Корисна модель належить до науково-технічного напрямку цифрового оброблення та аналізу аерокосмічних зображень і може бути використана для аналізу поверхні Землі, визначення стану атмосфери та захмарення у заданій точці Земної кулі.

Відомо спосіб (Патент України на корисну модель № 115450, БІ № 21 від 10.11.2017 р.) виявлення аномалій довкілля різного походження за спектральними характеристиками аерокосмічного зображення, згідно з яким виконують спектральну фільтрацію пікселів зображення і виявляють пікселі, що за своїми спектральними характеристиками не збігаються з навколишнім фоном, навколо кожного з виявлених пікселів формують апертуру з центром у такому пікселі і з розмірами, що дозволяють охопити будь-яку аномалію з числа класів, що розглядаються, для аномалій заданих класів заздалегідь формують еталони адаптивних спектральних індексів (ACI), після локалізації аномалії, пов'язаної з місцевістю, визначають для неї класи на основі виміряних спектральних характеристик, а відмінність отриманих класів, обчислюють як модуль різниці їх з еталонними класами з ACI, потім визначають функцію відповідності аномалії еталонам для заданих класів (функція відповідності аномалії) і відносять досліджувану аномалію до того або іншого класу за мінімальним значенням функції відповіді ості, остаточне рішення про клас аномалії приймають на основі даних про геометричні форми, структурно-текстурні характеристики та адаптивні спектральні індекси.

Недоліком способу є складність реалізації, яка полягає у формуванні спектру та подальшої фільтрації, визначення оптимальних довжин хвиль, виявлення оптимальних довжин хвиль, виявлення адаптивних спектральних індексів (ACI), а також реалізації алгоритму виявлення оптимальних аномалій на основі ACI, який потребує додаткових послідовних обчислень. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації та методів скаляризації потребує додаткових часових витрат, що знижує швидкодію реалізації способу.

Відомий спосіб виділення хмар на супутникових гіперспектральних зображеннях (Л.В. Дударь, С.А. Бибиков. Алгоритм выделения облаков на спутниковых гиперспектральных изображениях. Материалы конференции "Информационные технологии и нанотехнологии - 2016", - С. 571-575), який полягає в тому, що виділяють зображення хмар на кожному каналі ГСЗ, об'єднують отримані шари в єдине зображення в градаціях сірого для наглядного представлення хмар різної степені щільності, визначають хмари на зображенні по яскравості пікселів, сегментацію проводять шляхом перевірки кожного окремого пікселя на приналежність до початкового об'єкту, проводять роботу з отриманою в ході сегментації бінарною маскою, кожний піксель якої визначає приналежність відповідного гіперпікселя зображенню хмари.

Недоліком даного способу є складність, оскільки для його реалізації існує необхідність розбиття початкового зображення на окремі шари, кожний з яких містить зображення в одному спектральному каналі. Кожне зображення обробляється окремо із застосуванням методу Отсу, що дозволяє виділити в кожному зображення хмар. Крім того, спосіб характеризується невисокою точністю, оскільки використовується розбиття на шари, а потім об'єднання напівтонових зображень з виділеними хмарами за рахунок підвищення яскравості пікселів, що накладуть зображенням хмар. Такий підхід призводить до появи шумових пікселів, які в подальшому видаляються не всі. Застосування такої кількості операцій потребує додаткового часу на реалізацію способу.

Відомо спосіб піксельного виявлення хмар Sentiel Hub (Anze Zupank. Improving Cloud Detection with Machine Learning. 19.12.2017, https://medium.com/sentinel-hub/improving-cloud-detection-with-machine-learning-c09dc5d7cf13), який працює у глобальному масштабі і у значній степені спирається на методи машинного навчання, в якому привласнюють кожному пікселю зображення ймовірність того, що він буде покритий хмарою, виключно на основі спектрального відгуку супутника для цього пікселя, беруть до уваги тільки більш широкий контент, коли будують маску хмари даної сцени з її карти ймовірності хмари, виконуючи морфологічні операції, такі як згортка, використовують семантичну сегментацію з використанням згорткових нейронних мереж.

