідратацію та астму. При кожному підвищенні температури на 10° за Фаренгейтом спостерігається майже 9-відсоткове збільшення передчасних пологів [33].

Хоча здається, що більш жаркі райони матимуть більш інтенсивні міські теплові острови та гірший вплив на здоров'я, дослідження показали, що, як не дивно, люди, які живуть у нормально прохолодних районах, можуть бути більш сприйнятливі до впливу на здоров'я від підвищення температури. Наприклад, під час каліфорнійської спекотної хвилі 2006 року найбільше збільшення кількості відвідувань швидкої допомоги відбулося в прибережних містах, хоча найсильніша спека була вглиб країни [33].

Оскільки міські острови тепла призводять до вищих температур у певній місцевості, вони також мають значний вплив на споживання енергії. Додатковий кондиціонер необхідний, щоб урівноважити підвищені температури, збільшуючи тим самим викиди парникових газів. Ця проблема особливо

серйозна, оскільки прогнозується, що інтенсивність тепла значно зросте із зміною клімату, тим самим посилюючи міський острівний цикл [21].

1.2. Причини появи УНІ

Поява таких островів тепла прямо пов'язана з сумою мікрокліматичних змін через антропогенний вплив. Відзначають цілий ряд факторів, що впливають на збільшення температури в межах міста [18]. До них відносять:

- Маленьке альbedo різних бетонних і кам'яних будівель, стін, асфальтних покриттів через використання матеріалів темного кольору;
- Зменшення випарів через «стоки» тепла до трас і зміни повітряних потоків (street canyons);
- Погіршення кількості та якості рослинності, що веде до спаду рівня транспірації рослин;
- Особливості рельєфу території;
- Малі запаси вологи в рослинах для поглинання входить температури;
- Ущільнення будівель і розширення міст;
- Збільшення кількості різних виробництв на території міста;
- Велика кількість автомобільного транспорту;
- Прямий вплив джерел тепла за рахунок опалення будівель і т.п.

Слід також відзначити сезонність даних аномалій. Контраст температур сильно варіюється в залежності від пори року. Так, наприклад, в літку різниця температури може бути приблизно 3-4°C (рис. 1.1) [49], а взимку може доходити до 15-20°C. Хорошим способом визначення таких аномалій є виміри температури, зроблені на території, ще до будівництва на ній населеного пункту. Однак, такий вид виміру є вкрай рідкісним [26].

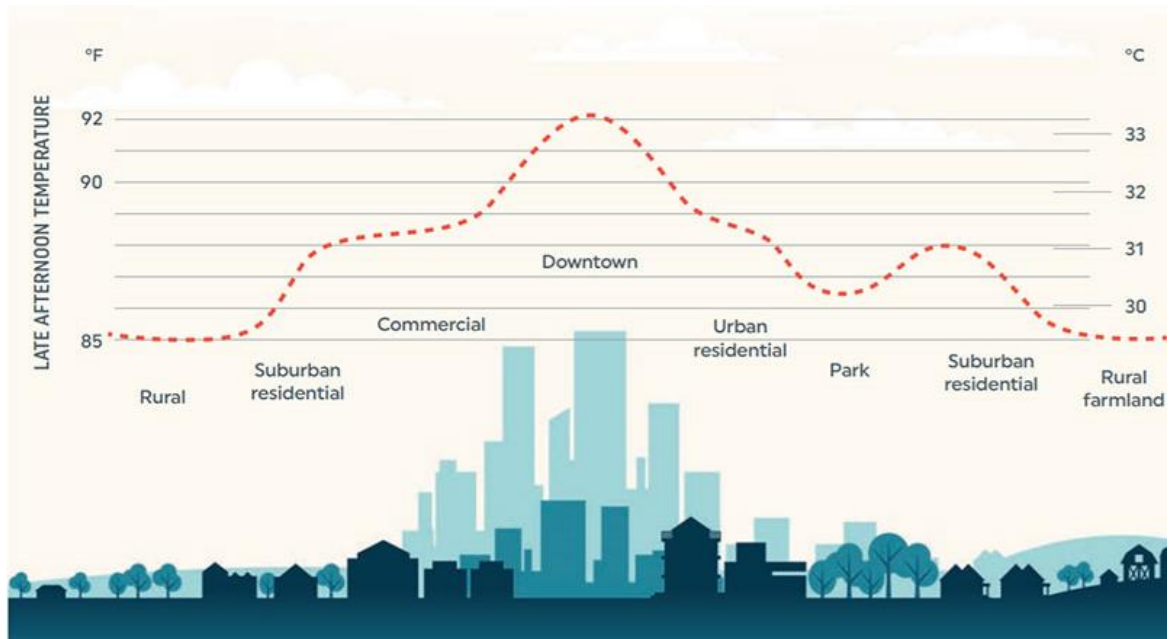


Рис. 1.1. Графік температури в різних зонах міста, що ілюструє ефект міських островів тепла

1.3. Вплив УНІ на навколишнє середовище

Говорячи про вплив УНІ, слід зауважити про дуже негативний ефект на всі живі організми. Зокрема – на рибу, адже підвищення температури в місті незмінно тягне за собою підвищення температури водних ділянок, які перебувають на його території: озер, річок, ставків, морського і океанського узбережжя т.п. Це, в свою чергу, може привести до смерті живих організмів, що населяють ці води.

Окрім риби також можуть постраждати птахи та звірі, адже через зміни мікроклімату може зменшитися необхідну кількість їжі. Крім тварин, збільшення температури представляє високий ризик для людей. Було зафіксовано збільшення звернень людей з причин теплових ударів, непритомності. Також, дослідження відділу енергетики США виявило, що висока інтенсивність УНІ корелює з підвищеними концентраціями забруднювачів повітря, які збираються вночі, що може вплинути на якість повітря наступного дня [31].

В основному було продемонстровано, що міста з мінливим ландшафтом та кліматом можуть мати температуру на кілька градусів вище, ніж їх сільські околиці (тобто ефект УНІ), явище, яке, якщо зросте в майбутньому, може

призвести до подвоєння теплового співвідношення між містом та селом в наступні десятиліття. Отже, оцінка УНІ та стратегії щодо її пом'якшення стають все більш важливими для державних установ та дослідників багатьох постраждалих країн.

Як і слід було очікувати, характерний нахил до потепління міських поверхонь посилюється під час спекотних днів та спекотних хвиль, що підсилює підвищення температури повітря, особливо у непровітрюваних відкритих приміщеннях або внутрішніх просторах житлових та комерційних будівель з поганою теплоізоляцією. Це збільшує загальне споживання енергії на охолодження (тобто охолодження та кондиціонування повітря), отже, збільшує виробництво енергії на електростанціях, що призводить до більш високих викидів тепличних парникових газів, таких як вуглекислий газ, а також інших забруднювачів, таких як сірка діоксид, чадний газ і тверді частинки. Крім того, підвищений попит на енергію означає більші витрати для громадян та органів влади, що у великих мегаполісах може спричинити значний економічний вплив. З іншого боку, УНІ сприяють високим температурам повітря, що сприяє утворенню озону [13, 20].

Встановлено прямиий зв'язок між піками інтенсивності УНІ та пов'язаними з теплом захворюваннями та летальними наслідками внаслідок випадків теплового дискомфорту на серцево-судинну та дихальну системи людини. Тепловий удар, виснаження тепла та спазми є одними з основних стресових подій, тоді як велика кількість захворювань може погіршитися, особливо у людей похилого віку та дітей. Подібним чином показано, що захворювання органів дихання та легенів пов'язані з високим рівнем озону, спричиненим спекотними подіями.

Аномальна теплота в місті створює відносно низький тиск повітря, що призводить до того, що прохолодне сільське повітря сходиться до міського центру, змушуючи таким чином тепле повітря підніматися (тобто конвекцію), яке на більших висотах конденсується і випадає в осад. Дослідження, проведені в кількох містах США, таких як Атланта, Нью-Йорк, Чикаго та Вашингтон,

показали, що викликані містом опади та грози в основному ініціюються УНІ. Інші метеорологічні впливи УНІ пов'язані зі зменшенням частоти та інтенсивності снігопаду, а також зменшенням добового та сезонного діапазону температур замерзання. Нарешті, високі температури можуть спричинити фізіологічні та фенологічні порушення на декоративних рослинах та міських лісах [31].

Хоча в зимовий час УНІ може призвести до економії енергії, існує велика згода дослідників, що ця вигода переважає згубний вплив, який спостерігається влітку.

1.4. Індекс міського теплового острова та його використання

До цього часу не було можливості кількісно визначити ступінь та тяжкість міського острова тепла для окремих міст. Не було «індексу» для визначення міського теплового острова, а також карт, які могли б показати, де і наскільки інтенсивно вони проявляються в місцевому масштабі. Щоб усунути цю прогалину, у 2012 році законодавчий орган Каліфорнії вимагав від Каліфорнійського агентства із захисту навколишнього середовища (CalEPA) розробити Індекс міського теплового острова. Індекс розроблений таким чином, що «міста можуть мати кількісну ціль щодо зниження тепла» [36].

У 2015 році CalEPA випустила дослідження під назвою «Створення та складання індексу міського теплового острова для Каліфорнії». Він визначає та досліджує характеристики міського острова тепла, а також науково призначає оцінку на основі атмосферного моделювання для кожного переписного тракту в більшості міських районів та в околицях штату. Дослідження також створило інтерактивні карти УНІ. Оцінки базуються на погодинному моделюванні атмосфери протягом двох тримісячних літніх сезонів. Модельовані роки включають 2006 рік (рік великої теплової хвилі) та 2013 рік (останній рік, за яким були дані). Дослідження було проведено під керівництвом та експертним

оглядом з боку багато агентської наукової робочої групи з нагляду за проектами та протестовано на основі фактичних метеорологічних даних.

Індекс може мати різноманітне використання. Міські острови тепла можуть бути пріоритетними сферами освіти та готовності населення до надзвичайної спеки. Поряд з іншими екологічними дослідженнями, такими як CalEnviroScreen, загальнодержавна карта може допомогти визначити та визначити пріоритети територій у штаті для пом'якшення наслідків або інших дій. Уряди можуть зацікавити карти окремих міст у звіті як інструмент для визначення пріоритетів місцевих заходів, таких як озеленення міст та проекти, орієнтовані на більш прохолодні дахи та тротуари [36].

1.5. Методів боротьби з УНІ

На даний момент вже розроблені кілька методів вирішення проблеми цієї теплової аномалії [36]. До їх списку входять:

1. Використання «білих дахів» - перефарбування дахів будинків в білий колір. Це дозволить збільшити альбедо будівель, що в свою чергу зменшить нагрів і температуру в місті;
2. «Зелені даху» - суть ідеї аналогічна до попереднього пункту, з різницею в тому, що на даху будівель буде посажена рослинність, яка буде поглинати надходження тепла;
3. Посадка більшої кількості дерев в місті, а також збільшення кількості різних скверів і парків міста. Та окрім цього, підвищення якості рослинності на території міста (наглядання за станом рослинності в цілому).
4. Зменшити кількість шкідливих викидів від заводів та машин. Це цього можна досягти, переходячи на електрокари та виколисуючи більш нові технологій очистки повітря на території заводів.

1.6. Висновки до першого розділу

Проблема міських теплових островів та їх впливу на довкілля дуже гостро стоїть в останні десятиліття. Але наявність високого технологічного розвитку дає людству можливість слідкувати за їх появою та поширенням. На сьогоднішній день вже є методи боротьби із цими тепловими аномаліями, проте для ефективних результатів необхідне мати актуальні дані, які покажуть які саме методи та як треба використовувати. Завдяки аналізу космічних знімків може надати необхідну інформацію для досить великої території.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ПОШУКУ УНІ НА ОСНОВІ КОСМОЗНІМКІВ

2.1. Опис території дослідження

Територією дослідження було обрано місто Дніпро. Воно було засновано в 1776 році і на момент 01.12.2018 року мало населення 1000717 чоловік. Крім цього, Дніпро - один з найбільших промислових, транспортних і економічних центрів, а також центр металургії України (особливо чорної металургії). На рис. 2.1 зображений фрагмент супутникового знімку, що покриває територію досліджуемого міста.

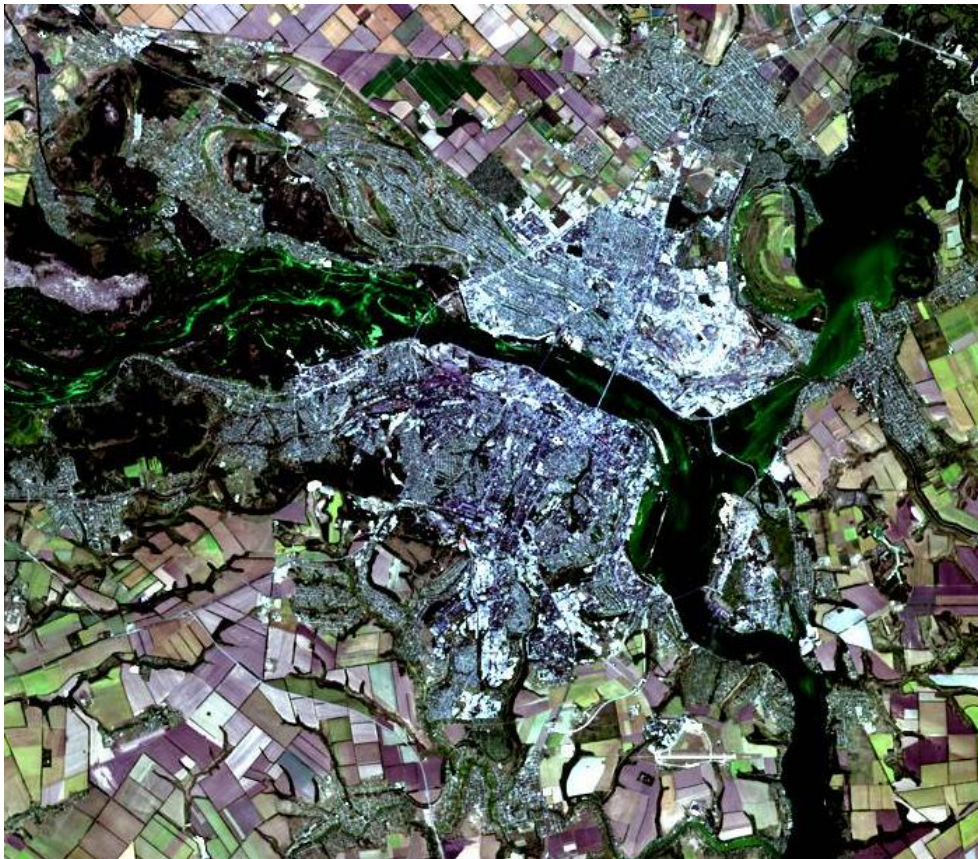


Рис. 2.1. Зображення міста Дніпро з супутника Landsat-8. Natural color (Band 2, Band 3, Band 4)

2.2. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ)

ДЗЗ можна дати визначення як процесу або методу добутку інформації про об'єкт, частину поверхні або явищі без прямого контакту із цим об'єктом [25]. Суть методу – інтерпретація результатів вимірювання електромагнітного випромінювання, яке відбивається або випромінюється об'єктом і реєструється в віддаленій від нього точці простору [52]. Методи, які використовуються у цій роботі пов'язані із використанням даних, отриманих з сенсорів космічного апарату Landsat-8.

2.2.1. Електромагнітне випромінювання

Основу дистанційного зондування складає вимір енергії електромагнітного випромінювання від різних джерел, найважливішим з яких є Сонце [57]. Більшість сенсорів, які використовуються в дистанційному зондуванні, призначені для вимірювання параметрів відбитого сонячного світла (так зване пасивне ДЗЗ) (рис. 2.2 (а)) [66]. Інші реєструють власне випромінювання Землі або самі є джерелами випромінювання (активне ДЗЗ) (рис. 2.2 (б)) [66].

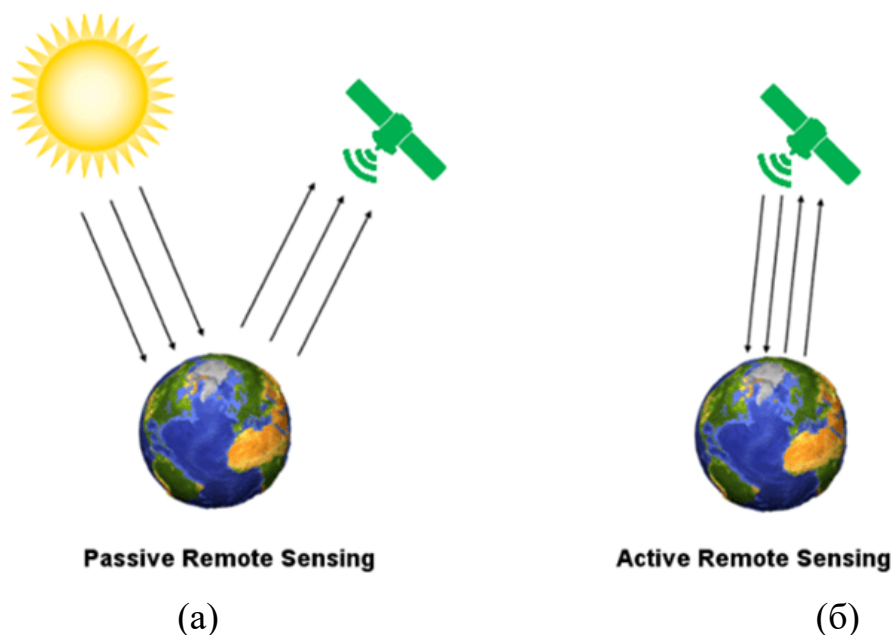


Рис. 2.2. а) Схема пасивного ДЗ; б) Схема активного ДЗ

Фізичні основи дистанційного зондування базуються на теорії випромінювання. Введемо основні поняття:

Джерело випромінювання - це деякий тіло (поверхня, точка), що випромінює енергію.

