

М. В. МАРЮШКО<sup>1</sup>, Р. Е. ПАЩЕНКО<sup>2</sup>, Н. С. КОБЛЮК<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна

<sup>2</sup> Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, Україна

## МОНІТОРИНГ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ SENTINEL-2

**Предметом** вивчення в статті є зростаюча потреба в застосуванні просторової інформації для ефективного ведення аграрного виробництва, що обумовлено зростаючою тенденцією доступності до даних дистанційного зондування Землі, які завдяки поліпшенню просторового та часового дозволу можуть застосовуватися в завданнях аналізу земельних покривів та інших пов'язаних з цим робіт. **Метою** є розгляд особливостей отримання мультиспектральних космічних знімків з супутника Sentinel-2 та можливості їх використання для моніторингу сільськогосподарських культур на протязі всієї фази вегетації. **Завдання:** вивчення сучасних потреб агровиробників у сфері аналізу земельних покривів зайнятими сільськогосподарськими культурами; аналіз програм Європейського космічного агентства та глобальної земельної програми Copernicus, що використовує просторову інформацію з супутника Sentinel-2 для застосування у сільськогосподарській сфері; оцінка характеристик сузір'я супутників Sentinel-2, знімальної апаратури та результатів обробки даних дистанційного зондування наземними службами, що отримуються з Інтернет-сервісів; використання мультиспектральних космічних знімків Sentinel-2 для моніторингу сільськогосподарських культур на протязі всієї фази вегетації. **Отримані наступні результати.** Проаналізувавши потреби агровиробників та програми Європейського космічного агентства, було встановлено доцільність у застосуванні мультиспектральних космічних знімків знятих апаратурою Multispectral Instrument, встановленої на супутниках Sentinel-2. Вільний доступ до бази знімків забезпечується завдяки Інтернет-сервісу Copernicus Open Access Hub. Для досліджуваної території, Полтавська область Чутівський район село Вільхуватка, було отримано різночасові космічні знімки і розраховано нормалізований різницевий індекс NDVI. Аналіз гістограм розподілення отриманих значень вегетаційного індексу в межах одного поля (кукурудза на зерно) дозволяє виявити кількість та якісну зміну біомаси, що вказує на зміну фази вегетації. **Висновки.** Описаний в даній роботі підхід дозволяє здійснювати моніторинг стану сільськогосподарських культур на протязі фази вегетації з використанням, як якісних – візуальний аналіз, так і кількісних – індекс NDVI, показників. Зміна значень нормалізованого різницевого вегетаційного індексу дозволяє виявити зміну стану біомаси. Проте для розрахунку індексу NDVI необхідно дані з ближнього інфрачервоного та червоного каналів, що призводить до ускладнення отримання вихідного зображення. Тому, для отримання кількісних показників в подальших роботах доцільно розглянути можливість використання фрактальної розмірності, що дозволить скоротити кількість вхідних даних необхідних для розрахунків.

**Ключові слова:** дані дистанційного зондування Землі; мультиспектральні космічні знімки; Sentinel-2; моніторинг; сільськогосподарські культури; фази вегетації; NDVI.

### Вступ

Тенденція останніх років свідчить, що для агрономічних, екологічних та економічних завдань потреба в просторовій інформації для ведення ефективної аграрної практики буде все швидше зростати [1].

На сьогоднішній день сільське господарство є однією з ключових областей, де методика дистанційного зондування може бути ефективно впроваджена для вирішення широкого спектру завдань, а саме:

- картографування рослин;
- моніторинг сільськогосподарських культур;

– прогнозування урожайності тощо [2].

3-поміж багатьох завдань, що вирішуються за допомогою дистанційних методів достовірно визначення стану сільськогосподарських культур і подальше створення картографічних матеріалів відіграє важливу роль у веденні сучасного агровиробництва [3].

Проте сільське господарство є дуже динамічним процесом у просторі та часі, тому для проведення робіт пов'язаних з оцінкою стану сільськогосподарських культур є потреба в даних, які мають як відносно високу часову роздільну здатність – принаймні, кожні 8 днів, так і просторову роздільну здатність на рівні 10-30 м для локального рівня. Ві-

дносно незначна частота повторних спостережень за допомогою оптичних супутникових знімків разом із значним впливом хмарного покриву створює бар'єр для моніторингу сільськогосподарських культур на протязі фази вегетації [4].

Останнім часом спостерігається тенденція зростання доступності до даних дистанційного зондування, а поліпшення їх просторового та часового дозволу робить ці дані все більш корисними для вирішення завдань аналізу земельних покривів, класифікації сільськогосподарських культур та інших пов'язаних з цим робіт.