Реалізація даного способу має високу обчислювальну складність, що обмежує його область використання. Крім того, спосіб потребує використання великого об'єму спеціалізованих даних для навчання, а також потребує значної кількості часу, що витрачається на навчання.

Як найближчий аналог вибрано спосіб (Патент РФ № 2678950, Бюл. № 4 від 04.02.2019 р.) оцінки хмарності нічної атмосфери, який полягає у формуванні цифрового зображення всієї небесної півсфери над місцевістю спостереження, обробці зображень, оцінки нічної хмарності і виділенні зон, вільних від хмар, проводять математичну обробку цифрового зображення, за допомогою якої виділяють зони неба, вільні від хмар і зони хмарності, використовуючи при цьому щільність зображень зірок на фотоприймачі, потім проводять короткочасний прогноз зміни положення та розмірів хмар і зон неба, вільних від хмар, при якому реєструють послідовність в часі цифрових зображень неба з занесенням в банк даних, який міститься в блоці пам'яті, при цьому прогноз зміни і розпізнавання типу хмарності виконують автоматично по ряду оптичних зображень небозводу.

Недоліком даного способу є вузька область використання, яка полягає в тому, що він використовується для зображень, отриманих в нічний час і не може оцінити рельєф ділянки: ємної поверхні в різних погодних умовах. В способі також використовують порогову обробку для віднімання

темного фону, для чого використовують регульоване накопичення телевізійних кадрів та селекцію пікселів по пороговому значенню, що потребує великий об'єм пам'яті та додаткових витрат часу.

В основу корисної моделі поставлена задача розширення області застосування і способу, спрощення його реалізації та підвищення швидкодії отримання з результату. Спосіб дозволяє виділяти будь-які ділянки Земної поверхні на зображенні та визначати степінь її спотворень атмосферою. Для спрощення реалізації способу та підвищення обробки зображення не використовується накопичення телевізійних кадрів. Групування пікселів по заданому відхиленню від середнього значення скорочує час, що витрачається на отримання результату.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб визначення атмосферних спотворень на аерокосмічному зображенні ділянки Земної поверхні, який полягає в тому, що формують цифрове зображення над місцевістю спостереження, обробляють зображення, виділяють зони вільні від хмар, реєструють послідовність в часі цифрових зображень неба з занесенням в банк даних, згідно з корисною моделлю, за допомогою засобів відеофіксації поверхні Землі формують растрове зображення в ясну безхмарну погоду, виділяють область на зображенні, яку необхідно аналізувати, і визначають пікселі, які утворюють виділену область на зображенні, пікселям, які не входять у внутрішню частину виділеної області засобами кодування задають код, який відносить їх до пікселів фону, по отриманих кодах визначають середнє значення для значень кодів пікселів виділеної області, за допомогою різницевого елементу встановлюють величину інтервалу відхилення від визначеного середнього значення, приводять до однієї величини коду усі пікселі, величини кодів яких відхиляються від визначеного середнього не більше ніж на величину встановленого інтервалу відхилення, за допомогою порогових елементів виділяють пікселі, величини кодів яких відхиляються від визначеного середнього більше величини встановленого інтервалу відхилення, за допомогою засобів виділення крайових пікселів. виділяють крайові пікселі на даній виділеній площі зображення, формують бінарне зображення виділених крайових пікселів та надають їм код логічної "1", а усі інші пікселі приймають значення логічного "0", у регістрах проєкцій формують проєкції отриманого зображення у напрямках 0, 30, 60, 90, 120 та 150°, аналізують отримані коди проєкцій та зберігають їх як еталонну послідовність чисел, а також задають їй відповідний ідентифікатор, що відповідає ясній безхмарній погоді, для визначення спотворень в результаті атмосферних впливів здійснюють формування растрового зображення відповідної поверхні Землі у мрячну погоду або під час присутності хмар, виділяють область на зображенні, яку необхідно аналізувати, пікселям, які не входять у внутрішню частину виділеної області на зображенні задають код, який відносить їх до пікселів фону, визначають середнє значення для значень пікселів виділеної області, приводять до однієї величини коду, усі пікселі, величини кодів яких відхиляються від визначеного середнього не більше ніж на величину встановленого інтервалу відхилення, виділяють пікселі величини кодів яких відхиляються від визначеного середнього більше величини встановленого інтервалу відхилення, виділяють крайові пікселі на даній виділеній площі зображення, формують бінарне зображення виділених крайових пікселів та надають їм код логічної "1", а усі інші пікселі приймають значення логічного "0", у регістрах проєкцій формують коди проєкцій отриманого зображення у напрямках 0, 30, 60, 90, 120 та 150°, у блоці порівняння порівнюють отримані послідовності чисел з еталонними послідовностями чисел та визначають відхилення, які указують на області зображення, що спотворені хмарами, якщо послідовності чисел співпадають з еталонними послідовностями в межах заданого відхилення, то здійснюють порівняння визначених середніх значень пікселів зображення, отриманого в ясну погоду та зображення, отриманого у мрячну погоду, по відхиленням середніх значень визначають рівень затемнення Земної ділянки атмосферою, визначають середнє значення пікселів виділеної області, яка спотворена атмосферою, у блоці порівняння порівнюють отримане середнє значення з отриманим еталонним середнім значенням на зображенні, отриманим у ясну погоду, і по величині відхилення від еталонного середнього значення на виході різницевого елемента визначають величину затінення або покриття хмарами Земної поверхні.