Відповідно до першого закону Кірхгофа при термодинамічній рівновазі з навколишнім середовищем все тіла випромінюють. У стані термодинамічної рівноваги поглинається в одиницю часу ділянкою поверхні енергія, яка дорівнює енергії, випромінюваної в той же проміжок часу тієї ж поверхнею (другий закон Кірхгофа) [65].

Абсолютно чорне тіло (АЧТ) - поняття теорії теплового випромінювання, що означає тіло, яке повністю поглинає будь-яке падаюче на його поверхню електромагнітне випромінювання, незалежно від температури цього тіла. Чорне тіло має максимальну здатність поглинати випромінювання в будь-якій області спектра (поглинальна здатність, що дорівнює відношенню поглиненої енергії до енергії падаючого випромінювання, дорівнює 1 при випромінюванні всіх частот, напрямків поширення і поляризації) [57].

Випромінювання абсолютно чорного тіла може знаходитися в рівновазі з речовиною (за однакової кількості потоків випромінювання, що випускається і поглинається абсолютно чорним тілом, що має певну температуру). За своїм характеристикам таке випромінювання являє собою рівноважне випромінювання і підкоряється закону випромінювання Планка [53]:

$$B(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (2.1)$$

де

$B(\nu, T)d\nu$ – становить кількість випроміненої енергії з одиниці площі поверхні в одиницю часу в одиницю тілесного кута на частоті ν абсолютно чорним тілом з температурою T ;

h – стала Планка ($6.62607015 \times 10^{-34}$ Дж·с);

c – швидкість світла (299 792 458 м/с);

k – стала Больцмана ($1,380649 \times 10^{-23}$ Дж·К⁻¹).

З ростом температури підвищується повний потік випромінювання, а максимум у спектрі зсувається в бік коротких хвиль. Повна енергія у всьому інтервалі довжин хвиль описується формулою Стефана-Больцмана [58]:

$$F = \sigma T^4, \quad (2.2)$$

де

$\sigma \approx 5,6704 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) стала Стефана—Больцмана.

На довжинах хвиль більше 4 мкм власне теплове випромінювання Землі перевершує випромінювання Сонця. Реєструючи це випромінювання, можна досить точно оцінювати температуру суші, водної поверхні, хмар.

Коефіцієнт альbedo α визначає ступінь білизни поверхні ($0 < \alpha < 1$). У абсолютно чорного тіла $\alpha = 0$ (нічого не розсіює, все поглинає), у абсолютно білого тіла $\alpha = 1$ (всі розсіює, нічого не поглинає) [58].

2.2.2. Взаємодія випромінювання з атмосферою

Атмосфера значно впливає на отримані дані, як правило двома способами: шляхом розсіювання в атмосфері та поглинанням енергії земною поверхнею. Ця взаємодія показана на рис. 2.4 [67].

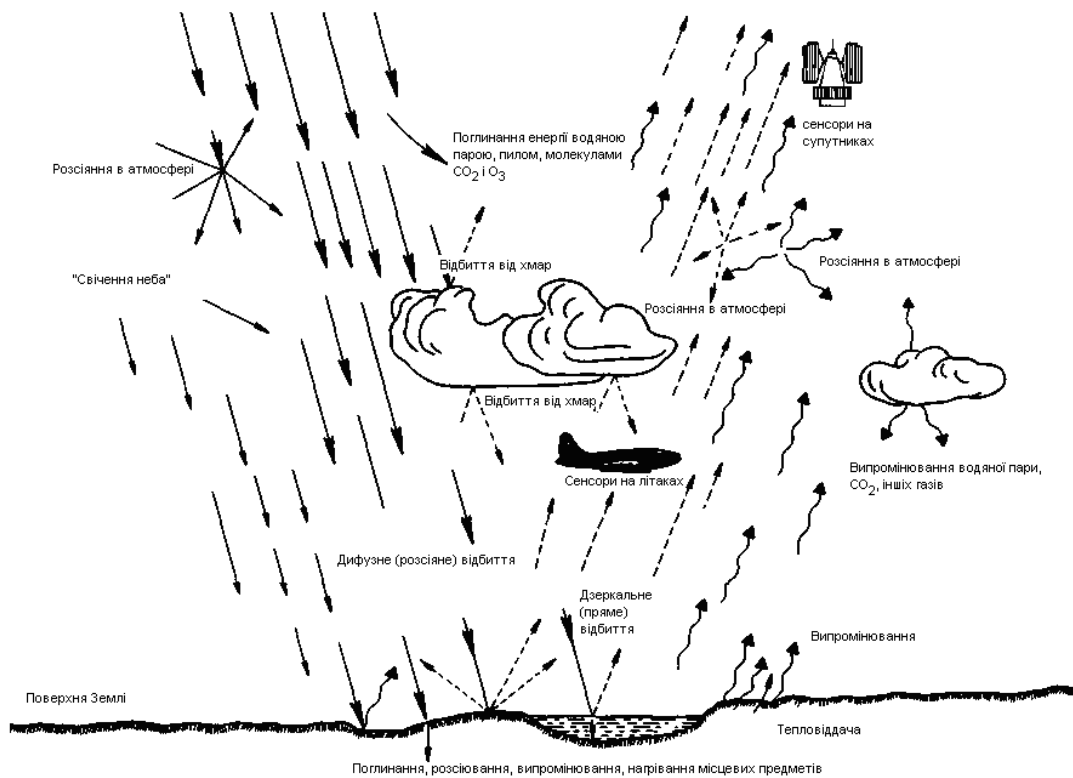


Рис 2.4. Схема взаємодії електромагнітного випромінювання з атмосферою

Причиною розсіювання є зміна напрямку розповсюдження електромагнітних хвиль через їх взаємодії з молекулами газів, пилу та водяних капель присутніх в атмосфері. Розрізняють три види розсіювання [58]:

1. Розсіювання Релея – коли довжина хвилі випромінювання набагато більша за розмір частинок що розсіюються. Саме через нього ми бачимо небо синім та червоним.
2. Розсіювання Мі – трапляється коли довжина хвилі дорівнює розмірам розсіювальних часток.
3. Неселективне розсіювання – це коли розмір частинок в атмосфері набагато більший за розмір довжини хвилі.

Через усі ці фактори, сканування земної поверхні може вестися лише у так званих «вікнах прозорості». Вони існують в інтервалах 0,3-5мкм, 8-14мкм, а також 30-80мкм. У цій роботі була використана зйомка у перших двох інтервалах (3й та 4й канали – перший інтервал, 10й та 11й канали - другий). В останньому

інтервалі провадиться радіотеплова зйомка. На рис. 2.5 [68] показані вікна прозорості та типи зйомок, які у них робляться.

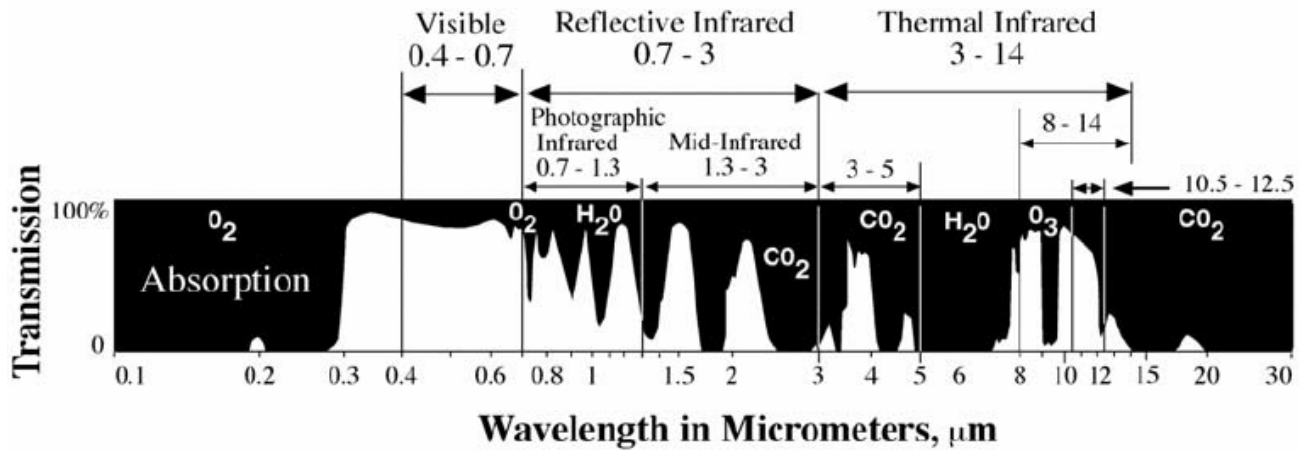


Рис 2.5. Схема вікон прозорості

2.2.3. Електромагнітний спектр

Усі тіла, якщо мають температуру більшу за абсолютний нуль ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), можуть випромінювати електромагнітні хвилі, які, у свою чергу, мають різну довжину. Діапазон від гама-випромінювання до радіохвиль має назву «Електромагнітний спектр» [69] (рис. 2.6).

Як було показано вище на (рис. 2.5) - Земля з космосу переважно досліджується в оптичній частині електромагнітного спектра (0.3 - 15мкм). Оптичний діапазон поділяється на:

- видиму частину спектру (0.4 - 0.72 мкм);
- ближній інфрачервоний (далі ІЧ) діапазон (0.72 - 1.3 мкм);
- середній ІЧ діапазон (1.3 - 3.0 мкм);
- теплової ІЧ діапазон (8 - 15 мкм).

У даній роботі найбільший інтерес представляє тепловий ІЧ діапазон (10й або 11й канали Landsat-8), тому що саме за його допомогою ми можемо отримати температура поверхні Землі, а також ближній інфрачервоний (5й канал) та 4й канал (червоний), бо завдяки ньому ми можемо розрахувати нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI) [55].

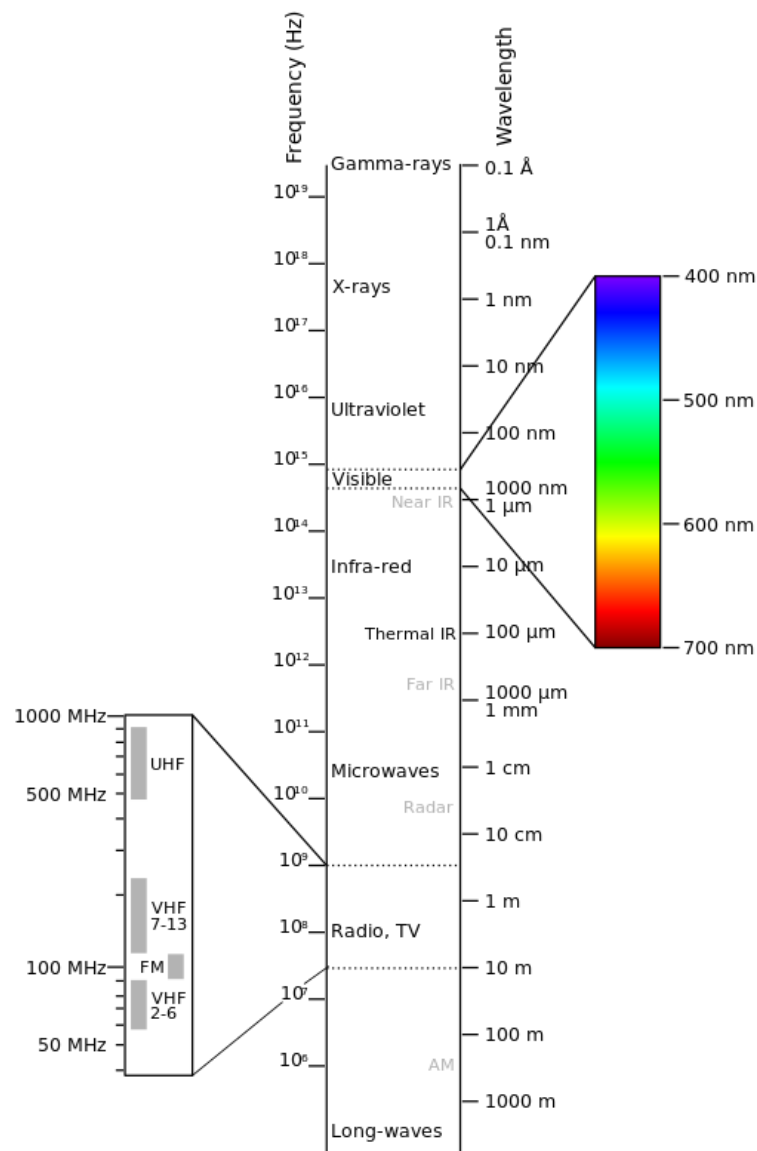


Рис. 2.6. Електромагнітний спектр

2.2.4. Супутники які використовують для моніторингу температури

Теплові сенсори було встановлені ще у найпершому супутнику, який був запусканий для отримання космознімків з поверхні Землі (американський супутник TIROS-1). На даний момент основні системи, які роблять теплову зйомку: AVHRR/NOAA та MODIS/Terra – низько просторова роздільність. ASTER/Terra, ETM+/Landsat-7, TIRS/Landsat-8 – роздільність як на звичайних ресурсних зйомках [65]. Для оптимального пошуку УНІ необхідне якомога

більша роздільна здатність, саме тому ми не розглядаємо перші два супутники. Нижче, у табл. 1.1, представлена роздільна здатність останніх 3х сенсорів.

Таблиця 1.1

Роздільна здатність сенсорів супутників Terra, Landsat-7, Landsat-8

Назва супутника	Сенсор	Канал	Роздільна здатність
Terra	ASTER (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)	B10-B14	90м
Landsat-7	ETM+ (The Enhanced Thematic Mapper Plus)	B6	60м
Landsat-8	TIRS (Thermal Infrared Sensor)	B10, B11	30м

Згідно з таблицею ми можемо побачити, що найкращий вибір для нас – буде використовувати дані зі сенсора TIRS супутнику Landsat-8. На рис. 2.7 можна побачити різницю каналів B6 та B10, B11 сенсорів ETM+ і TIRS відповідно [51]. У сенсора Landsat-8 є більш вузький спектр. Використовуючи дані з Landsat-8 частіше використовують саме 10й канал, бо він має трохи більшу градацию.

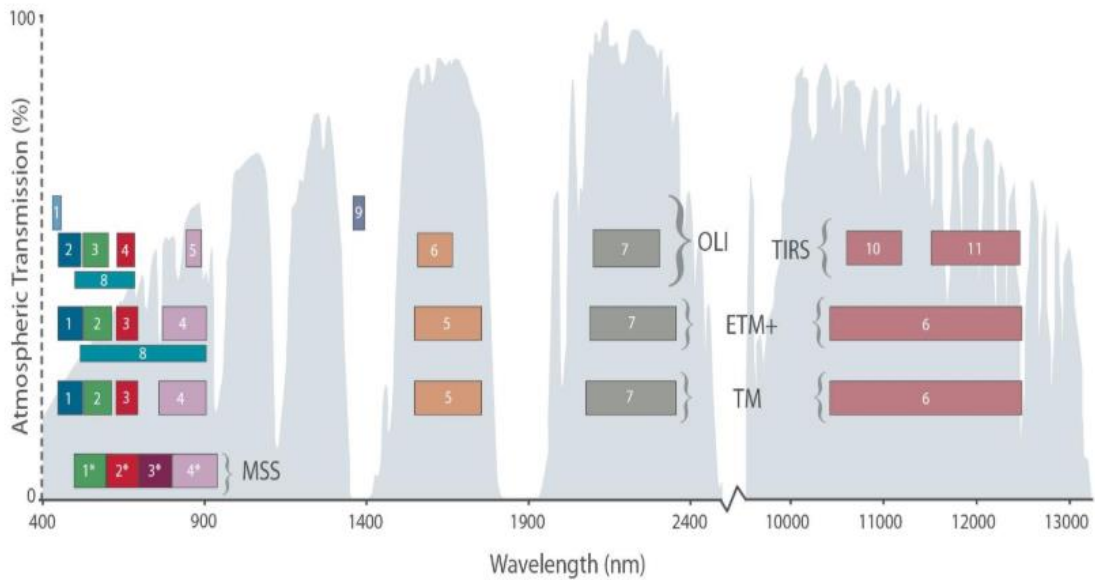


Рис. 2.7. Розташування каналів всіх Landsat-ів у вікнах прозорості

2.2.5. Температура поверхні землі (LST)

Перш за все слід зауважити, що температура повітря, яку ми можемо отримати подивившись на термометр та температура поверхні землі, яку ми отримуємо завдяки супутникам не є одним і тим самим, але вони мають сильний зв'язок. Температура поверхні землі (Land surface temperature, LST) - це радіаційна температура «шкіри» землі, отримана від сонячного випромінювання. Спрощеним визначенням було б те, наскільки гаряче "поверхня" Землі відчувала б на дотик в певному місці. З точки зору супутника, «поверхня» - це те, що він бачить, коли дивиться через атмосферу до землі. Це може бути сніг і лід, трава на газоні, дах будівлі або листя в лісу. Температура земної поверхні не є такою ж, як температура повітря, яка включена в щоденний звіт про погоду. Саме завдяки LST ми можемо знайти УНІ. У свою чергу, температура повітря на поверхні землі (LSAT) - це температура повітря поблизу поверхні Землі що зазвичай вимірюється від 1,5 до 2 м загальними метеорологічними станціями, розподіленими по території.

2.3. Вибір знімку

При виборі знімку треба завжди дивитися на те, наскільки великим був відсоток хмарності на момент зйомки, бо при його занадто сильному показнику буде неможливо отримати коректну температуру. Саме захмареність (Scene Cloud Cover - SCC) грає основну роль у виборі сцени з якою ми будемо працювати. На рис. 2.8 можна добре побачити різницю між майже безхмарним знімком (а) та знімком з занадто великим процентом SCC (б). Для отримання коректного результату аналізу LST необхідно шукати знімок літнього або зимового періоду. Тому що, у ці сезони найкраще видно контраст температур [61].