Однією з програм, що надає доступ до такого роду даних є програма Європейського космічного агентства Sentinel-2 (запуск першого супутника Sentinel-2A здійснено 22.06.15, другого Sentinel-2B – 07.03.2017) [5]. Метою програми є забезпечення безперервного отримання мультиспектральних супутникових даних земельних покривів та водних поверхонь, які мають високу просторову роздільну здатність. Отримані дані, в свою чергу, нададуть можливість розробити та адаптувати існуючі алгоритми оцінки стану сільськогосподарських культур, які відповідають потребам виробників сільськогосподарської продукції [6].

Крім того, космічні знімки Sentinel-2 надаються користувачам у вільному доступі, що дозволяє їх застосування для вирішення різноманітних задач. Для розробки практичних додатків з використанням таких знімків вимагає визначення особливостей отримання та характеристик космічних знімків Sentinel-2. Оцінка особливостей космічних знімків спрямована на врахування умов їх отримання та ефективне застосування під час створення методів оцінки стану сільськогосподарських культур.

*Метою статті* є розгляд особливостей отримання мультиспектральних космічних знімків з супутника Sentinel-2 та можливості їх використання для моніторингу сільськогосподарських культур на протязі всієї фази вегетації.

## Оцінка характеристик системи Sentinel-2 та космічних знімків, що отримуються

Аналіз основних характеристик системи показує, що супутники Sentinel-2 дозволяють отримувати ширококутові мультиспектральні зображення з високим просторовим розподілом за допомогою знімальної апаратури Multispectral Instrument (MSI) у 13 спектральних діапазонах [7]:

– чотири діапазони мають просторовий розподіл 10 метрів (b2, b3, b4 – канали видимого діапазону; b8 – широка смуга ближнього інфрачервоного діапазону);

– шість діапазонів – 20 метрів (b5, b6, b7, b8a – вузькі смуги в ближньому інфрачервоному діапазоні; b11, b12 – широкі смуги в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні);

– три діапазони – 60 метрів (b1, b9, b10 – вузькі смуги в видимому, ближньому і короткохвильовому інфрачервоному діапазонах).

Зазначені діапазони дозволяють отримувати інформацію про стан земельних та водних покривів на момент зйомки, а знання про особливості відображення від підстилаючої поверхні кожного із діапазонів буде використано для вирішення широкого кола тематичних задач.

При цьому забезпечується систематичне спостереження за всіма континентальними суходутними поверхнями (включаючи внутрішні води) між 56° пд. та 84° пн. широти, а також за всіма прибережними водами до 20 км від берега та всіма островами більше 100 км<sup>2</sup>, тобто забезпечується практично повне просторове охоплення північної півкулі Землі, включаючи всю територію України. Але, два діючих на сьогоднішній час супутників Sentinel-2 здійснюють повторне спостереження однієї й тієї ж території тільки через п'ять днів. Крім того, через накладання зон між суміжними орбітами, частота спостережень за деякими територіями може збільшуватися. Таким чином, частота отримання космічних зображень заданої території складає 5-6 знімків на місяць.

За допомогою різних сервісів отримання космічних знімків у мережі Інтернет [8, 9] космічні знімки Sentinel-2 можуть бути надані користувачам. Знімки є доступними тільки у вигляді збірки елементарних «гранул (granules)» рівня 1C. Дуже рідко зображення представляються на рівні 2A [10]. Правила формування назви завантажених файлів з космічними знімками рівнів 1C та 2A наведені у [11].

Таким чином, користувач отримує доступ до даних рівня 1C, а обробка даних, отриманих за допомогою апаратури MSI (рівня 0), до цього рівня (1C) функціонально виконується на наземній станції (Payload Data Ground Segment) за допомогою відповідних інструментів обробки даних (Instrument Data Processing). Також на наземній станції оцінюється якість сформованих даних за допомогою лінії контролю якості, яка перевіряє кожний набір даних, що були створені в процесі обробки. Результати перевірки якості представляються у вигляді звітів XML та масок якості GML, що дозволяють користувачу визначити тип хмари (щільні чи перисті) на представленому зображенні та отримати статистичні відомості у процентному відношенні щодо кількості щільних та перистих хмар на зображенні. Коротко розглянемо обробку даних під час формування зображень рівня 1C.