Суть корисної моделі пояснюють креслення, де на фіг. 1 зображено фото процесу автоматичного виділення пікселів, які розташовані зсередини виділеної області на зображенні Земної поверхні, на фіг. 2 – фото прикладів виділення груп пікселів на зображенні виділеної області для різних спотворень атмосфери, на фіг. 3 – фото прикладів зображень з виділеними крайовими пікселями, на фіг. 4 - приклади форм шести проєкцій для кожного зображення.

Спосіб визначення атмосферних спотворень на аерокосмічному зображенні ділянки Земної поверхні полягає в наступному.

На початковому етапі, за допомогою засобів відеофіксації поверхні Землі, з літаючого об'єкта (супутник, безпілотний літальний апарат тощо) здійснюють фіксацію поверхні Землі (наприклад за допомогою цифрової відеокамери) та формують кольорове растрове зображення зафіксованої ділянки поверхні. На фіг. 1 представлено приклад кольорового зображення визначеної ділянки Земної поверхні, яка може мати будь-яку форму і окреслюється чорним кольором по контуру. Такий контур не повинен мати розривів між пікселями, що належать даній границі ділянки Землі. Кожен піксель, який формує контур, має властивості, які відрізняють його від властивостей інших пікселів зображення. Як

правило такими властивостями є код, що відповідає 0. Коди формуються засобами кодування (наприклад, регістром двійкового коду).

Наступним кроком є виділення окресленої ділянки Земної поверхні на кольоровому зображенні. Можливі декілька варіантів виділення такої поверхні. Найбільш простіш варіантом виділення полігональної області (ділянки Земної поверхні) полягає в наступному.