Окрім SCC, треба звернути увагу на розташування предмета дослідження, бо може статися так, що об'єкт дослідження знаходиться на самому краю сцени, або взагалі його частина не попала на знімок. Для коректного вибору шляху супутника (path) та рядка (row) слід використовувати спеціальні сервіси [46].

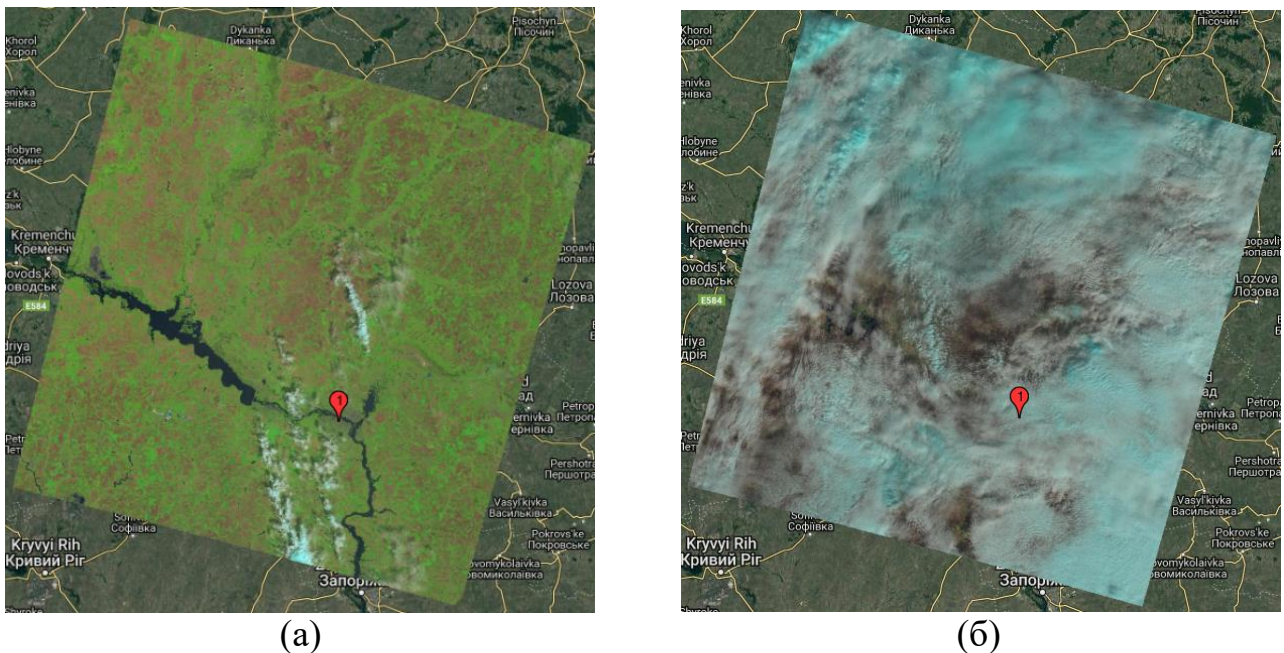


Рис. 2.8. (а) – Знімок з Landsat-8. м. Дніпро за 21/05/2019 при SCC – 4, 88%. (б) – знімок за 11/03/2019 при SCC – 94,94%

2.4. Метод розрахунку LST

Для отримання LST потрібно здійснити обробку продукту Landsat Collection Level-1 – сцени, що отримана завдяки сенсору TIRS та вже геометрично та радіометрично калібрована. Даний метод оснований на праці [35]. Зображення далі необхідно обробити для отримання значень енергетичної яскравості верхньої частини атмосфери (Top Of Atmosphere - TOA), для цього використовується формула.

$$L_{\lambda} = M_{\lambda} \cdot Q_{cal} + A_{\lambda}, \quad (2.2)$$

де

L_{λ} – енергетична яскравість; Q_{cal} – відкаліброване значення пікселя;

M_{λ}, A_{λ} – каналні фактори мультиплікативного та адитивного перемасштабування з файлу метаданих відповідно.

Після отримання TOA необхідно перетворити його на температурну яскравість [35].

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)}, \quad (2.3)$$

де

T_B – ефективна температура на супутнику (у Кельвінах);

L_{λ} - спектральна енергетична яскравість (Вт/(м²·ср·мкм));

K_1, K_2 – калібрувальні константи з фалу метаданих.

Проте значення температури яскравості не є LST, а швидше за все змішаним сигналом, що включає енергію випромінювання Землі, висхідну та низхідну енергетичну яскравість. Випромінювальна здатність земної поверхні є

одним з основних параметрів для одержання LST. Будемо використовувати метод граничних значень стандартизованого індексу відмінностей рослинного покриву (NDVI) [55].

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR}-\text{RED}}{\text{NIR}+\text{RED}}, \quad (2.4)$$

де

NIR — канал близького інфрачервоного випромінювання (Band 5);

RED — червоного випромінювання (Band 4).

Випромінювальна здатність земної поверхні може оцінюватись за методом, представленим у праці [55]. Перекласифікація значень NDVI у випромінювальну здатність наведена у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Оцінка випромінювальної здатності за NDVI

$\text{NDVI} < 0.185$	0.995
$-0.185 \leq \text{NDVI} \leq 0.157$	0.970
$0.157 \leq \text{NDVI} \leq 0.727$	$1.0094 + 0.047 \ln(\text{NDVI})$
$\text{NDIV} > 0.727$	0.990

Тепер, коли ми маємо випромінювальну здатність, то ми можемо розрахувати LST, використовуючи метод з праці [35].

$$T = \frac{T_B}{1 + (\lambda \cdot \frac{T_B}{\rho}) \ln \varepsilon}, \quad (2.5)$$

де

λ — довжина хвилі енергетичної яскравості (для 10го каналу Landsat-8, $\lambda = 12\text{мкм}$);

$$\rho = h \cdot c / \sigma \quad (1,438 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К});$$

σ — константа Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К);

h — константа Планка ($6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с); c — швидкість світла у вакуумі ($2,998 \cdot 10^8$ м/с)

2.5. Критерії пошуку УНІ з LST

Після отримання температури необхідно з'ясувати як можна знайти острів тепла. З першого підрозділу було з'ясовано, що УНІ – це територія, температура якої перевищує температуру навколишньої місцевості. Але наскільки вона повинна бути більшою? Чи потрібно вважати різницю у 2-3°C температурною аномалією, чи ця різниця повинна бути 5-7°C або більше? Саме для того, щоб коректно виділити аномальні території потрібно мати критерій оцінювання.

Використовуючи формулу для класифікації УНІ з праці [16], ми можемо виділити території, на яких маємо високі температури. На рис. 2.9 показана карта міста з виділенням усіх УНІ.

$$LST > \mu + 0.5 \cdot \delta, \quad (2.6)$$

де

μ - середнє арифметичне від LST;

δ - стандартне відхилення.

Як можна побачити з рис 2.9, дуже значна територія міста була виділена, але покрита територія є досить великою і для впровадження дій, направлених на зниження температур та покращення ситуації, використовуючи ці результати – неможлива. Нам необхідно оптимізувати виділення УНІ, для того щоб отримати тільки ділянки з екстремальною температурою.

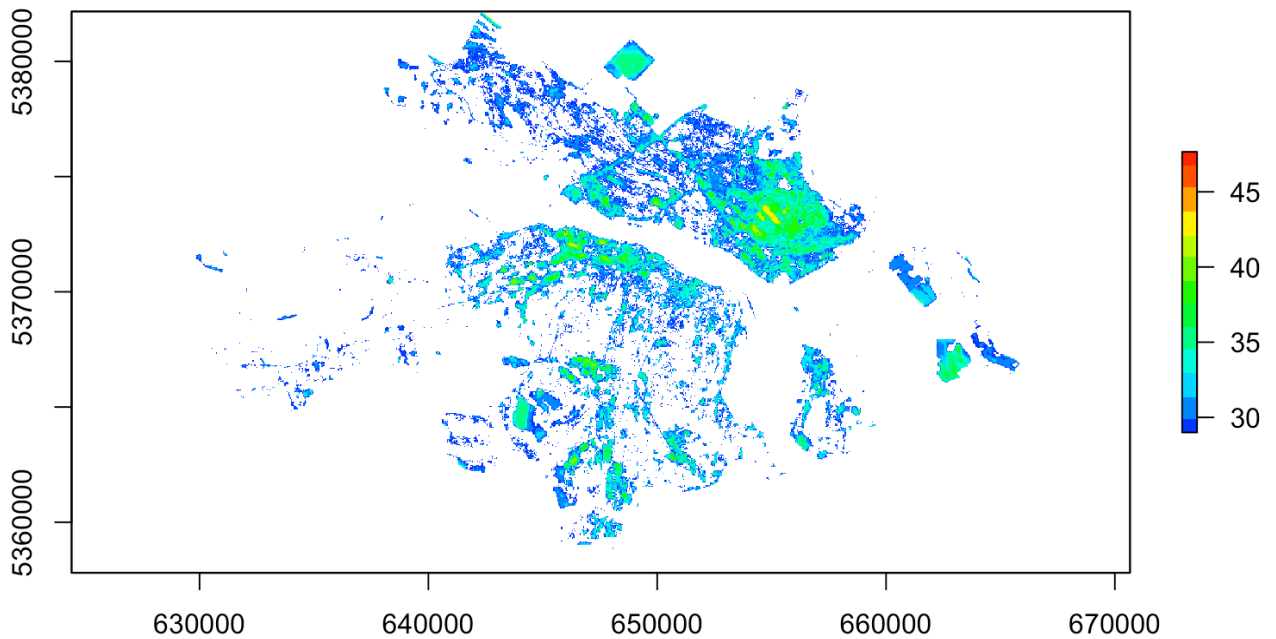


Рис. 2.9. Карта УНІ на території міста Дніпро

2.6. Оптимізація пошуку УНІ

Зважаючи на опис території дослідження, можна припустити, що найгарячіші точки міста будуть на територіях різних заводів. Саме тому у цій роботі головна увага буде зосереджена на знаходженні територій з екстремальною високою температурою.

Після отримання звичайних теплових островів, необхідно знайти екстремально гарячі точки (викид). Викидами ми вважаємо значення температур, які виходять за «зовнішні кордони» нашого набору значень – виходить за 3х-разовий межквартильний діапазон.

$$T_{\text{extr}} = 3 \cdot \text{IQR}(T_{\text{LST}}), \quad (2.7)$$

де

T_{LST} - температура ділянки;

IQR - межквартильний діапазон.

Після цих операцій залишаться лише ті ділянки, які матимуть саму найвищу температуру. Це дозволить нам побачити найпроблемніші зони.

2.7. Висновки до другого розділу

Проблема міських теплових островів та їх впливу на довкілля дуже гостро стоїть в останні десятиліття. Але наявність високого технологічного розвитку дає людству можливість слідкувати за їх появою та поширенням. На сьогоднішній день вже є методи боротьби із цими тепловими аномаліями, проте для ефективних результатів необхідне мати актуальні дані, які покажуть які саме методи та як треба використовувати. Завдяки аналізу космічних знімків може надати необхідну інформацію для досить великої території.

У даному розділі цієї кваліфікаційної роботи була надана інформація про територію дослідження та на яку місцевість треба звернути найбільшу увагу. Так само було дано базовий опис дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), основних супутників, завдяки яким проводиться тепловий аналіз місцевості. Окрім цього був зроблений опис критерій по яким здійснюється відбір сенсора з супутником та їх знімку Були описані методи розрахунку LST та подальшого виділення теплових островів (UHI).

Подальшим кроком буде обґрунтування вибору мов програмування, необхідних у роботі пакетів та опис програмної реалізація методів пошуку UHI, що були представлені у цьому розділі. Наступний розділ має відповісти на питання про місце знаходження найгарячіших точок міста Дніпро та їх температуру.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОПТИМІЗОВАНОГО АЛГОРИТМУ ПОШУКУ УНІ

3.1. Вибір програмних інструментів

У попередньому розділі було описано методи пошуку УНІ. Для їх програмної реалізації необхідно визначитися із наступними пунктами:

1. Обрати мову програмування;
2. Знайти необхідні, для даної роботи, пакети;
3. Знайти сервіси, які дають змогу шукати та завантажувати космознімки;

3.2. Вибір мови програмування

Вибір мови програмування у даній роботі більш за все залежить від списку пакетів, що можуть дозволити роботу із космознімками. Самим популярним пакетом, що дає такі можливості є GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) [47]. Ця бібліотека дозволяє робити усі необхідні операції над растрами (каналами космознімка), що необхідні для цієї роботи: завантаження растру, його збереження, створення нового растру, виконання математичних дій із ним и т.д. GDAL має свій API (Application program interface) для різних мов програмування, таких як: Java, C, C++, Python, R. Дивлячись на офіційну документацію можна побачити, що найпростіше GDAL можливо використовувати у Python та R, тому основний вибір буде робитися між ними.

Роблячи порівняння цих двох мов програмування треба зазначити, що вони обидві підходять для задач по аналізу даних, статистики, машинному навчанню і т.п. Також вони мають досить доброзичливу спільноту, що займається розробкою багатьох пакетів, націлених на абсолютно різні задачі. Але, R – більш легка для вивчення та щонайважливіше, має деякі високо рівневі бібліотеки, що

дають змогу працювати з функціоналом GDAL зручніше, чим це треба робити на Python. Саме тому ми будемо використовувати R.

3.3. Мова програмування R

R - мова програмування та середовище вільного програмного забезпечення для статистичних обчислень і графіки, що підтримуються Фондом R для статистичних обчислень. Ця мова широко використовується серед статистиків і датамайнерів для розробки статистичного програмного забезпечення і аналізу даних [5].

3.4. Використані пакети

Як було зауважено вище R має набір деяких бібліотек високо рівня, що дають змогу легко використовувати можливості GDAL. До них відносяться:

- `raster` – пакет, що працює з растровими та векторними даними. Він пов'язаний із пакетом `sp`, що у свою чергу використовує функції GDAL [63];
- `sf` – пакет для роботи з векторними даними (більш нова версія `sp`).

На рис. 3.1 можна побачити схему абстракції пакетів.

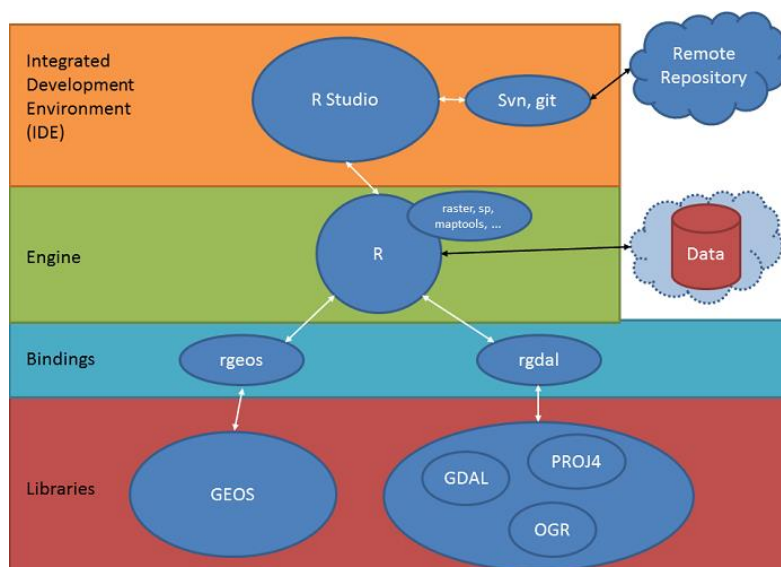


Рис. 3.1. Схема абстракції пакетів, що працюють з растрами космознімків в R

3.5. Використані API

За пошук та завантаження космознімків відповідає пакет 16EAGLE/getSpatialData, що використовує Copernicus Open Access Hub API (Sentinel-1/2/3/5P, GNSS), ORNL DAAC SOAP MODIS web service (MODIS), USGS EarthExplorer json API (Landsat) та інші API для пошуку і завантаження даних [47].

Nominatim API було використано для отримання границі міста для подальшого обрізання знімку та пошук адресів найгарячіших точок.

3.6. Додаткові сервіси

Було використано ряд сторонніх сервісів для отримання необхідних даних [48]:

- geojson.io – сервіс для виділення границь міста Дніпро та отримання geojson-файлу;
- search.remotepixel.ca – сайт де можна знайти координати необхідної території у форматі path, row;
- meteocenter.net – сайт де можна отримати дані з метеоцентру.

3.7. Опис алгоритму дій

У другому розділі було описано метод розрахування LST та UHI. Тепер необхідно їх реалізувати, використовуючи описаний вище набір програмних інструментів. Дивлячись на результати, що очікуються – отримання локацій теплових островів міста Дніпро, алгоритм дій, які буде виконувати програма, можна розділити на три частини: пошук та завантаження необхідного знімку; розрахування LST та виділення UHI. Деякі частини алгоритму самі по собі можуть бути досить об'ємними, саме тому вони будуть розділені на більш малі задачі. В результаті ми маємо список із наступних кроків:

- 1) Отримання космознімку;
- 2) Розрахунок NDVI;
- 3) Розрахунок BT;
- 4) Розрахунок LST;
- 5) Розрахунок UHI;
- 6) Пошук адрес UHI;

3.8. Опис структури проекту

Опис слід почати із загальної структури проекту. Вона зображена на рис. 3.2. На цій схемі ми бачимо, що проект складається із дев'яти програмних модулів, кожний з котрих виконую свою задачу. Нижче приведений опис кожного модуля у вірній послідовності:

- 1) `get_scene.R` – використовуючи API USGS виконує пошук і відбір космознімку за встановленими критеріями та завантажує обраний продукт до у папку «downloaded_data»;
- 2) `delete_unnecessary_data.R` – виконує видалення усіх зайвих каналів космознімку;
- 3) `get_city_border.R` – завдяки Nominatim API дістає границі міста та зберігає їх у форматі geojeson у папці «area_of_interest»;
- 4) `calc_ndvi.R` – виконую обрізання червоного та ближнього інфрачервоного каналів та розраховую NDVI;
- 5) `calc_bt.R` – обрізає тепловий інфрачервоний канал та розраховує Brightness temperature (BT);
- 6) `calc_lst.R` – розраховує LST, використовуючи растри, отримані від `calc_ndvi.R` і `calc_bt.R` та зберігає результат цього та попередніх двох скриптів у папці «output»;
- 7) `find_uhi.R` – виконую пошук UHI, а потім відбирає із них території з екстремальним значеннями температур. Формує шейпфайл з векторами і координатами цих теплових островів та зберігає файл у папці «uhi»;

- 8) draw_isolines.R – використовуючи растр з UHI та пакет tmap виконує побудову теплових островів на карті з легендою;
- 9) find_address.R – роблячи запит до Nominatim API дістає адреси усіх UHI, які були у шейпфайлі та відображає ці місця на карті.