Зображення на рівні 1С надаються після проведення попередньої обробки:

- геометричні виправлення – субпіксельна багаточасова реєстрація між зображеннями, ресемплінг із використанням цифрової моделі місцевості (DEM);
- радіометрична обробка – перетворення сигналів в коефіцієнти яскравості;
- попередній перегляд згенерованих зображень та генерація масок (дефектні пікселі, хмари та земля/вода).

На етапі геометричних виправлень результуюче зображення приводять до картографічної проекції з застосуванням цифрової моделі місцевості (DEM), яка дозволяє виправити геометричні спотворення поверхні Землі, тобто космічний знімок рівня 1С є результатом ортотрансформування зображення.

Радіометрична обробка здійснюється за рахунок вимірювання відбиття від верхнього рівня атмосфери (Top-Of-Atmosphere) з усіма параметрами для його перетворення у значення яскравості пікселів та подальшого їх кодування у 12 біт формат [12].

Для перегляду отриманих результатів на рівні 1С формується набір плиток (tiles), що покривають зону інтересів користувачів (Area Of Interest). Плитка – є ортотрансформованим квадратним зображенням з розмірами 100 на 100 кілометрів і представленим у проекції UTM/WGS84. При цьому для кожної з вибраних плиток створюється єдиний набір даних. Кожній плитці відповідає один з тринадцяти спектральних діапазонів.

Розглянемо на прикладі сервісу Copernicus Open Access Hub, який підтримується Європейським Космічним Агенством, більш детально процес вибору та попередньої оцінки плиток в зоні інтересу.

На рис. 1 представлено інтерфейс сервісу Copernicus Open Access Hub, на якому за допомогою інструменту «Area Mode» можна обирати зону інтересу (жовтий прямокутник) та за допомогою фільтру налаштовувати пошук необхідних плиток для заданої території.

Як видно з рис. 1, обрана область інтересу потрапляє відразу на дві плитки (зображено зеленим кольором), проте – одну із плиток область інтересу охоплює лише частково, через що вибір падає на плитку, де обрана область розміщується повністю.

Попередній перегляд зображення та згенерованих масок дозволить виконати візуальну оцінку придатності зображення для подальшої тематичної обробки (рис. 2).

Атрибутивна інформація про дату та час проведення знімання, відсоток хмар на зображенні та інші параметри зображення, які залежать від поставленої задачі, може бути використана для прийняття рішення про придатність плитки для подальшої роботи.

Отримані дані дозволяють підтримувати одну з частин програми Copernicus, а саме – програму з моніторингу земної поверхні [13, 14].

Виходячи з вище сказаного, космічні знімки Sentinel-2 надають сільгоспвиробникам великі можливості, що в свою чергу можуть бути використані для вирішення тематичних задач, наприклад: агро-екологічного моніторингу; глобального моніторингу сільськогосподарських культур та ін.

Таким чином, під час отримання космічних знімків Sentinel-2 у мережі Інтернет користувачі отримують зображення на рівні 1С. Такі знімки можуть забезпечувати їх геоінформацією для вирішення різноманітних задач ДЗЗ, зокрема для моніторингу сільськогосподарських культур.