Крайні пікселі зображення виділеної області на зображенні встановлюються в такий стан, ще їх код однаковий та відповідає кольору, який практично не зустрічається у кодах зображення. Наприклад, коди таких пікселів можуть мати значення 10. Далі крайні пікселі всього зображення кодуються нулем (фіг. 1). Нулем кодується чорний колір на растровому зображенні. Усі інші пікселі на кожному кроці інтерації переходять в стан, який кодує 0, якщо один із чотирьох сусідніх пікселів по вертикалі (верхній або нижній найближчі пікселі) та по горизонталі (лівий або правий найближчі пікселі) має код нуля. На фіг. 1 подано приклади зображень після першого, десятого, двадцятого, п'ятдесятого та вісімдесятого кроків ітерації. Також для кожного пікселя зображення встановлено властивість, яка полягає в тому, що піксель у будь-якому випадку не переходить у кодування 0, якщо він має код 10. Даний код 10 відповідає пікселям границі виділеної області ділянки Земної поверхні зображення. Якщо зсередини виділеної ділянки Земної поверхні присутній піксель, який кодується 0, то проводиться аналіз кодів пікселів і вибирається піксель, код якого не присутній на зображенні. В даному випадку проводяться операції, які описані вище, а код нуля замінюється обраним кодом. Після виділення області пікселі з вибраним кодом перекодуються на коди 0. Таким чином, на початковому зображенні усі пікселі, які розташовані поза виділеною областю містять код нуля, а пікселі зсередини області кодують власний код початкового зображення.

Формують зображення у ясну погоду без хмар. На сформованому зображенні у ясну погоду виділяють область згідно описаного вище методу. Визначають середнє значення для величин кодів пікселів, що розташовані зсередини області. Визначають величини довірчих інтервалів для виділення груп пікселів, які мають однакові кольори та яскравості у межах довірчих інтервалів. Для цього, за допомогою різницевого елемента, визначають величину D згідно формули для кожного пікселя виділеної області

$D=I_{вх}-S_{сер}$,

де $I_{вх}$ - величина коду пікселя на початковому зображенні;

$S_{сер}$ - середня величина для кодів пікселів виділеної області.

Якщо $D<D_i$ (D_i - порогове значення для і-ої групи пікселів), для відповідного пікселя, то даний піксель відносять до і-ої групи пікселів. Приклад виділення таких груп пікселів подано на фіг. 2.

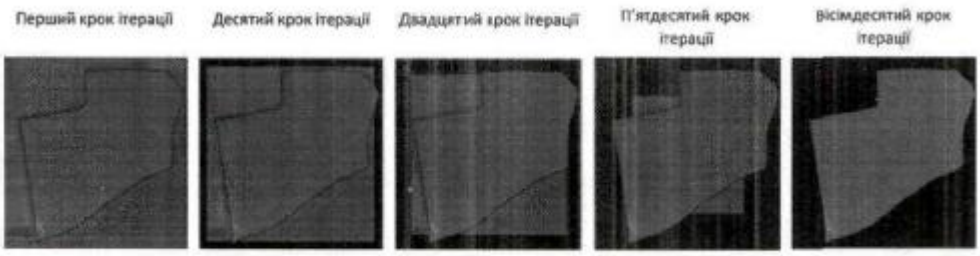
Також обчислюють середнє значення для пікселів виділеної області на зображенні сформованому у мрячну погоду. Порівнюють середні значення, обчислені з зображень, отриманих у ясну і мрячну погоду. По величині відхилення визначають величину спотворення зображення поверхні Землі, отриманого у мрячну погоду.

Для визначення степені захмарення по зображенню, отриманому у хмарну погоду здійснюють виділення груп пікселів, які відрізняються від пікселів на зображенні, отриманому у ясну безхмарну погоду. На фіг. 2 представлено приклад виділених груп пікселів, які належать тіням від хмар. Для даних пікселів було задано інше значення D_i довірчого інтервалу, яке дозволяє виділити тіні на зображенні, отриманому у хмарну погоду. Співвідношення пікселів, що належать тіням хмар на зображенні до пікселів незатіненої області дає відсоток захмареності виділеної поверхні Землі. Величина D_i довірчого інтервалу дозволяє встановити глибину затінення Земної поверхні на даній ділянці.