Така роздробленість дозволяє користувачеві обирати з якого етапу він бажає почати роботу. Наприклад: якщо користувач вже має готовий космоснімок, то він може зразу перейти до розрахунків, а не витратити час на пошук та завантаження.

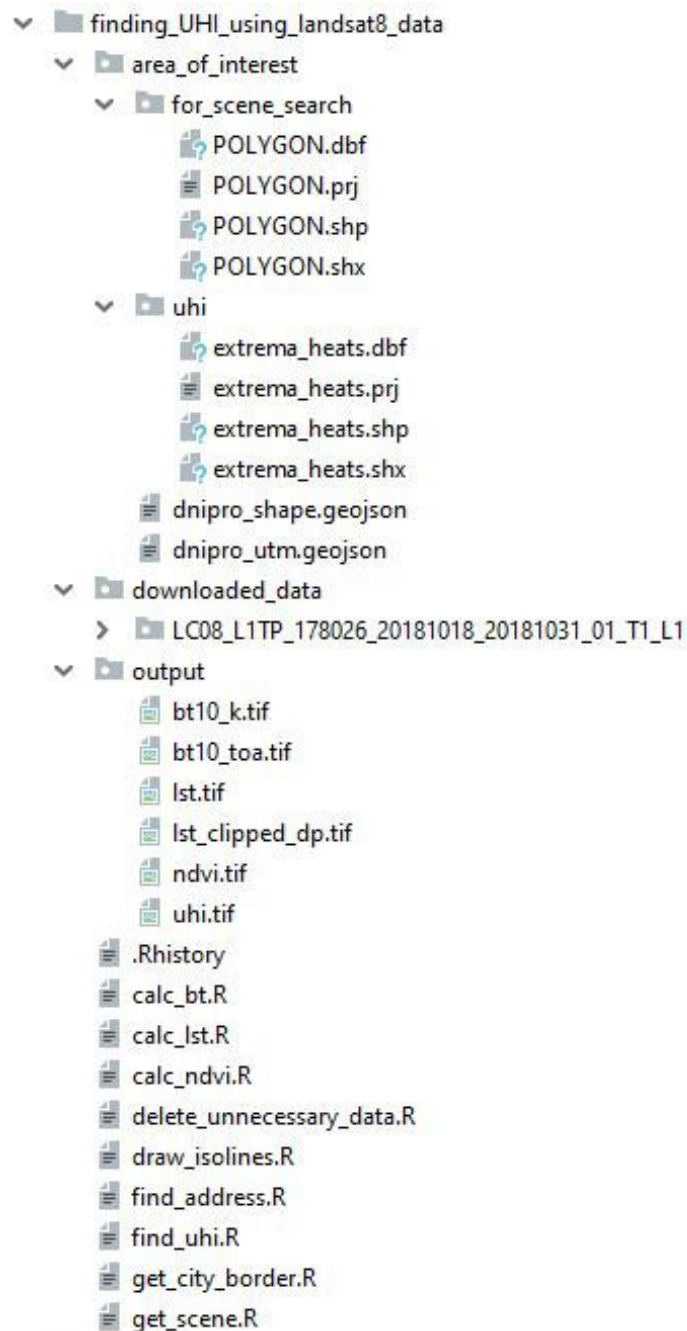


Рис. 3.2. Структура проекту

Окрім програмного коду ми бачимо, що у проекті є набір необхідних папок, що полегшує пошук результуючих та завантажених даних. Ось їх опис:

- 1) `area_of_interest` – папка, що файли з геоданими. Вони зберігає у собі границі міста формату `geojson` та дві інші папки;
 - a. `for_scene_search` – тут зберігається шейпфайл, завдяки якому виконується пошук космознімку;
 - b. `uhi` – зберігає у собі шайпфайл із координатами теплових островів з екстремальною температурою;
- 2) `downloaded_data` – папка із даними, завантаженими з супутника;
- 3) `output` – зберігає результуючі растри.

3.9. Результати реалізації

Тепер слід перейти до покрокової демонстрації результатів, які були отримані у процесі даної роботи. Для більш чіткого розуміння того, що саме відбувається під час пошуку знімку, розрахунків LST та пошуку UHI, будуть використані найважливіші частини програмного коду.

3.9.1. Отримання космознімку з Landsat-8

Для отримання космознімку нам необхідно вробити певні налаштування: сказати рамки часу у якому ми шукаємо знімок, вказати координати розглядаємої території та тип продукту. Після цього ми входимо до облікового запису USGS та робимо запит до серверу:

```
login_USGS(username = "username", password = "password")
time_range <- c(date_start, date_end)
satellite <- "LANDSAT_8_C1"
response <- getLandsat_query(time_range = time_range, name = satellite)
```


У результаті отримуємо усі доступні дані (рис.3.3). З цих даних необхідно обрати сцену з найменшим показником хмарності. Для цього ми робимо вибірку із отриманих даних:

```
sorted_data <- response[
  (response$WRSRow==row) & (response$WRSPath==path) & (response$SceneCloudC
    over<20)
]
```

	acquisitionDate	StartTime	StopTime	WRSPath	WRSRow	LandCloudCover	SceneCloudCover
1	2018-06-05	2018:156:08:23:22.4754220	2018:156:08:23:54.2454200	177	26	16.90	16.90
2	2018-06-05	2018:156:08:23:46.3579890	2018:156:08:24:18.1279870	177	27	2.81	2.87
3	2018-06-12	2018:163:08:29:38.2583690	2018:163:08:30:10.0283670	178	26	91.10	91.10
4	2018-06-21	2018:172:08:23:33.5715190	2018:172:08:24:05.3415170	177	26	0.00	0.00
5	2018-06-21	2018:172:08:23:57.4540860	2018:172:08:24:29.2240840	177	27	0.60	0.57
6	2018-06-28	2018:179:08:29:48.6309150	2018:179:08:30:20.4009140	178	26	78.76	78.76
7	2018-07-07	2018:188:08:23:42.5388710	2018:188:08:24:14.3088700	177	26	5.49	5.49
8	2018-07-07	2018:188:08:24:06.4256740	2018:188:08:24:38.1956720	177	27	12.00	11.38
9	2018-07-14	2018:195:08:29:56.5986780	2018:195:08:30:28.3686760	178	26	29.69	29.69
10	2018-07-23	2018:204:08:23:49.2442500	2018:204:08:24:21.0142490	177	26	19.16	19.16
11	2018-07-23	2018:204:08:24:13.1225810	2018:204:08:24:44.8925800	177	27	47.78	45.55
12	2018-07-30	2018:211:08:30:03.5803450	2018:211:08:30:35.3503440	178	26	21.30	21.30
13	2018-08-08	2018:220:08:23:58.2170440	2018:220:08:24:29.9870430	177	26	6.99	6.99
14	2018-08-08	2018:220:08:24:22.0953750	2018:220:08:24:53.8653730	177	27	19.29	18.67

Рис. 3.3. Дані отримані з USGS у виді таблиці

Тепер ми маємо значно меншу вибірку (рис. 3.4), з якої дуже легко обрати самі оптимальні дані. Роблячи перегляд знімків через команду `getLandsat_preview()` ми бачимо який вигляд має сцена (рис. 3.5).

	acquisitionDate	StartTime	StopTime	WRSPath	WRSRow	LandCloudCover	SceneCloudCover
15	2018-08-15	2018:227:08:30:12.8452100	2018:227:08:30:44.6152090	178	26	17.04	17.04
18	2018-08-31	2018:243:08:30:19.8577210	2018:243:08:30:51.6277200	178	26	0.00	0.00
27	2018-10-18	2018:291:08:30:38.2776660	2018:291:08:31:10.0476640	178	26	0.07	0.07
45	2019-01-22	2019:022:08:30:35.2383680	2019:022:08:31:07.0083670	178	26	0.20	0.20
66	2019-05-14	2019:134:08:30:20.6081000	2019:134:08:30:52.3780990	178	26	10.36	10.36
69	2019-05-30	2019:150:08:30:29.6297780	2019:150:08:31:01.3997770	178	26	4.88	4.88

Рис. 3.4. Результат отриманих даних після сортування у виді таблиці

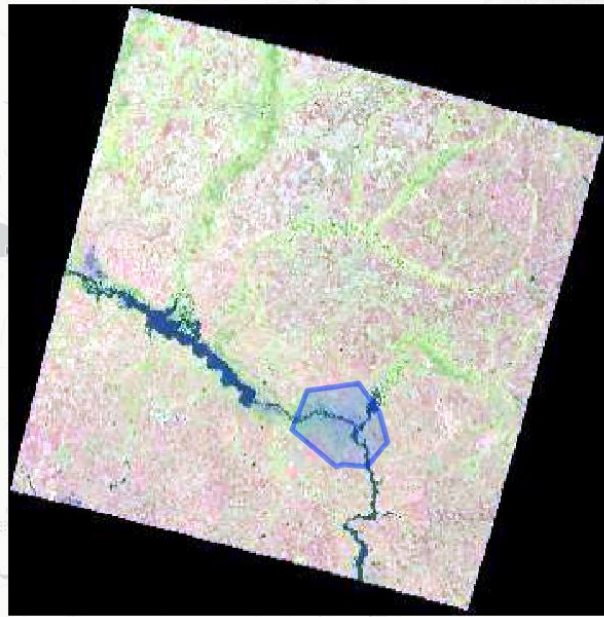


Рис. 3.5. Прив'ю обраного зображення

Після вибору сцени ми завантажуємо її до нашого комп'ютеру через функцію `getLandsat_data()`. У цій роботі був обраний знімок «LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_L1».

Через те, що потрібно лише декілька файлів з тих, що ми завантажили, то має сенс виділити усі непотрібні файли, бо вони лише займають місце на диску. Використовуючи команду `list.files()` отримуємо список зі всіх файлів, що ми завантажили (рис. 3.6). Ми залишаємо лише файл метаданих та знімки у четвертому, п'ятому та десятому каналах. Команда `file.remove()` видаляє зайві файли:

```
for (i in seq_along(files_list)){
  for (pattern in delete_patterns){
    if (grepl(pattern, files_list[i])){
      file.remove(paste(scene_dir_path, files_list[i], sep="/"))
      print(files_list[i])
      print("was deleted!")
    }
  }
}
```

```

> (files_list <- list.files(scene_dir_path))
[1] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_ANG.txt"
[2] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B1.TIF"
[3] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B1.TIF.ovr"
[4] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B1_wrk.IMD"
[5] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B10.TIF"
[6] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B10.TIF.ovr"
[7] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B10_wrk.IMD"
[8] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B11.TIF"
[9] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B11.TIF.ovr"
[10] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B11_wrk.IMD"
[11] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B2.TIF"
[12] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B2.TIF.ovr"
[13] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B2_wrk.IMD"
[14] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B3.TIF"
[15] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B3.TIF.ovr"
[16] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B3_wrk.IMD"
[17] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B4.TIF"
[18] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B4.TIF.ovr"
[19] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B4_wrk.IMD"
[20] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B5.TIF"
[21] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B5.TIF.ovr"
[22] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B5_wrk.IMD"
[23] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B6.TIF"
[24] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B6.TIF.ovr"
[25] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B6_wrk.IMD"
[26] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B7.TIF"
[27] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B7.TIF.ovr"
[28] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B7_wrk.IMD"
[29] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B8.TIF"
[30] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B8.TIF.ovr"
[31] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B8_wrk.IMD"
[32] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B9.TIF"
[33] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B9.TIF.ovr"
[34] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B9_wrk.IMD"
[35] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_BQA.TIF"
[36] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_BQA.TIF.ovr"
[37] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_BQA_wrk.IMD"
[38] "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_MTL.txt"

```

Рис. 3.6. Список усіх завантажених файлів з серверу USGS

3.9.2. Отримання території міста Дніпро

Для отримання границі міста Дніпро ми робимо запит до Nominatim API:

```

response <- GET("https://nominatim.openstreetmap.org/search.php?q=Днепр+
Днепровский+городской+совет+Днепропетровская+область&polygon_geojson=1&limit=1&format=json")

```

Відповідь у geojson ми зберігаємо у файлі «dnipro_shape.geojson». Далі ми зображуємо ці границі на карті (рис. 3.7).

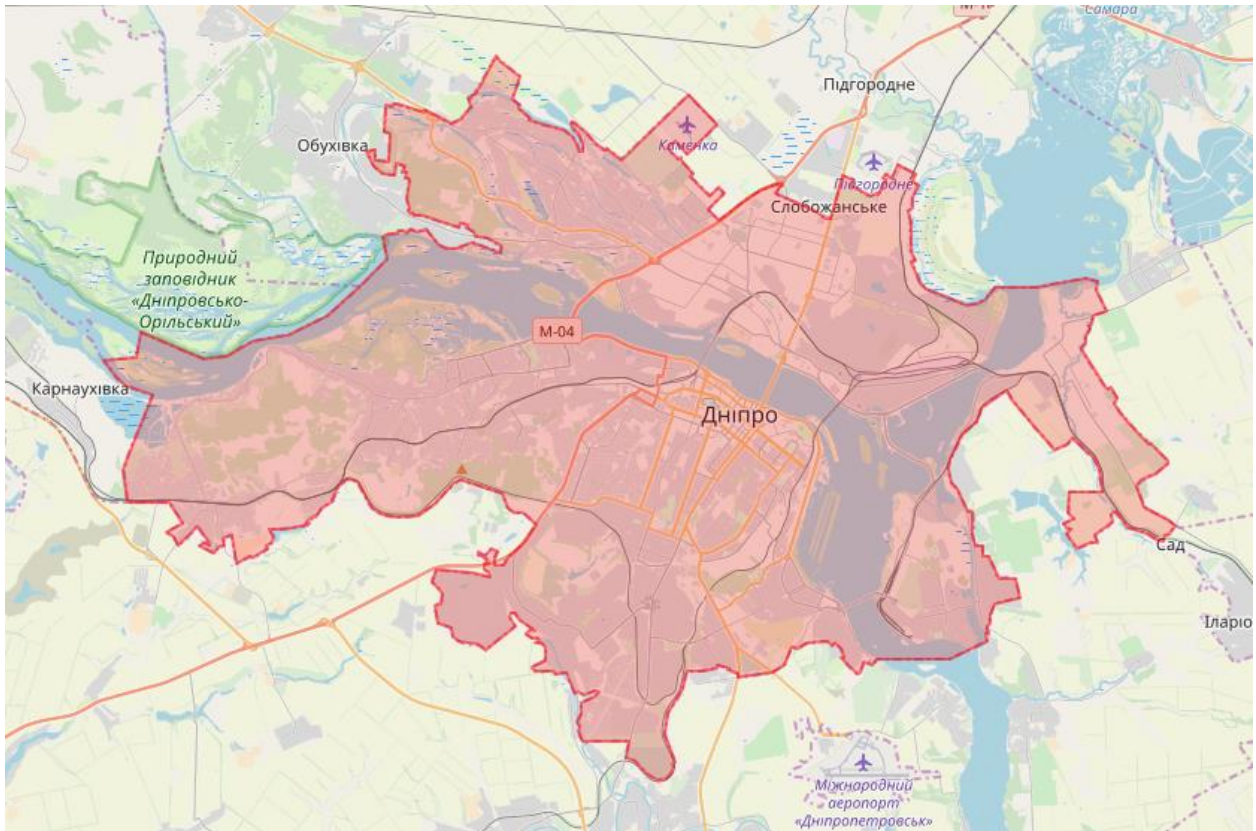


Рис. 3.7. Зображення отриманої границі міста на карті

3.9.3. Розрахунок NDVI

Першим кроком у розрахунку land surface temperature (LST) є отримання NDVI. Після відкриття файлів растрів з 4го та 5го каналів і зчитування необхідних даних з фалу метаданих треба розрахувати top of atmosphere (TOA) Reflectance:

```
toa_ref <- function(x){(x * REFLECTANCE_MULT_BAND +
REFLECTANCE_ADD_BAND) / sin(SUN_ELEVATION * (pi /180))}
```

Далі розраховуємо саме NDVI:

```
calc_ndvi <- function(nir,red) {(nir - red)/(nir + red)}
ndvi <- calc_ndvi(b5, b4)
```

Отриманий NDVI можна побачити на (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Результат розрахування NDVI.

3.9.4. Розрахунок температури яскравості

Другим кроком буде отримання brightness temperature (BT). Тут треба спочатку розрахувати TOA:

```
toa_band10 <- calc(band_10, fun=function(x){RADIANCE_MULT_BAND_10 * x +
RADIANCE_ADD_BAND_10})
```

Після цього за наступною функцією отримуємо саму BT:

```
bt10 <- calc(toa_band10, fun=function(x){K2_CONSTANT_BAND_10/log
(K1_CONSTANT_BAND_10/x + 1)})
```

В результаті отримуємо растр з температурою яскравості в кельвінах (рис. 3.9).