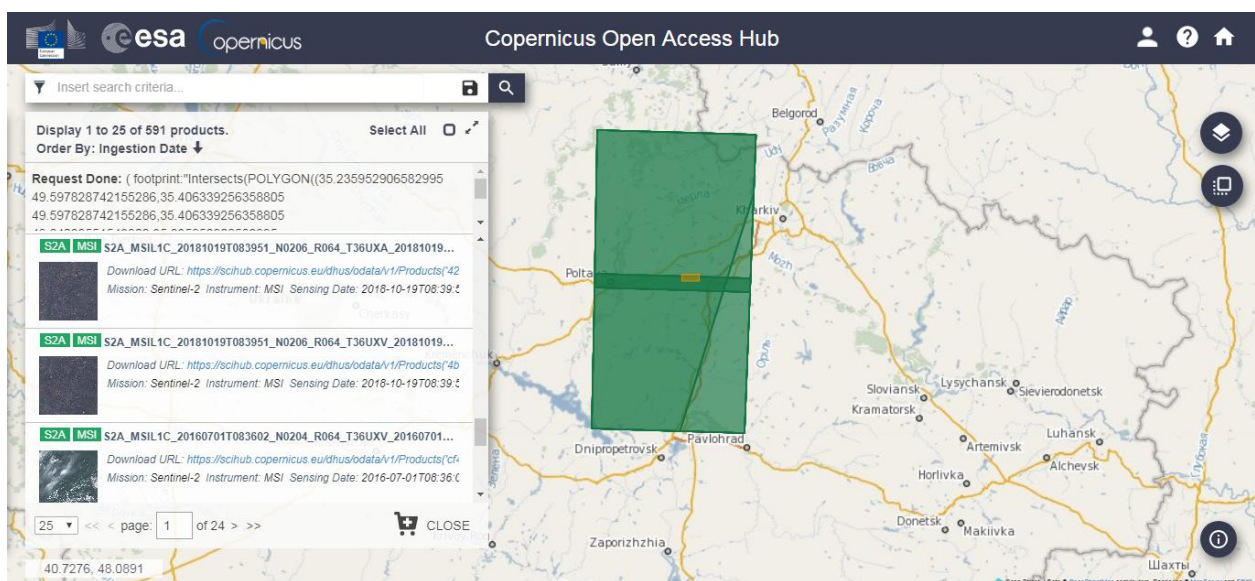


Рис. 1. Інтерфейс вибору зони інтересу та налаштування фільтру пошуку

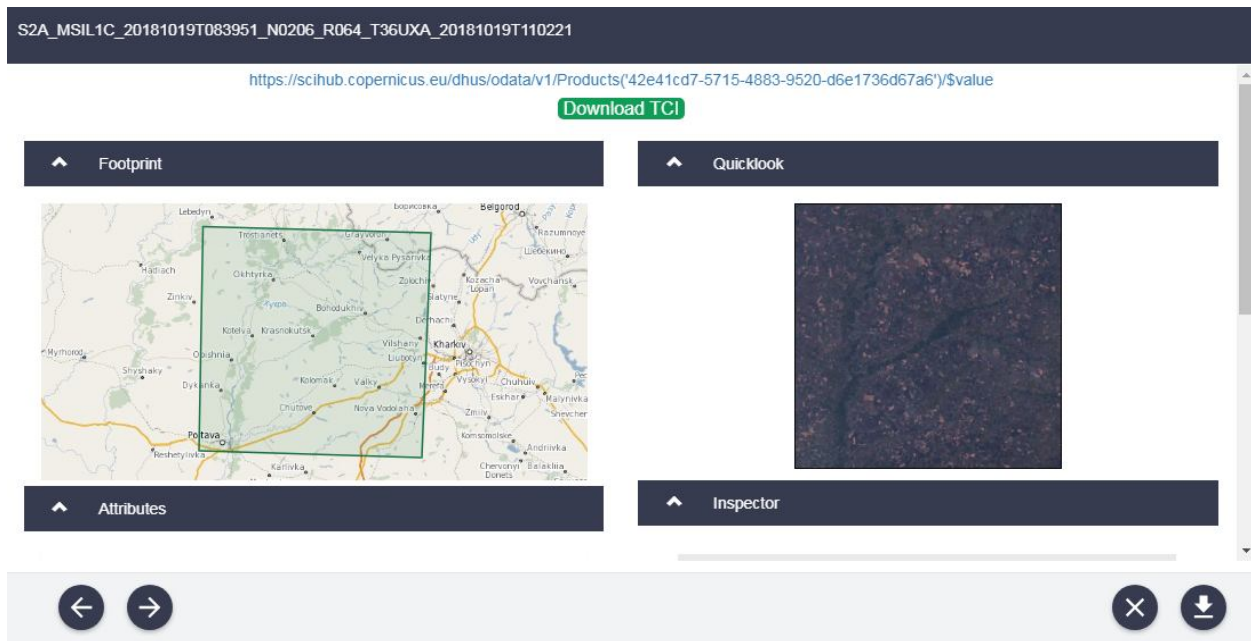


Рис. 2. Інтерфейс перегляду зони географічного покриття та швидкого доступу до синтезованого зображення

### Використання космічних знімків Sentinel-2 для моніторингу сільськогосподарських культур

Для ефективного ведення сільськогосподарських робіт, агровиробники повинні мати усесторонню інформацію про стан сільськогосподарських культур на полях. З цією метою доцільно забезпечити постійний моніторинг стану вегетації на базі даних отриманих у результаті обробки космічних знімків. При цьому найбільш часто для визначення стану біомаси використовується нормалізований різнице-вий вегетаційний індекс – NDVI [15].