Визначити затінені області дозволяє використання шести проєкцій для зображення перетвореного у бінарне. В такому зображенні код одиниці привласнюється пікселям, які належать тіням від хмар, а усі інші пікселі встановлюють код нуля. Для зменшення кількості одиниць виділяють крайові пікселі на зображенні з використанням оператора Робертса (фіг. 3). По зображеннях з виділеними крайовими пікселями формують шість проєкцій під кутами 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150° (фіг. 4). Дані проєкції формуються за допомогою регістрів, які зберігають дані коди проєкцій у вигляді послідовностей чисел. Порівнюють отримані проєкції для зображень, отриманих у ясну та хмарну погоду. По відхиленням та формам проєкцій, які визначаються отриманою послідовності чисел для кожної проєкції, визначають області, що покриті хмарами на зображенні.

Після виділення крайових пікселів здійснюють порогову обробку використовуючи різні пороги. По виділених крайових пікселях визначають глибину затінення пікселя хмарою на зображенні.

Перевагою способу є розширена область застосування за рахунок того, що спосіб дозволяє визначати форму тіней, хмар, глибину затінення та степінь спотворення зображення Земної поверхні. Спосіб має спрощену реалізацію, оскільки працює з одним отриманим зображенням та з одним або декількома еталонними зображеннями. Спосіб не вимагає великого об'єму пам'яті та складних обчислювальних операцій. Практично всі обчислювальні операції проводяться над кожним пікселем окремо і вони можуть бути реалізовані паралельно на нескладній паралельній обчислювальній структурі.


Перший крок ітерації
Десятий крок ітерації
Двадцятий крок ітерації
П'ятдесятий крок ітерації
Вісімдесятий крок ітерації