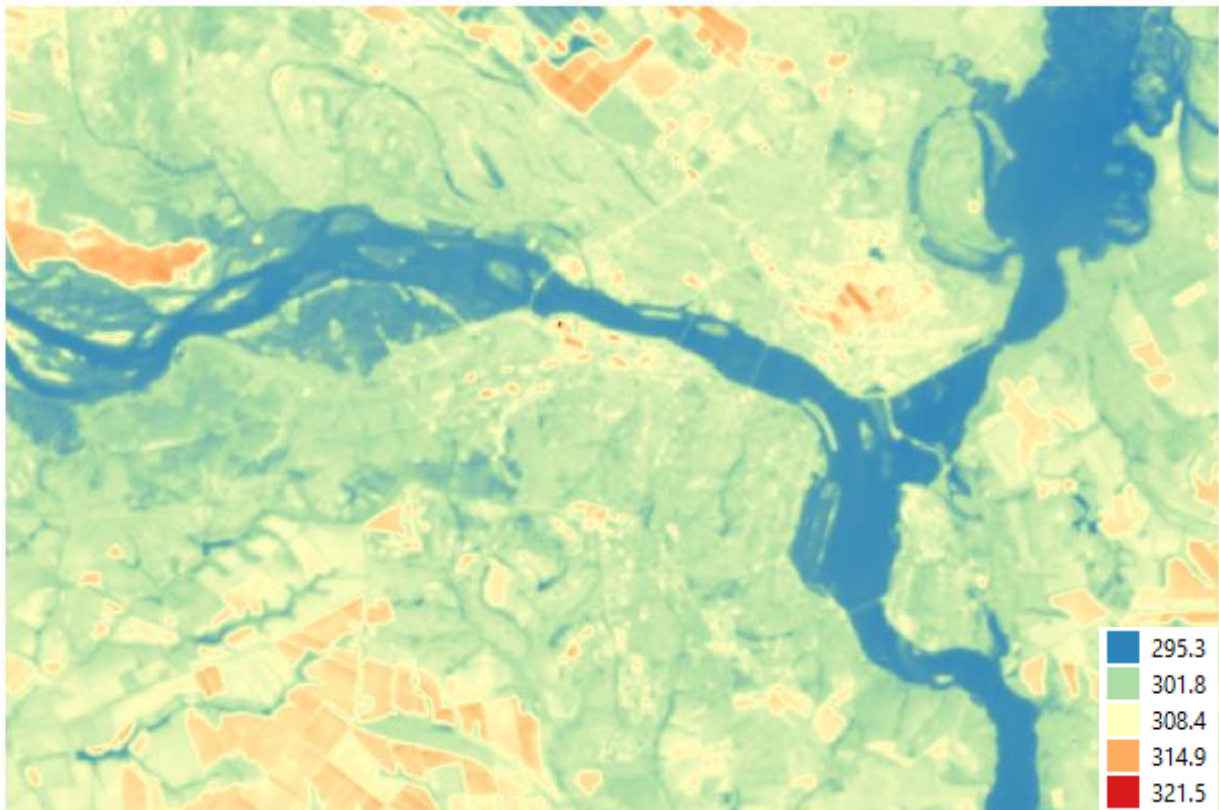


Рис. 3.9. Результат розрахування Brightness temperature

3.9.5. Розрахунок температури поверхні землі

Останнім етапом у розрахуванні LST буде отримання з NDVI коефіцієнту випромінювання (emissivity) та розрахування самого LST:

```
emissiv <- ndvi
emissiv[ndvi < -0.185] <- 0.995
emissiv[(ndvi >= -0.185)&(ndvi < 0.157)] <- 0.985
emissiv[(ndvi >= 0.157)&(ndvi <= 0.727)] <- 1.089 +
0.047*log(ndvi[(ndvi >= 0.157)&(ndvi <= 0.727)])
emissiv[ndvi > 0.727] <- 0.990

# LST in celsius
LST <- BT / (1 + lambda * BT/rho * log(emissiv)) - 273.15
```

Отриманий результат зображений на рис. 3.10. Як можна побачити, більшість ділянки міста має температуру приблизно від 25°C до 34°C. Але деякі місця мають температуру близьку до 50°C - це яскраво виражені теплові аномалії.

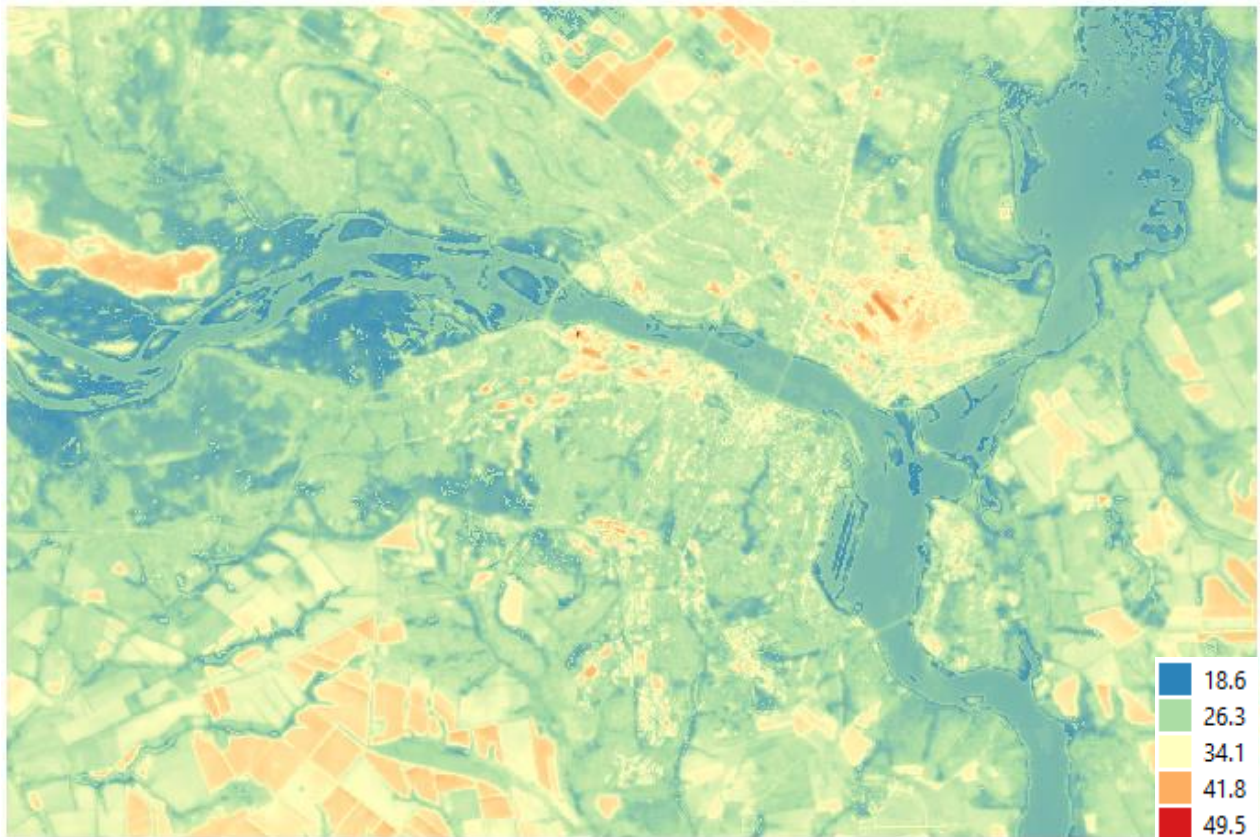


Рис. 3.10. Результат розрахування LST

3.9.6. Порівняння отриманої температури з показники метеоцентру

Отримані показники температури схожі на істинні, але слід зробити перевірку, щоб переконатися у їх достовірності. Для цього можна використати дані з метеоцентра міста. Він знаходиться на території аеропорту, що на краю міста. Дані у період з 07:30 до 16:00 були взяті з ресурсу [56] та зображені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Температура повітря у продовж дня на момент 31/08/2018

Час	Дата	T (°C)
0730	31.08.18	+27
0800	31.08.18	+28
0830	31.08.18	+29

Продовження таблиці 3.1

Час	Дата	T (°C)
0900	31.08.18	+30
0930	31.08.18	+31
1000	31.08.18	+32
1030	31.08.18	+33
1100	31.08.18	+33
1130	31.08.18	+33
1200	31.08.18	+33
1230	31.08.18	+33
1300	31.08.18	+33
1330	31.08.18	+33
1400	31.08.18	+32
1430	31.08.18	+31
1500	31.08.18	+30
1530	31.08.18	+29
1600	31.08.18	+27

З файлу метаданих знімку можна дізнатися, знімок було зроблено у 8:30 ранку (SCENE_CENTER_TIME = "08:30:35.7469569Z"). З таблиці ми бачимо, що у цей час температура повітря була +29°C та надалі лише збільшувалася аж до 14:00 (+33°C). Можна зробити висновок, що дані, отримані з супутника є допустимими, особливо, зважаючи на те, що найгарячіші ділянки міста (40-50°C) імовірно знаходяться на різних виробництвах.

3.9.7. Пошук УНІ та виділення аномально теплих зон.

Для отримання екстремально гарячих УНІ з LST будуть зроблені наступні кроки:

1. Обрізка растру LST по границям міста:


```

dp <- st_read("area_of_interest/dnipro_utm.geojson")
dp_sp <- as(dp, "Spatial")
lst_msk <- mask(x = lst, mask = dp_sp)
lst_msk_cr <- crop(x = lst_msk, y = extent(dp_sp))

```

Результат можна побачити на рис. 3.11.

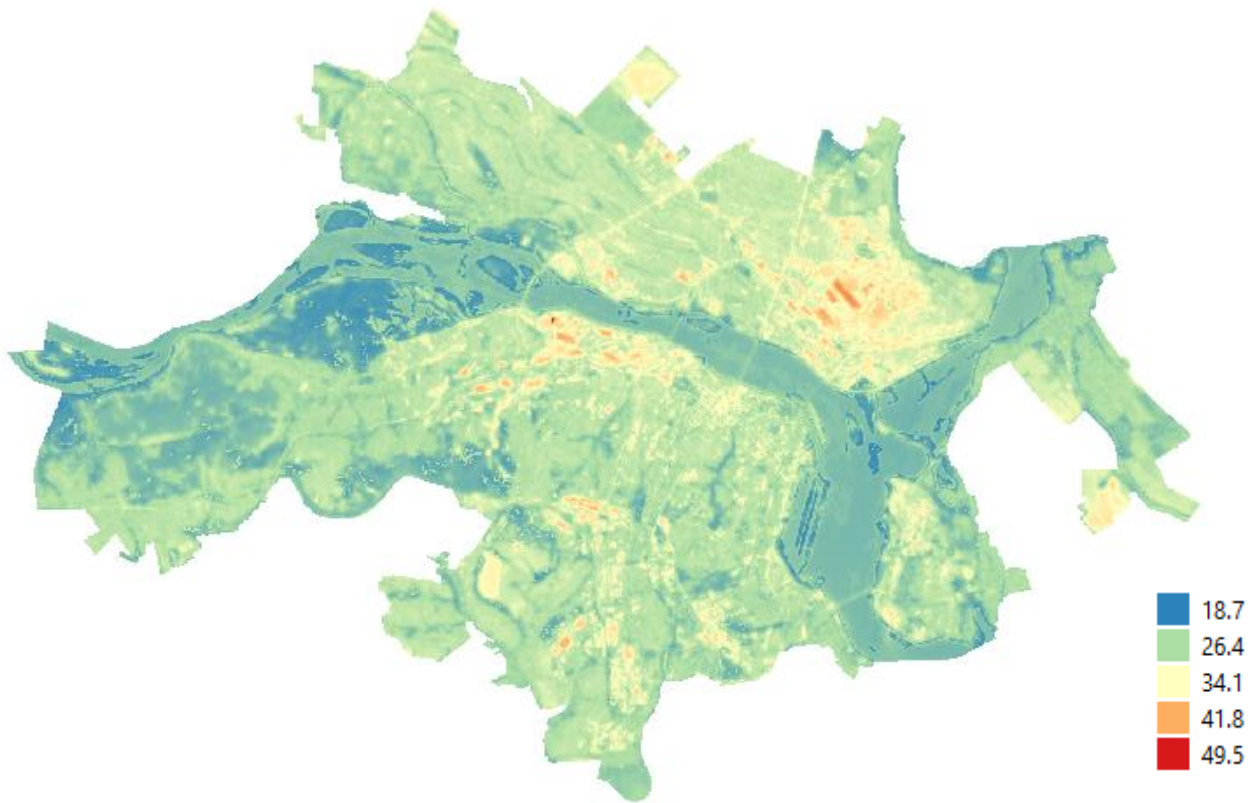


Рис. 3.11. Растр LST після обрізання

2. Виділення з отриманого обрізаного растру LST теплових островів за методом, що був описаний у першому розділі. Отримані UHI можна побачити на рис. 3.12:

```

lst_uhi <- lst_msk_cr
# get pixels values
lst_v <- getValues(lst_uhi)

# arithmetic mean + 0.5 * standard deviation
uhi_th <- function(x) mean(x, na.rm = T) + 0.5*sd(x, na.rm = T)
(uhi_T <- uhi_th(lst_v))

# mask all area but UHI
lst_uhi[lst_uhi <= uhi_T] <- NA

```

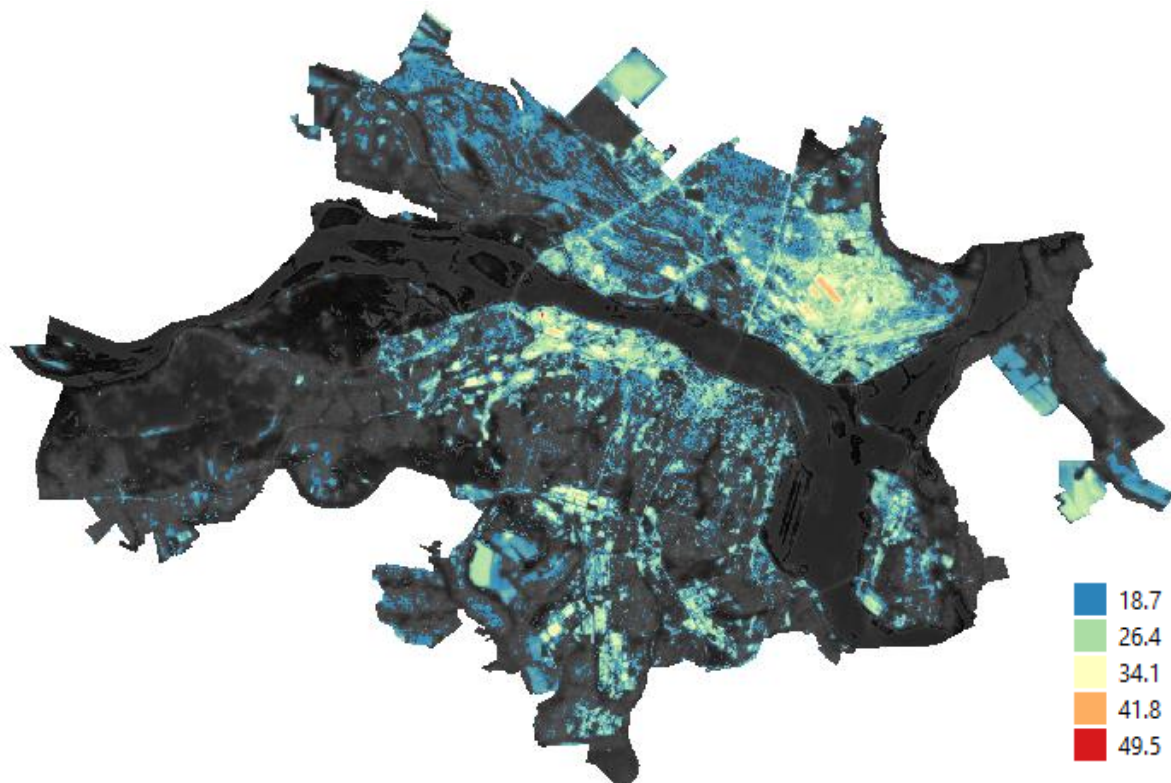


Рис. 3.12 Результат пошуку УНІ

3. Вибір екстремальних температур з отриманих УНІ. Результат можна побачити на (рис. 3.13):

```
qnt <- quantile(lst_v, probs=c(.25, .75), na.rm = T)
H <- 3 * IQR(lst_v, na.rm = T)

lst_ext <- lst_msk_cr
lst_ext[lst_ext <= (qnt[2] + H)] <- NA
```

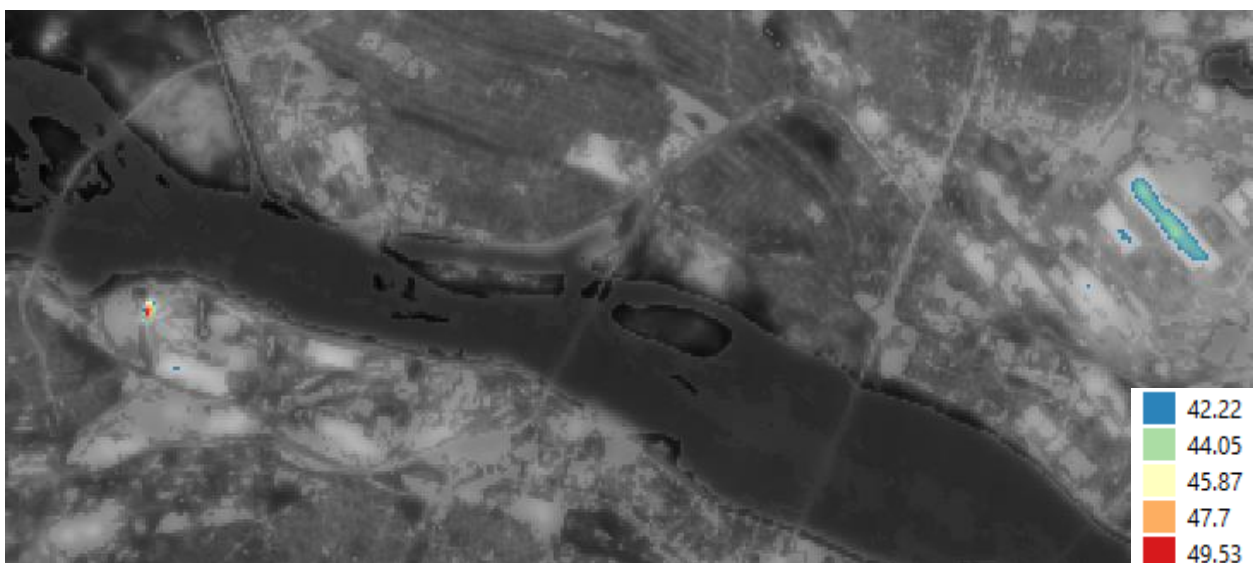


Рис. 3.13. Найгарячіші точки у місті

4. Далі йде переведення отриманого растру у вектор та запис його координат у шейпфайл для подальшої змоги отримання адресів цих об'єктів:

```
mean_temp <- extract(lst_uhi, pol, fun=mean, na.rm=T, weights=T)
# Add temp into vector layer
pol$mean_temp <- as.vector(mean_temp)
# Add max temp into vector
max_temp <- extract(lst_uhi, pol, fun=max, na.rm=T)
pol$max_temp <- as.vector(max_temp)

# save shapefile with the most heat area
shapefile(pol, "area_of_interest/uhi/extrema_heats.shp", overwrite=T)
```

Цей скрип використовується для отримання карти усіх теплових островів на території міста та відображення їх на карті (рис. 3.14). Для цього використовується функція `rasterToContour()` та функції пакету `tmap`:

```
# build isolines (SpatialLinesDataFrame) in raster island
lst_l <- rasterToContour(lst, nlevels = 5)
...
# show map
tm_shape(lst) + tm_raster(palette = my.palette, title = "LST, \u00B0 C")
+
tm_shape(lst_l) + tm_lines()
```

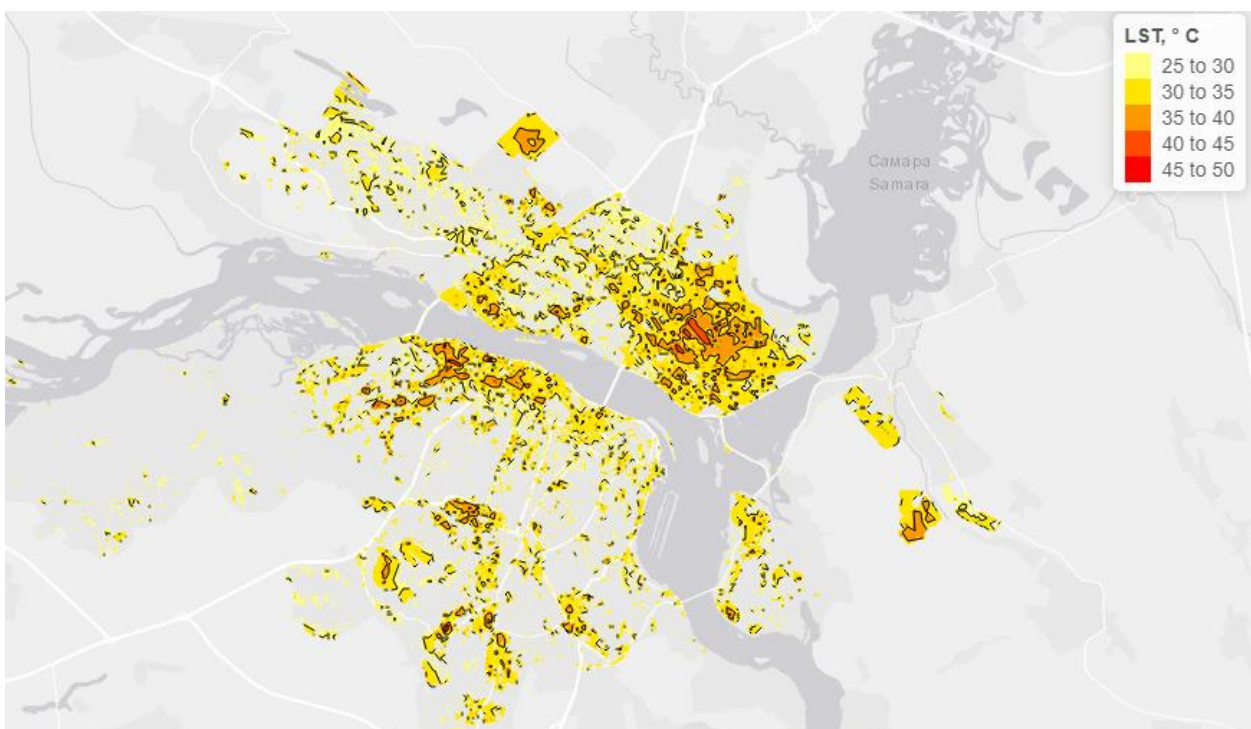


Рис. 3.14. Розташування усіх УНІ на території міста Дніпро

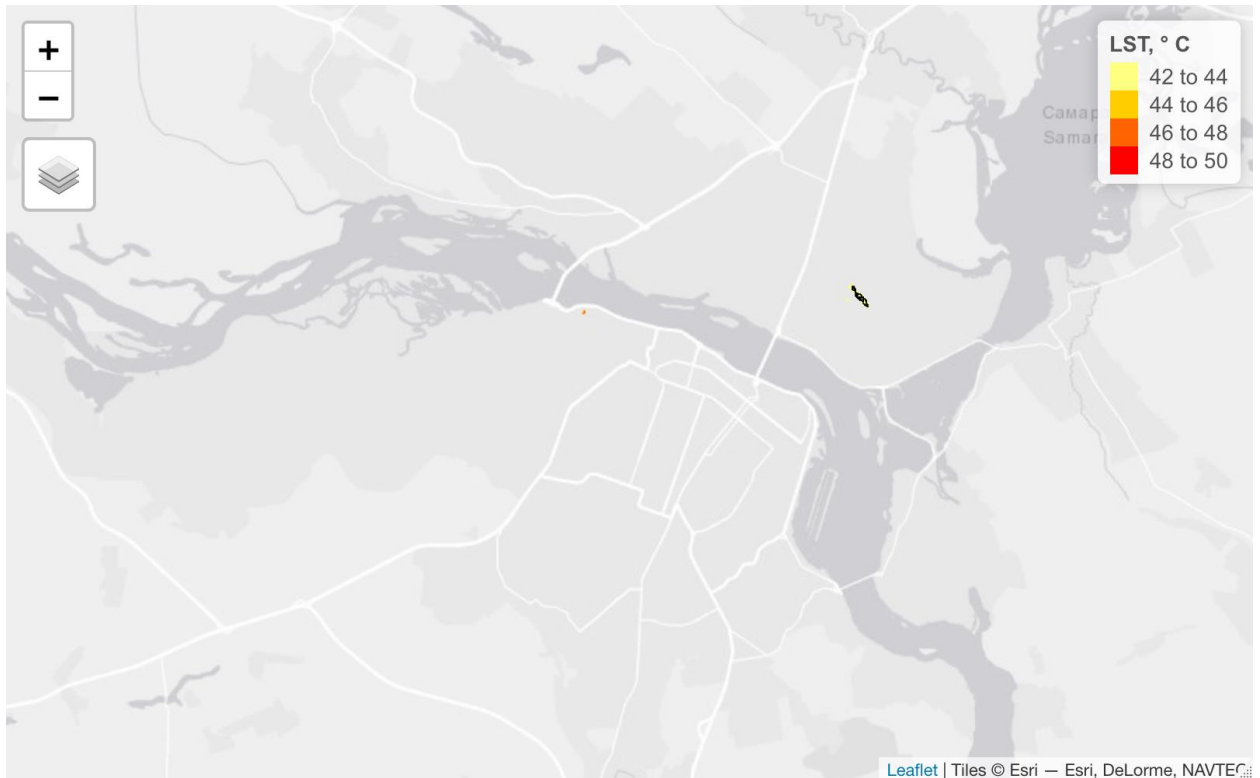


Рис. 3.15. Розташування екстремально теплих УНІ на території міста Дніпро

3.9.8. Пошук адрес екстремальних УНІ

Для отримання адресів УНІ з екстремальними показниками температурами робиться запит до Nominatim API та передаються координати за шейпфалу. Результат можна побачити на рис. 3.16:

```
# coords of area centers
hp <- st_coordinates(st_centroid(hot_spot))

obj_names <- vector(length=nrow(hp))

# get addresses with
# Nominatim API Reverse Geocoding
for (i in 1:nrow(hp)) {
  lon <- hp[i,1]
  lat <- hp[i,2]

  url <- paste0("http://nominatim.openstreetmap.org/reverse?format=json
&lon=",lon,"&lat=",lat)
  rsp <- GET(url)
  obj <- content(rsp, as="parsed")

  print(obj$display_name)

  obj_names[i] <- obj$display_name
}
```

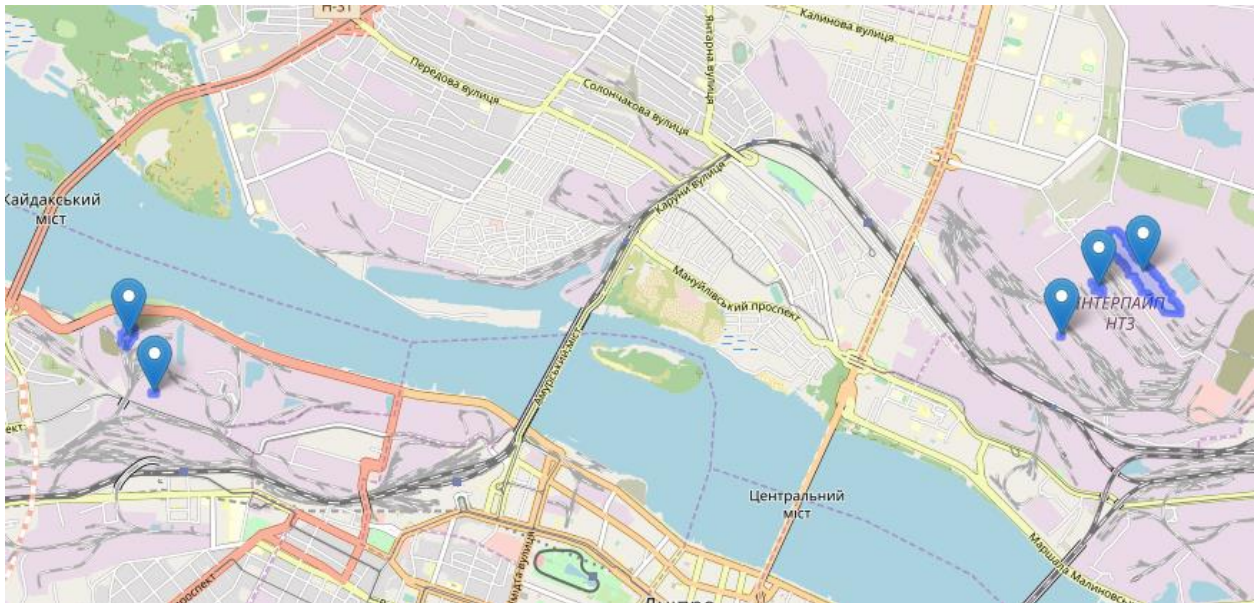


Рис. 3.16. Карта з адресами найгарячіших точок

Отримані адреси:

- "ІНТЕРПАЙП НТЗ, Осіння вулиця, Дніпровська міська рада, Індустріальний район, Дніпро, Дніпровський район, Дніпропетровська область, 49051, Україна"
- "ІНТЕРПАЙП НТЗ, Осіння вулиця, Дніпровська міська рада, Індустріальний район, Дніпро, Дніпровський район, Дніпропетровська область, 49051, Україна"
- "Дніпровська міська рада, Індустріальний район, Дніпро, Дніпровський район, Дніпропетровська область, 49098, Україна"
- "Набережна Заводська вулиця, Дніпровська міська рада, Новокодацький район, Дніпро, Дніпровський район, Дніпропетровська область, 49019, Україна"
- "Дніпровська міська рада, Новокодацький район, Дніпро, Дніпровський район, Дніпропетровська область, 49064, Україна"

3.10. Аналіз отриманих результатів

Переглядаючи карту та отримані адреси видно, що місця з аномально високими температурами знаходяться на виробництвах. Враховуючи, що знімок

приходиться на літній період, а температура теплових островів майже доходить до 50°C , що становить різницю у приблизно $+15^{\circ}\text{C}$ з температурою всієї іншої території, можна з упевненістю говорити про досить негативний вплив на ближню, до цих виробництв, місцевість.

Якщо повернутися до карти з усіма УНІ, то картина також не виглядає радісною: видно велику кількість теплових аномалій. Конкретно лівий берег міста є найбільш сильною зоною з точки зору аномальних температур. Враховуючи те, що дана територія є досить індустріальною та маю дуже мало зелених насаджень, то виводити це тепло банально нічим. Може допомогти переобладнання будівель на «зелені» або «білі» дахи, а також створення нових зелених зон. Але для цього треба враховувати багато економічних та інфраструктурних факторів.

3.11. Висновки до третього розділу

Метою даного розділу було дослідити результати оптимізованого алгоритму знаходження міських островів тепла. Також, отримані температури були порівняні із температурою повітря з метеоцентру міста для перевірки на правдоподібність. Використовуючи спочатку звичайний пошук УНІ ми побачили, що більша частина міста вкрита ними. Це свідчить про те, що для міста Дніпро ця проблема є досить актуальною. Враховуючи те, що різниця температур може сягати $12-15^{\circ}\text{C}$, кількість та якість рослинності в місті бажає більшого.

В результаті ми змогли отримати адреси найгарячіших об'єктів, якими виявились заводи а Індустріальному та Новокодацькому районах. Саме ці два об'єкти більш всього пригнічують навколишнє середовище. Використовуючи привальні методи боротьби із такими аномаліями можна значно покращити екологічний стан міста.

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІКА

4.1. Визначення трудомісткості розробки програмного забезпечення

Одним з головних етапів при розробці ПЗ є визначення трудомісткості та розрахунок витрат на створення програмного продукту. В даному розділі ми продемонструємо приклад розрахунку витрат на розробку програми для візуалізації розрахунку ризиків при біржовій торгівлі:

Початкові дані:

- годинна заробітна плата програміста, грн / год — 150;
- вартість машино-години ЕОМ, грн / год — 35.

Нормування роботи в процесі створення ПЗ істотно ускладнюється в силу творчого характеру роботи програміста, тому трудомісткість розробки ПЗ може бути розрахована на основі системних моделей з різною точністю оцінки. Трудомісткість розраховується за формулою:

$$t = t_u + t_a + t_n + t_{відл} + t_d + t_o, \quad (4.1)$$

t_o – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання (50 год.);

t_u – витрати праці на дослідження алгоритму вирішення задач;

t_a – витрати праці на розробку блок-схем алгоритму;

t_n – витрати праці на програмування за готовим блок-схемою;

$t_{відл}$ – витрати праці на відладку програм на ПЕОМ;

t_d – витрати праці на підготовку документації.

Складові витрати праці визначаються через умовне число операторів у ПЗ, яке розробляється.

Умовне число операторів (підпрограм):

$$Q = q \cdot C \cdot (1 + p), \quad (4.2)$$

де

q - передбачуване число операторів;

C - коефіцієнт складності програми;

p - коефіцієнт кореляції програми в ході її розробки.

Для наших розрахунків, прийmemo, що $q = 1137$, $C = 1,5$ бо R є мовою високого рівня та використані пакети мають багато абстракцій, $p = 0,2$.

Витрати праці на вивчення опису задачі t_u визначається з урахуванням уточнення опису і кваліфікації програміста:

$$Q = 1137 \cdot 1,5 \cdot (1 + 0,2) = 2046,6 \text{ (людино-годин)},$$

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису і кваліфікації програміста за формулою:

$$t_u = \frac{QB}{(75 \dots 85)K}, \quad (4.3)$$

де

B – коефіцієнт збільшення витрат праці (внаслідок неповного опису завдання, $B = 1,2 \dots 1,5$);

K – Коефіцієнт кваліфікації програміста, який визначається в залежності від стажу роботи за фахом (якщо стаж роботи менший 2 років, то $K = 1,2$).