Фіг. 1

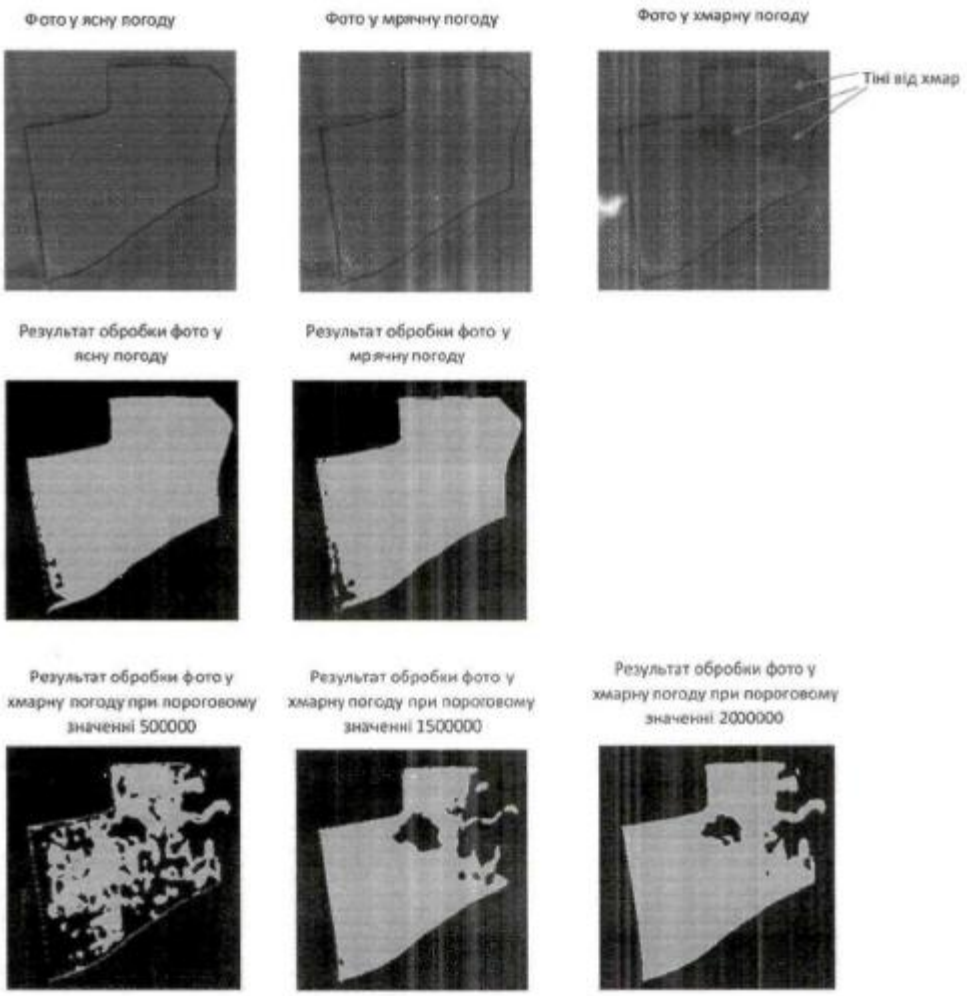


Фото у ясну погоду
Фото у мрячну погоду
Фото у хмарну погоду
Тіні від хмар
Результат обробки фото у ясну погоду
Результат обробки фото у мрячну погоду
Результат обробки фото у хмарну погоду при пороговому значенні 500000
Результат обробки фото у хмарну погоду при пороговому значенні 1500000
Результат обробки фото у хмарну погоду при пороговому значенні 2000000

Фіг. 2

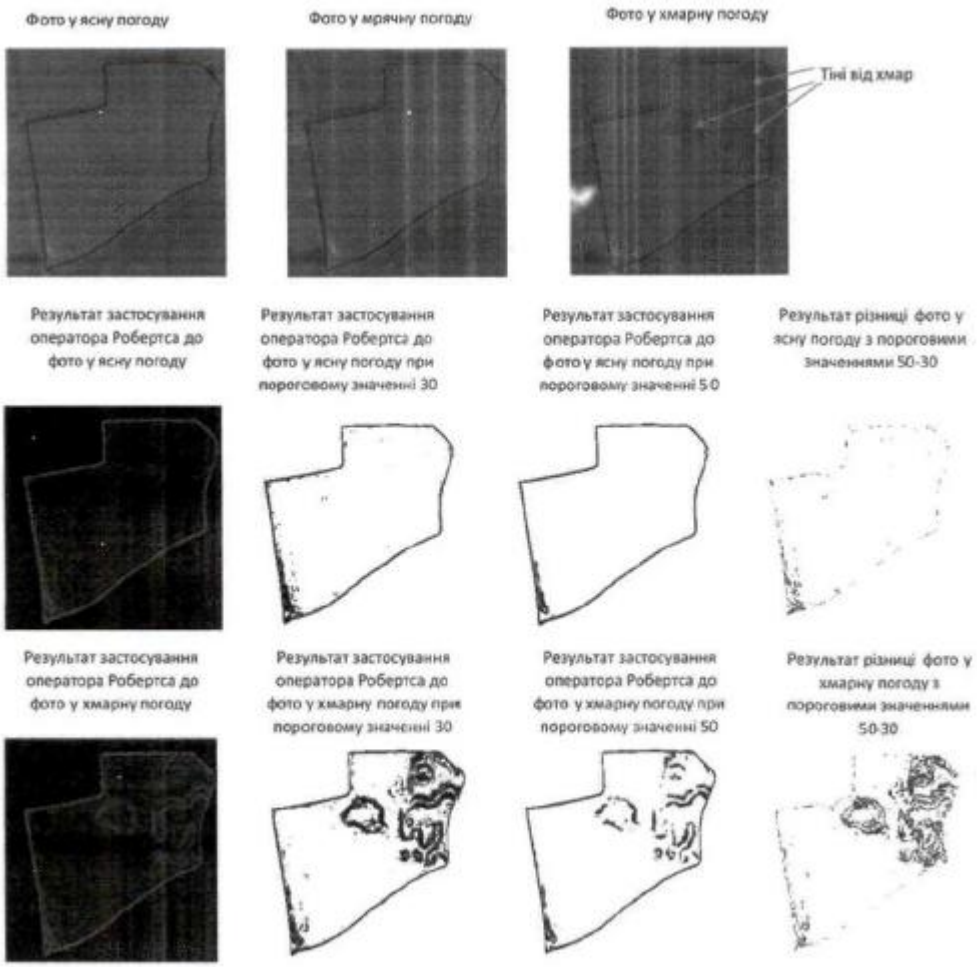
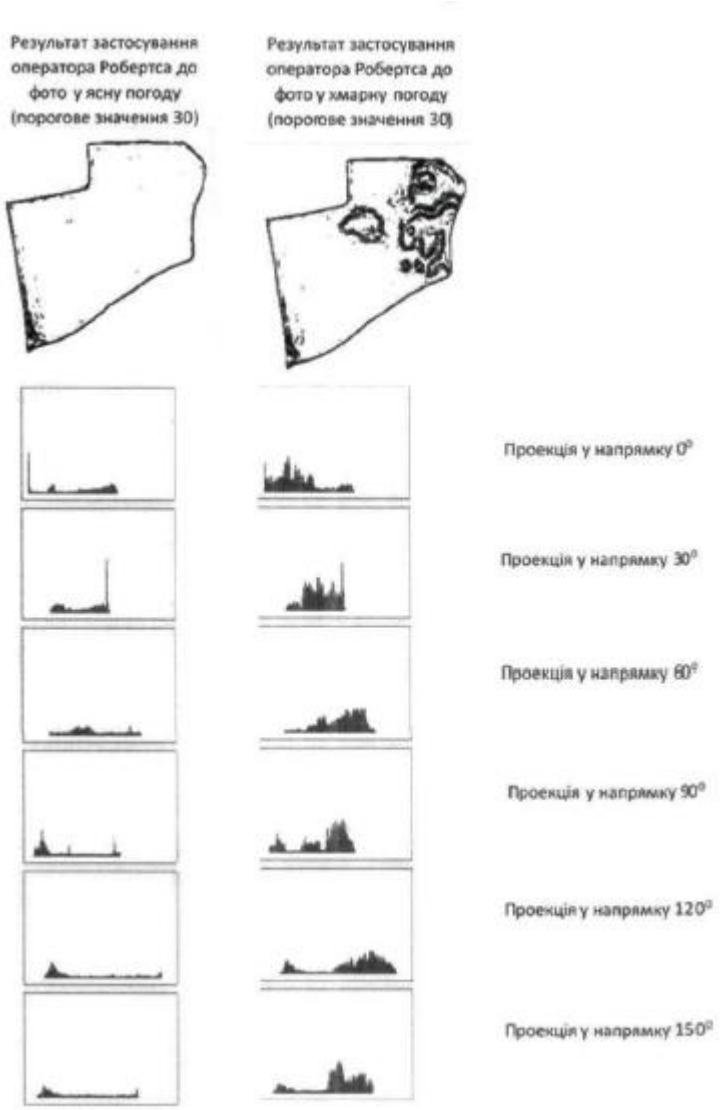


Фото у ясну погоду
Фото у мрячну погоду
Фото у хмарну погоду
Тіні від хмар
Результат застосування оператора Робертса до фото у ясну погоду
Результат застосування оператора Робертса до фото у ясну погоду при пороговому значенні 30
Результат застосування оператора Робертса до фото у ясну погоду при пороговому значенні 50
Результат різниці фото у ясну погоду з пороговими значеннями 50-30
Результат застосування оператора Робертса до фото у хмарну погоду
Результат застосування оператора Робертса до фото у хмарну погоду при пороговому значенні 30
Результат застосування оператора Робертса до фото у хмарну погоду при пороговому значенні 50
Результат різниці фото у хмарну погоду з пороговими значеннями 50-30

Фіг. 3


Результат застосування оператора Робертса до фото у ясну погоду (порогове значення 30)
Результат застосування оператора Робертса до фото у хмарну погоду (порогове значення 30)
Проекція у напрямку 0°
Проекція у напрямку 30°
Проекція у напрямку 60°
Проекція у напрямку 90°
Проекція у напрямку 120°
Проекція у напрямку 150°

Фіг. 4