Витрати праці на розробку алгоритму рішення задачі:

$$t_u = \frac{2046,6 \cdot 1,2}{(80 \cdot 1,2)} \approx 26 \text{ – людино-годин,}$$

Витрати на складання програми по готовій блок-схемі:

$$t_a = \frac{Q}{(20..25)K} \quad (4.4)$$

$$t_a = \frac{2046,6}{23 \cdot 1,2} \approx 74 \text{ людино-годин,}$$

Витрати праці на налагодження програми на ЕОМ:

$$t_{\text{відл}} = \frac{Q}{(4..5)K} \quad (4.5)$$

$$t_{\text{відл}} = \frac{2046,6}{4 \cdot 1,2} \approx 426 \text{ людино-годин,}$$

Витрати праці на підготовку документації:

$$t_d = t_{\text{дп}} + t_{\text{до}} \text{ людино-годин,} \quad (4.6)$$

де $t_{\text{дп}}$ - трудомісткість підготовки матеріалів і рукопису.

$$t_{\text{дп}} = \frac{Q}{(15..20)K} \quad (4.7)$$

$$t_{\text{дп}} = \frac{2046,6}{19 * 1,2} \approx 99 \text{ людино-годин,}$$

$t_{\text{до}}$ - трудомісткість редагування, печатки й оформлення документації.

$$t_{\text{до}} = 0,75 * t_{\text{дп}} \quad (4.8)$$

$$t_{\text{до}} = 0,75 * 99 \approx 74,25 \text{ людино-годин,}$$

$$t_{\text{д}} = 74,25 + 99 = 173,25 \text{ людино-годин,}$$

Отримуємо трудомісткість розробки програмного забезпечення:

$$t = 50 + 26 + 74 + 426 + 173,25 = 749,25 \text{ людино-годин,}$$

4.2. Розрахунок витрат на створення програмного забезпечення

Витрати на створення програмного забезпечення $K_{\text{пз}}$ включають витрати на заробітну плату розробників програми ($Z_{\text{зп}}$) і витрати машинного часу, необхідного для налагодження програми на ЕОМ ($Z_{\text{мв}}$).

$$K_{\text{по}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{мв}}$$

(4.9)

Витрати на заробітну плату визначаються за формулою:

$$Z_{\text{зп}} = t * C_{\text{пр}} \quad (4.10)$$

де

t – загальна трудомісткість розробки ПЗ;

$C_{\text{пр}}$ – середня годинна заробітна плата програміста.

$$З_{\text{зп}} = 749,25 * 150 = 112387,5 \text{ грн.}$$

Витрати машинного часу, необхідного для налагодження програми на ЕОМ ($З_{\text{мв}}$) визначаються за формулою:

$$З_{\text{мв}} = t_{\text{відл}} * C_{\text{мч}} \quad (4.11)$$

де

$t_{\text{відл}}$ – трудомісткість налагодження програми на ЕОМ;

$C_{\text{мч}}$ – вартість машино-години ЕОМ.

$$З_{\text{мв}} = 300 * 35 = 10500 \text{ грн.}$$

Таким чином витрати на створення програмного забезпечення, складуть:

$$K_{\text{по}} = 112387,5 + 10500 = 122877,5 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки ПО:

$$T = \frac{t}{B_k + F_p} \quad (4.12)$$

де

B_k – число розробників;

F_p – місячний фонд робочого часу (при 40-ка годинному робочому тижні $F_p = 176$ годин).

$$T = 749.25 / 1 * 176 = 4,25 \text{ місяця}$$

4.3. Маркетингові дослідження

Програмне забезпечення на основі даного методу знаходження міських островів тепла є дуже нищівним. Його використання має сенс у контексті доповнення до вже існуючих великих ГІС систем, типу ArcGIS або Arc View GIS. Воно може бути використане як окремий плагін, який можна продавати окремо, або вже бути у готовому ПЗ.

Зважаючи на те, що ПЗ такого типу використовується лише при дуже вузьких задачах є сенс притримуватися шляху розповсюдження його, як плагіна. Розглядаючи найпопулярніше програмне забезпечення для ГІС – ArcGIS, можна побачити, що воно вже має дуже великий спектр плагінів для різних задач, але окрім цього є досить дорогим (100 дол. за 1 пакет при персональному плані на рік). Для потенційних цілей користувача: моніторинг теплових аномалій, ArcGIS може бути забагато та дорого, тому має сенс взяти інший програмний засіб ГІС – QGIS. Він має відкритий програмний код та розповсюджується безкоштовно. Обравши цю систему, як платформу для нашого плагіна, ми надаємо можливість не платити за рекламу, бо QGIS є досить популярним та вірогідність того, що про наш плагін дізнаються та почнуть використовувати дуже сильно зростає. Окрім цього, можна також спробувати знайти аудиторію завдяки написанню статей про цей плагін на тематичних блогах, наприклад GISLab чи Habrhabr (цей ресурс більш направлений на програмістів, але там є розділ «Научпоп», де можна розмістити цю статтю).

Щодо групи людей, які потенційно можуть купувати наш продукт, то до них входять: науковці, що працюють у сферах, зв'язаних в ГІС, студенти, гос.

департаменти, що займаються моніторингом та розвитком стану навколишнього середовища.

Щодо питання про те, чому саме цей плагін має обрати користувач, можна відповісти – заради зручності. По-перше, набір схожих плагінів не дає можливості отримати конкретні адреси цих теплових аномалій. По-друге, інші плагіни не виділяють теплові острови із критично високими температурами. Ці два пункти можуть дуже сильно поліпшити процес моніторингу для користувача, що надасть йому біль зручний досвід роботи, а це є одним із ключових моментів у отриманні лояльної до продукту аудиторії.

Якщо розглядати варіант із розширення можливостей даного ПЗ для моніторингу теплових островів, то можна спробувати розділити його функціонал на дві редакції: безкоштовну та платну. Це дозволить у майбутньому отримувати прибуток, бо люди які звикнуть користуватися нашого ПЗ, зможуть купити набір зі більшим функціоналом окремо. До розширеного функціоналу можна буде віднести реалізацію більшого набору методів пошуку міських островів тепла, а також різні методи їх класифікації. Щодо цінової політики, як було зазначено вище, у плагіна буда платний та безкоштовний план.

Для платного можна встановити ціну у 5 дол. (140 грн.) і це буде одноразова покупка. Зважаючи на те, що ціна не є дуже високою та користувач платить лише один раз (за актуальну версію), то це дозволить із більшою ймовірністю швидко заробити на цьому ПЗ. При варіанті, що плагін стане популярним, ми зможемо додавати до нього функціонал, тестувати якісь нові рішення на безкоштовній його редакції та потім вводити до платної версії. Ураховуючи те, що ми на притримуємося моделі підписки, то кожену нову платну версію треба буда покупати заново. Це дозволить збільшити прибутки, а користувач зможе обирати, чи потрібна йому нова версія для його цілей або краще поки залишитися на старій.

4.4. Економічна ефективність

Зважаючи на те, що даний програмний продукт був створений у першу чергу для дослідницької діяльності, то ми не можемо розрахувати економічну ефективність. Окрім цього, автором не було знайдено комерційної організації на території України, щоб займалася проблемою міських островів тепла та якій міг бути корисний цей продукт. Але ми можемо визначити соціальний ефект.

Соціальний ефект від користування цим програмним продуктом очікується позитивний, бо він надає досить чітку інформацію про місце знаходження критично проблемних теплових аномалії міста. Адреси, що були отримані в результаті роботи ПЗ можна аналізувати та розроблювати план поліпшення стану навколишнього середовища: зниження температур. Слід зауважити те, що оцінкою результатів та їх інтерпретацією займається безпосередньо користувач. Окрім цього, саме він обирає методи боротьби із тепловою аномалією, базуючись на отриманих результатах.

ВИСНОВОКИ

Метою даної кваліфікаційної роботи була оптимізація алгоритму знаходження міських островів тепла (UHI – urban heat islands). Під час вивчення даної теми були розглянути методи дистанційного зондування землі (ДЗЗ), методи розрахунку температури поверхні землі (LST – land surface temperature) та методи пошуку UHI. В якості даних для аналізу були використані космознімки з сенсорів OLI/TIRS супутника Landsat-8, а конкретно: канали Band4, Band5, Band10. Даний супутник був обраних завдяки його великій роздільності у 30м, що є вкрай важливим фактором для отримання коректної локації теплового острова.

Для програмної реалізації методів була використана мова програмування R та програмне середовище для статистичних обчислень і графіки – RStudio. Також були використані різні бібліотеки для роботи із растром, динамічною мапою та іншими бібліотеками які зв'язані із великим пакетом GDAL (Geospatial Data Abstraction Library). В ході роботи програмна реалізація була поділена на наступні кроки:

- Отримання космознімки з Landsat-8 використовуючи сервіс <https://eos.com/landviewer/>;
- Отримання території міста Дніпро завдяки Nominatim API;
- Розрахунок NDVI;
- Розрахунок температури яскравості;
- Розрахунок температури поверхні землі;
- Пошук UHI та виділення аномально теплих зон, завдяки удосконаленому алгоритму пошуку міських островів тепла.

Після отримання LST, результати температур були порівняні із показниками метеоцентру міста, що розташований у районі аеропорту.

Під час порівняння результатів знаходження UHI за початковим методом та удосконаленим ми побачили величезну різницю: бо початковий виділяв сильно багато території та не давав чіткої картини того, де саме у місті

знаходяться теплові аномалії які дають найбільш великий негативний вплив. Але, після пошуку УНІ за удосконаленим ми змогли локалізувати дві самі критичні для міста Дніпро точки у Індустріальному та Новокодацькому районах. Температурна різниця там сягає +15 градусів Цельсія, що є досить великою різницею. У зимній період, різниця температур може сягати навіть +50 градусів.

З огляду на те, що не завжди може бути можливість боротися із конкретно найгарячішими точками, даний удосконалений підхід дає нам змогу міняти кількість межквартильних діапазонів, тим самим «скакати» по тепловим аномаліям різного рівня впливу. Це може бути корисно для того, щоб починати боротьбу з даною аномалією навпаки із самих «негарячих» точок цих теплових аномалій.

Автор вважає, що дане дослідження може бути корисним для більш глибокого розуміння проблеми УНІ у контексті міста Дніпро та може полегшити планування боротьби із тепловими аномаліями тим, що може вказати на місця із яких треба починати.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. H. Wickham, G. Grolemund R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data 1st Edition / H. Wickham, G. Grolemund – 605 p.
2. Richard Cotton, Learning R: A Step-by-Step Function Guide to Data Analysis 1st Edition / Richard Cotton – 429p.
3. Peter Gedeck Practical Statistics for Data Scientists: 50+ Essential Concepts Using R and Python 2nd Edition / Peter Gedeck – 483p.
4. Tilman M. Davies, The Book of R: A First Course in Programming and Statistics 1st Edition / Tilman M. Davies – 348 p
5. Andrie de Vries, R For Dummies 2nd Edition / Andrie de Vries – 350 p.
6. JD Long R Cookbook: Proven Recipes for Data Analysis, Statistics, and Graphics 2nd Edition / JD Long – 420 p.
7. Pablo Carreira Geospatial Development By Example / Pablo Carreira - Published by Packt Publishing Ltd. – 325p.
8. K. Zanter, Landsat 8 (L8) Data Users Handbook Version 3/ K. Zanter, 2018 – 115p.
9. Luke Howard, The climate of London, deduced from Meteorological observations, made at different places in the neighbourhood of the metropolis, 2 vol / Luke Howard., London, 20p
10. Carlson, T.N.; Ripley, D.A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. Remote Sens. Environ. / Carlson, T.N.; Ripley, D.A. – 1997, 252p
11. Ayodeji Ogunode, Mulemwa Akombelwa. An algorithm to retrieve Land Surface Temperature using Landsat-8 Dataset / Ayodeji Ogunode, Mulemwa Akombelwa, 2016 – 262-276 p
12. Intan Kumalasari, Madzlan Napiah, Pavements for mitigating urban heat island effects/ Intan Kumalasari, Madzlan Napiah - In book: Eco-efficient Materials for Reducing Cooling Needs in Buildings and Construction, October 2020

13. Shaojing Jiang, Xuhui Lee, Kaicun Wang, Jiankai Wang, Amplified Urban Heat Islands during Heat Wave Periods / Shaojing Jiang, Xuhui Lee, Kaicun Wang, Jiankai Wang, *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 124p.
14. Andrea Favretto. Urban Heat Island analysis with Remote Sensing and GIS methods: an application in the Trieste area (North-East of Italy) / Andrea Favretto - Firenze University Press, 2018 – 215-229p.
15. Cao L., Li P., Zhang L., Chen T. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and vegetation fraction / *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing, 2008, p. 1379–1383.
16. Lin Liu, Yuanzhi Zhang. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong [Электронный ресурс] / Lin Liu, Yuanzhi Zhang - Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/1b78/f31b3b780a83166e836d6e4c899359e31c7a.pdf>
17. Hala Adel Effat / Change Detection of Land cover and Urban Heat Islands using Multi-Temporal Landsat Images, application in Tanta City, Egypt [Электронный ресурс] / Hala Adel Effat - Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/273339097_Change_Detection_of_Land_cover_and_Urban_Heat_Islands_using_MultiTemporal_Landsat_Images_application_in_Tanta_City_Egypt
18. William D. Soleckia,, Cynthia Rosenzweigb, Lily Parshallb, Greg Popesc, Maria Clarkc, Jennifer Coxа, Mary Wiencke. Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey [Электронный ресурс] / William D. Soleckia,, Cynthia Rosenzweigb, Lily Parshallb, Greg Popesc, Maria Clarkc, Jennifer Coxа, Mary Wiencke - Режим доступа: https://pubs.giss.nasa.gov/docs/2005/2005_Solecki_so04000r.pdf
19. Bohren, Craig F.; Huffman, Donald R. Absorption and scattering of light by small particles. Wiley. / Bohren, Craig F.; Huffman, Donald R, pp. 123–126
20. P. Konstantinov, A. Baklanov, M. Varentsov, E. Kukanova, I. Repina, S. Shuvalov, and T. Samsonov. Experimental urban heat island research of four biggest

polar cities in northern hemisphere. In Geophysical Research Abstracts, volume 16 of EGU General Assembly, pages EGU2014–10699–1, Germany, 2014. Germany

21. Urban heat island-A review / Swarnalatha Kannoth, Najiya Nizar, Sheela A.M / Conference: International Conference on materials, mechanics and management At: College of Engineering Trivandrum – March 2020.

22. Magee N., Curtis J., Wendler G., The Urban Heat Island Effect at Fairbanks Alaska// Theor. Appl. Climatol. 1999. V. 64, pp. 39-47

23. Niclos, R.; Valiente, J.A.; Barbera, M.J.; Caselles, V., "Land Surface Air Temperature Retrieval From EOS-MODIS Images," Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE , vol.11, no.8, pp.1380,1384, Aug. 2014 doi: 10.1109/LGRS.2013.2293540

24. B. Zhou, D. Rybski, and J. P. Kropp, On the statistics of urban heat island intensity / B. Zhou, D. Rybski, and J. P. Kropp - Geophysical Research Letters, Vol. 40, 5486–5491

25. Кашкин В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений : учеб. пособие / В. Б. Кашкин, А. И. Сухонин. – М. : Логос, 2001. – 264 с.

26. Lan Ding, Paul Osmond, Urban Heat Island Mitigation / Lan Ding, Paul Osmond / Decarbonising the Built Environment, Charting the Transition 337-355p.

27. Hicham Bahi, Hassan Radoine, Hicham Mastouri, Urban Heat Island: State of the Art / Hicham Bahi, Hassan Radoine, Hicham Mastouri / Conference: 2019 7th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), November 2019

28. Sheheryar Khan, Analysis on the Change of Urban Heat Island Expansion / Sheheryar Khan - Project: Analysis on the Change of Urban Heat Island Expansion - November 2020

29. Sarah E Diamond, Ryan Andrew Martin, Evolutionary Consequences of the Urban Heat Island / Sarah E Diamond, Ryan Andrew Martin In book: Urban Evolutionary Biology - May 2020 - (91-110p.)

30. Kumar, Rahul; Mishra, [та ні.] Dominant control of agriculture and irrigation on urban heat island in India / Kumar, Rahul; Mishra 2017
31. Virginia Gorsevski, Haider Taha, Dale Quattrochi, [та ні.] Air Pollution Prevention Through Urban Heat Island Mitigation: An Update on the Urban Heat Island Pilot Project. / Virginia Gorsevski, Haider Taha, Dale Quattrochi, [та ні.], United States. NASA
32. Albers, R. A. W., Bosch, P. R., [та ні.], Overview of challenges and achievements in the Climate Adaptation of Cities and in the Climate Proof Cities program. Building and environment, / Albers, R. A. W., Bosch, P. R., [та ні.], 2015-83p, 1–10p.
33. J. Hansen; R. Ruedy; M. Sato; [та ні.]. A closer look at United States and global surface temperature change". Journal of Geophysical Research, / J. Hansen; R. Ruedy; M. Sato; [та ні.]. 2001 : 239–247p.
34. Campbell, J. B. Introduction to remote sensing (3rd ed.) / Campbell, J. 2002 - B The Guilford Press - 621 p.
35. Guiyun Tian, Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data / Guiyun Tian, Volume 2016, Article ID 1480307, 8 pages
36. Стаття з описом індексу міського острова тепла [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://calepa.ca.gov/climate/urban-heat-island-index-for-california/understanding-the-urban-heat-island-index/>.
37. Kuenzer, C., S. Dech Thermal Infrared Remote Sensing – Sensors, Methods, Applications. Remote Sensing and Digital Image Processing Series, Volume 17 / Kuenzer, C., S. Dech, - 2013 - 572 p
38. Dupuis, C.; Lejeune, P. [та ін.] How Can Remote Sensing Help Monitor Tropical Moist Forest Degradation. A Systematic Review. Remote Sens / Dupuis, C.; Lejeune, P. [та ін.] - 2020, 1087p
39. Richards, J. A.; X. Jia. Remote sensing digital image analysis: an introduction (4th ed.) / Richards, J. A.; X. Jia – 2006 – 439p.

40. John Jensen. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective (Pearson Series in Geographic Information Science) 4th Edition / John Jensen. Pearson - 2015 – 656p.
41. Е. Н. Сутырина Дистанционное Зондирование Земли (Учебное пособие) / Е. Н. Сутырина – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.
42. Williams, M. Deforesting the Earth / M. Williams. – University of Chicago Press, Chicago, 2003.
43. Кашкин, В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М., Логос, 2001. – 264 с.
44. М.Ю.Грищенко. Изучение Городских Островов Тепла По Космическим Снимкам / М.Ю.Грищенко - МГУ им. М.В.Ломоносова, географический факультет, бс.
45. Станкевич, О.В. Титаренко [та ін.] Картирование загрязненности атмосферы Приднепровского промышленного района диоксидами азота и серы с использованием спутниковых данных / С.А. Станкевич, О.В. Титаренко [та ін.]. Хлопова, 2016 – 106-111 с.
46. Веб-сервіс для перегляду космознімків [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://eos.com/landviewer/>.
47. Офіційний сайт пакету GDAL [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.osgeo.org/projects/gdal/>
48. Веб-сервіс для перегляду доступних маршрутів супутника [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://search.remotepixel.ca>
49. Стаття з описанням явища міських островів тепла [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.surrey.ca/engagement/sustainability-energy-services/urban-heat-ready>
50. Зацерковний В.І., Оберемок Н.В. Березіна П. О. Просторово-часовий аналіз «островів тепла» мегаполіса за супутниковими знімками landsat. [Електронний ресурс]: /. Зацерковний В.І., Оберемок Н.В. Березіна П. О. - Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/324777978>

Spatial-temporal_analysis_of_the_islands_of_heat_of_the_metropolis_for_satellite_images_Landsat

51. Малинников В.А., Стеценко А.Ф. [и др.] Мониторинг природной среды аэрокосмическими средствами. Учебное пособие для студентов вузов / Малинников В.А., Стеценко А.Ф. [и др.] Московский Государственный Университет Геодезии И Картографии (МИИГАиК), 173с.

52. Загальний опис характеристик супутника Landsat-8 [Електронний ресурс] - Режим доступу: URL:https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con

53. Стаття описання Закону Планка [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.britannica.com/science/Plancks-radiation-law>

54. Визначення терміну Land Surface Temperature [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-slstr/overview/geophysical-measurements/land-surface-temperature>

55. Розрахування коефіцієнту випромінювання використовуючи NDVI [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://kundoc.com/pdf-survey-of-emissivity-variability-in-thermography-of-urban-areas-.html>

56. Показання метеоцентру міста Дніпро. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://meteocenter.net/>

57. Сайт з описанням явища міських островів тепла [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.urbanheatislands.com/>

58. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанційне зондування та географічні інформаційні системи / Чандра А.М., Гош С.К.: 305стр.

59. Стаття з описанням пакету GDAL [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://medium.com/planet-stories/a-gentle-introduction-to-gdal-part-1-a3253eb96082>

60. Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Картографирование тепловых аномалий Москвы по разносезонным тепловым снимкам // В сборнике:

Геоэкологические проблемы Новой Москвы. М.: Медиа-ПРЕСС Москва, 2013. С. 70–76

61. Савиных В. П. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования / В. П. Савиных, В. Я. Цветков. – М. : Картгеоцентр – Геодезиздат, 2001. – 228 с

62. Интернет-семинары Межуниверситетского аэрокосмического центра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geogr.msu.ru/science/aero/center/cont.htm>.

63. Опис пакету raster [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/index.html>

64. Токарева О. С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли : учеб. пособие / О. С. Токарева. – Томск : Изд-во Том. политех. ун-та, 2010. – 148 с.

65. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Методы и модели и методы обработки изображений / Шовенгердт Р.А - Москва: Техносфера, 2013. – 560 с.

66. Схематичне зображення дистанційного зондування [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.physics-and-radio-electronics.com/blog/lidar-light-detection-ranging/>

67. Схематичне зображення взаємодії електромагнітного випромінювання з різними речовинами і середовищами на поверхні Землі [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5166486/page:4/>

68. Схема вікон прозорості. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/lectures/films_and_filters.html

69. Схема електромагнітного спектру. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://steemit.com/steemstem/peerzadazeeshan/electromagnetic-waves-and-nuclear-physics-8c74a65cc6d74>

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

```

0_set_up_global_vars //модуль з усіма константами

# PATH
# Windows
# ROOT_DIR <- "D:/vova/NTUDP/Masters degree/Diploma
project/before_victory/finding_UHI_using_landsat8_data"
# Linux/MacOS
ROOT_DIR <- "/Users/volodymyrmiroshnycehko/Documents/Study/University/Masters
degree/Diploma/before_victory/finding_UHI_using_landsat8_data"
DOWNLOADED_DIR <- "downloaded_data"
# SCENE_DIR_NAME <- "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_L1"
SCENE_DIR_NAME <- "LC08_L1TP_178026_20200921_20201006_01_T1_34_70855712890626,48_31425453625818"
(INPUT_DATA_FOLDER <- paste(ROOT_DIR, DOWNLOADED_DIR, sep='/'))
SCENE_DIR_PATH <- paste(ROOT_DIR, SCENE_DIR_NAME, sep="/")
CITY_POLYGON_PATH <- paste(ROOT_DIR, "area_of_interest/for_scene_search/POLYGON.shp", sep="/")

# set current working dir
setwd(ROOT_DIR)

# set up date range
DATE_START <- "2018-06-01"
DATE_END <- "2019-06-10"

SATELLITE = "LANDSAT_8_C1"

# USGS credentials
USGS_USERNAME <- "steventsstuff"
USGS_PASSWD <- "S2adXtbtqJCRsMz"

# set up values from metadata (script 4)
REFLECTANCE_MULT_BAND <- 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND <- -0.100000
# 2019
# SUN_ELEVATION <- 47.10255848
# 2020
SUN_ELEVATION <- 39.76840327

# 2019
# scene_folder <- "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_L1"
# band_4_name <- "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B4.TIF"
# band_5_name <- "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_B5.TIF"
# scene_folder <- "LC08_L1TP_178026_20180831_20180912_01_T1_L1"
# 2020
scene_folder <- "LC08_L1TP_178026_20200921_20201006_01_T1_34_70855712890626_48_31425453625818"
band_4_name <- "LC08_L1TP_178026_20200921_20201006_01_T1_B4.TIF"
band_5_name <- "LC08_L1TP_178026_20200921_20201006_01_T1_B5.TIF"
band_10_name <- "LC08_L1TP_178026_20200921_20201006_01_T1_B10.TIF"

# values from metadata (script 5)
RADIANCE_MULT_BAND_10 <- 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_10 <- 0.10000
K1_CONSTANT_BAND_10 <- 774.8853
K2_CONSTANT_BAND_10 <- 1321.0789

1_get_scene // скрипт для отримання космознімку

# import
library(getSpatialData)
library(sf)

# using http://geojson.io/ for creating rectangle around the city Dnipro
# (POLYGON.shp)
aoi_data <- st_read(CITY_POLYGON_PATH)
aoi <- aoi_data$geometry
set_aoi(aoi)

# login USGS profile

```



```

login_USGS(username = USGS_USERNAME, password = USGS_PASSWD)
# we are looking for "LANDSAT_8_C1" products
(product_names <- getLandsat_names())

# get all available data through request
time_range <- c(date_start, date_end)
satellite <- SATELLITE
response <- getLandsat_query(time_range = time_range, name = satellite)

# set satellite ROW and PATH of interest
# using https://search.remotepixel.ca for finding row and path
row <- 26
path <- 178
# select data of interest, also searching for scene with cloud cover
# less than 20%
sorted_data <- response[
  (response$WRSRow == row)
  & (response$WRSPath == path)
  & (response$SceneCloudCover < 20),
]
# get scene preview
getLandsat_preview(sorted_data[2,])
(sorted_data[2,]$levels_available)
chosen_scene <- sorted_data[2,]

# download scene
files <- getLandsat_data(
  records = chosen_scene,
  level = "11",
  source = "auto",
  dir_out = dir_for_download
)

```

2_delete_unnecessary_data // скрипт для видалення зайвих слів

```

# list all data in scene folder
(files_list <- list.files(SCENE_DIR_PATH))

# set up patterns for delete
delete_patterns <- c(
  "B1.T", "B1_", "B2", "B3", "B6", "B7", "B8", "B9", "B11", "BQA"
)

for (i in seq_along(files_list)){
  for (pattern in delete_patterns){
    if (grepl(pattern, files_list[i])){
      file.remove(paste(scene_dir_path, files_list[i], sep="/"))
      print(files_list[i])
      print("was deleted!")
    }
  }
}

```

3_get_city_border // скрипт для отримання меж міста

```

# import
library(httr)
library(geojsonio)
library(sf)
library(leaflet)

# make request to nominatim.openstreetmap.org
response <-
GET("https://nominatim.openstreetmap.org/search.php?q=Днепр+Днепровский+городской+совет+Днепропетров
ская+область&polygon_geojson=1&limit=1&format=json")
# parse response
parsed_resp <- content(response, as="parsed")
dnipro_shape <- as.json(parsed_resp[[1]]$geojson)
# write geojson
geojson_write(dnipro_shape, file="area_of_interest/dnipro_shape.geojson")

# load dnipro_shape.geojson
dp_points <- st_read("area_of_interest/dnipro_shape.geojson")
map <- leaflet() %>%
  addTiles() %>%

```

```

addPolygons(data = dp_points, weight=2, color = "red")

# show map
Map

4_calc_ndvi // скрипт для розрахування NDVI

# import
library(sp)
library(raster)
library(sf)

# load bands
# 4 (red), 5 (NIR) - for NDVI calculation
red <- raster(paste(INPUT_DATA_FOLDER, scene_folder, band_4_name, sep="/"))
nir <- raster(paste(INPUT_DATA_FOLDER, scene_folder, band_5_name, sep="/"))

# clip raster using AOI geojson file
city_polygon <- st_read("area_of_interest/dnipro_shape.geojson")
crs(red)
st_crs(city_polygon)
city_polygon <- st_transform(city_polygon, proj4string(red))

# save borders in UTM projection (zone 36)
st_write(city_polygon, "area_of_interest/dnipro_utm.geojson")
city_polygon <- as(city_polygon, "Spatial")

red <- crop(x = red, y = extent(city_polygon))
nir <- crop(x = nir, y = extent(city_polygon))

# Calc NDVI
# Calc TOA Reflectance
toa_ref <- function(x){(x * REFLECTANCE_MULT_BAND + REFLECTANCE_ADD_BAND) / sin(SUN_ELEVATION * (pi
/180))}

b4 <- calc(red, fun=toa_ref)
# for better results we need our NDVI to be in range [0-1]
b4[b4 < 0] <- 0
b4[b4 > 1] <- 1

b5 <- calc(nir, fun=toa_ref)
b5[b5 < 0] <- 0
b5[b5 > 1] <- 1

# NDVI formula
calc_ndvi <- function(nir,red) {(nir - red)/(nir + red)}

# actual calculation
ndvi <- calc_ndvi(b5, b4)
# draw plot
plot(ndvi)

# Save result
writeRaster(ndvi, "output_2020/ndvi.tif", overwrite=TRUE)

5_calc_bt // скрипт для розрахування BT
# import
library(sp)
library(raster)
library(sf)

# load band
(paste(INPUT_DATA_FOLDER, scene_folder, band_10_name, sep="/"))
band_10 <- raster(paste(INPUT_DATA_FOLDER, scene_folder, band_10_name, sep="/"))

# clip band
dp <- st_read("area_of_interest/dnipro_utm.geojson")
dp_loaded <- as(dp, "Spatial")
band_10 <- crop(x = band_10, y = extent(dp_loaded))

# calc brightness temperature

# get TOA Radiance on DN:
toa_band10 <- calc(band_10, fun=function(x){RADIANCE_MULT_BAND_10 * x + RADIANCE_ADD_BAND_10})

# calc BT in kelvin for band 10
bt10 <- calc(toa_band10, fun=function(x){K2_CONSTANT_BAND_10/log(K1_CONSTANT_BAND_10/x + 1)})

```

```

# show result
plot(bt10)

# save result
writeRaster(bt10, "output_2020/bt10_k.tif", overwrite=TRUE)

6_calc_lst // скрипт для розрахунку LST

#import
library(raster)

# load NDVI raster
ndvi <- raster("output_2020/ndvi.tif")

# calc emissivity
emissiv <- ndvi
emissiv[ndvi < -0.185] <- 0.995
emissiv[(ndvi >= -0.185)&(ndvi < 0.157)] <- 0.985
emissiv[(ndvi >= 0.157)&(ndvi <= 0.727)] <- 1.089 + 0.047*log(ndvi[(ndvi >= 0.157)&(ndvi <= 0.727)])
emissiv[ndvi > 0.727] <- 0.990

# show emissivity
plot(emissiv)

# calc LST
BT <- raster("output_2020/bt10_k.tif")

h <- 6.62607015e-34 # Planck's constant
c <- 299792458     # light speed, м/с
s <- 1.38064852e-23 # Boltzmann constant
rho <- h*c/s
lambda <- 10.8e-6  # average wavelength for range (10.60 - 11.19)

# LST in celsius
LST <- BT / (1 + lambda * BT/rho * log(emissiv)) - 273.15
# show result
plot(LST)

# save LST raster
writeRaster(LST, "output_2020/lst.tif", overwrite=TRUE)

# show diff between BT and LST
(dT <- LST - (BT - 273.15))
plot(dT)

# Where are the biggest mistakes made?
rel_temp_err <- abs(dT/LST)
rel_temp_err[rel_temp_err < 0.1] <- NA

# show result
plot(rel_temp_err)

7_find_uhi // скрипт для пошуку UHI

# import
library(raster)
library(sf)

# load LST raster
lst <- raster("output/lst.tif")

# clip LST raster with city Dnipro border
dp <- st_read("area_of_interest/dnipro_utm.geojson")
dp_sp <- as(dp, "Spatial")
lst_msk <- mask(x = lst, mask = dp_sp)
lst_msk_cr <- crop(x = lst_msk, y = extent(dp_sp))

density(lst_uhi)

# show result
plot(lst_msk_cr, col=rev(rainbow(20, s = 1, v = 1, start = 0, end = 1)[1:13]))

#save result
writeRaster(lst_msk_cr, "output/lst_clipped_dp.tif", overwrite=TRUE)

# find UHI

```

```

lst_uhi <- lst_msk_cr
# get pixels values
lst_v <- getValues(lst_uhi)

# arithmetic mean + 0.5 * standard deviation
uhi_th <- function(x) mean(x, na.rm = T) + 0.5 * sd(x, na.rm = T)
(uhi_T <- uhi_th(lst_v))

# mask all area but UHI
lst_uhi[lst_uhi <= uhi_T] <- NA

# show result
plot(lst_uhi, col=rev(rainbow(20, s = 1, v = 1, start = 0, end = 1)[1:13]))
# save result
writeRaster(lst_uhi, "output/uhi_old.tif", overwrite=TRUE)

# Mark the must heat area of UHI
# Such extremes exist:
boxplot(lst_v)

# Mark only extremes LST values with 3x quantile range
qnt <- quantile(lst_v, probs=c(.25, .75), na.rm = T)
H <- 2 * IQR(lst_v, na.rm = T)

lst_ext <- lst_msk_cr
# lst_ext[lst_ext <= (qnt[2] + H)] <- NA
lst_ext[lst_ext >= (qnt[2] + H)] <- NA
lst_ext[lst_ext <= (qnt[1] + H)] <- NA

plot(lst_ext, col=rev(rainbow(20, s = 1, v = 1, start = 0, end = 1)[1:13]))
writeRaster(lst_ext, "output/lst_ext_old.tif", overwrite=TRUE)

# Divide the raster into fragments
# StackExchange: Remove clumps of pixels in R
# https://gis.stackexchange.com/questions/130993/remove-clumps-of-pixels-in-r
rc <- clump(lst_ext)
freq(rc)
plot(rc)

# Vectorize extreme heat areas
pol <- rasterToPolygons(rc, dissolve = T)
pol$clumps <- as.integer(pol$clumps)

plot(pol)

# Get middle temprerature in heat area
mean_temp <- extract(lst_uhi, pol, fun=mean, na.rm=T, weights=T)
# Add temp into vector layer
pol$mean_temp <- as.vector(mean_temp)
# Add max temp into vector
max_temp <- extract(lst_uhi, pol, fun=max, na.rm=T)
pol$max_temp <- as.vector(max_temp)

# save shapefile with the most heat area
shapefile(pol, "area_of_interest/uhi/extrema_heats_old.shp", overwrite=T)

8_draw_isolines // скрипт для малювання векторів UHI

#import
library(sp)
library(raster)
library(tmap)

# load raster
# lst <- raster("output/uhi_old.tif")
lst <- raster("output/lst_ext_old.tif")

# build isolines (SpatialLinesDataFrame) in raster island
lst_l <- rasterToContour(lst, nlevels = 5)

# set up color palette
my.palette = sort(heat.colors(7), decreasing = T)

# Activate interactive view mode
current.mode <- tmap_mode("view")

```

```
# show map
tm_shape(lst) + tm_raster(palette = my.palette, title = "LST, \u00B0 C") + tm_shape(lst_1) +
tm_lines()
```

9_find_address // скрипт для пошуку адрес

```
# import
library(sf)
library(httr)
library(leaflet)

# load shapefile of heat areas
# hot_spot <- st_read("area_of_interest/uhi/extrema_heats.shp")
hot_spot <- st_read("area_of_interest/uhi/extrema_heats.shp")

epsg4326 <- "+proj=longlat +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +no_defs"
hot_spot <- st_transform(hot_spot, epsg4326)

# coords of area centers
hp <- st_coordinates(st_centroid(hot_spot))

obj_names <- vector(length=nrow(hp))

# get addresses with
# Nominatim API Reverse Geocoding
for (i in 1:nrow(hp)) {
  lon <- hp[i,1]
  lat <- hp[i,2]

  url <- paste0(
    "http://nominatim.openstreetmap.org/reverse?format=json&lon=",lon,
    "&lat=",lat
  )
  rsp <- GET(url)
  obj <- content(rsp, as="parsed")

  print(obj$display_name)

  obj_names[i] <- obj$display_name
}

# add address to area's data
hot_spot$name <- obj_names

# show results on map
leaflet(hot_spot) %>%
  addTiles() %>%
  addPolygons() %>%
  addMarkers(lng = hp[,1], lat = hp[,2], label = hot_spot$name)
```

ВІДГУК

**керівника економічного розділу
на кваліфікаційну роботу магістра**

на тему:

**«Методи, алгоритми та інформаційна технологія знаходження міських
островів тепла за допомогою супутникових знімків в інфрачервоному
тепловому діапазоні.»**

студента групи 122м-19-1 Мірошніченка Володимира Олександровича

ПЕРЕЛІК ДОКУМЕНТІВ НА ОПТИЧНОМУ НОСІЇ

Ім'я файла	Опис
Пояснювальні документи	
Диплом_Мірошніченко.docx	Пояснювальна записка до магістерської роботи. Документ Word.
Диплом_Мірошніченко.pdf	Пояснювальна записка до до магістерської роботи в форматі PDF
Програма	
Program.zip	Архів. Містить коди програми
Презентація	
Презентація_Мірошніченко.pptx	Презентація до магістерської роботи