Рішення поставленої задачі можна здійснювати за допомогою космічних знімків супутника Sentinel-2, які мають високу просторову розподільну здатність (в одному пікселі 10 м). Крім того, до них є вільний доступ через мережу Інтернет (існує актуальна та постійно поповнювальна база космічних знімків). Також необхідно зазначити, що космічні знімки супутника Sentinel-2 на задану територію можна отримувати 2 рази на тиждень, що дозволяє забезпечити моніторинг стану сільськогосподарських культур. При цьому моніторинг відповідно до часу їх проведення, можна представити у вигляді чотирьох етапів:

- жовтень-березень – оцінка готовності угідь до сезону польових робіт;
- квітень-травень – виявлення ареалів деградованих і загиблих озимих культур на полях;
- червень-липень – здійснення оцінки стану ролінності і попередньої оцінки врожайності;

– серпень-вересень – підготовка і проведення збиральних робіт.

Кожен з перерахованих вище етапів включає роботи притаманні лише цьому проміжку часу. Більш детально моніторингові роботи та відповідні управлінські рішення, які виконуються на їх основі для кожного з етапів приведено в [15].

Оскільки за допомогою знімальної апаратури супутника Sentinel-2 MSI формується набір плиток в різних спектральних діапазонах, то необхідно спочатку вибрати канал спостереження для вирішення задач моніторингу стану сільськогосподарських культур. Як показано вище, канал b8 є широкою смугою в ближньому інфрачервоному діапазоні. В цьому каналі фіксуються дані, що формуються за рахунок відбиття сонячного випромінювання хлорофілом рослин, що дозволяє в свою чергу здійснити оцінку щільності рослин на полях. Розглянемо можливість використання о каналу b8 для оцінки стану сільськогосподарських культур.

На рис. 3 наведений космічний знімок каналу b8 супутника Sentinel-2 на якому показані землі Вільхуватської сільської ради Чутівського району Полтавської області, переважну частину яких обробляє приватне сільськогосподарське підприємство «Дружба».

Як видно на рис. 3, за допомогою космічного знімку можна виконати візуальний розподіл земель сільськогосподарського призначення, визначити їх межі, а також виділити елементи природного ландшафту (річки, яри та ін.) і штучні об'єкти, створені людьми (дороги, будинки та ін.). Але візуально не-

можливо визначити тип сільськогосподарських культур та стан їх вегетації. Для вирішення цих задач необхідна попередня (контактна) інформація про тип вирощуваних культур на конкретній ділянці та подальша обробка космічних знімків у різні часові інтервали.

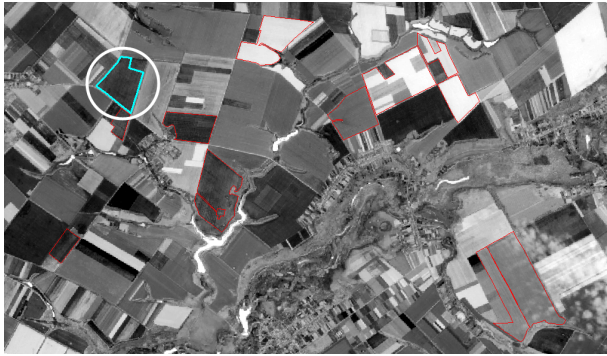


Рис. 3. Землі Вільхуватської сільської ради станом на 16.06.2018 в ближньому інфрачервоному діапазоні (канал b8)

Для оцінки стану дозрівання однієї з культур оберемо одне поле, обробкою якого займається ПСП «Дружба», що виділено білим колом на рис. 3. Відповідно до схеми чергування культур на полях на обраній ділянці в 2018 році вирощувалася кукурудза на зерно. Ця інформація дозволила визначити тип вирощуваної культури. Для якісної обробки космічного знімка зазначеного поля проведемо попереднє його вирізання з вихідного зображення (див. рис. 3).

На рис. 4, а-в наведено елементи космічних знімків (канал b8, ближній інфрачервоний діапазон) з полем засіяним кукурудзою на зерно. Знімки були вибрані у різний час: станом на 16 червня (рисунок а), 7 і 29 липня 2018 року (відповідно рисунки б і в) з метою оцінки стану вегетації рослинного покриву (кукурудзи).

Як видно на рис. 4, космічне зображення аналізованого поля дозволяє візуально оцінити лише загальний стан культури. На полі немає різких змін підстильної поверхні, що свідчить про відсутність аномальних впливів (град, буревій та ін.) на кукурудзу у два літніх місяця 2018 року. Невелика зміна градацій сірого кольору (від світо-сірого до темно-сірого) також дозволяє зробити висновок, що за ці два місяця пройшли якісь зміни досліджуваної культури. Але здійснити кількісний аналіз і простежити зміни в структурі посівів на полях неможливо. Це обумовлено тим, що обробка знімку тільки каналу b8 не дозволяє розраховувати відомі числові показники аналізу підстильної поверхні та здійснювати за їх допомогою інтерпретацію даних.

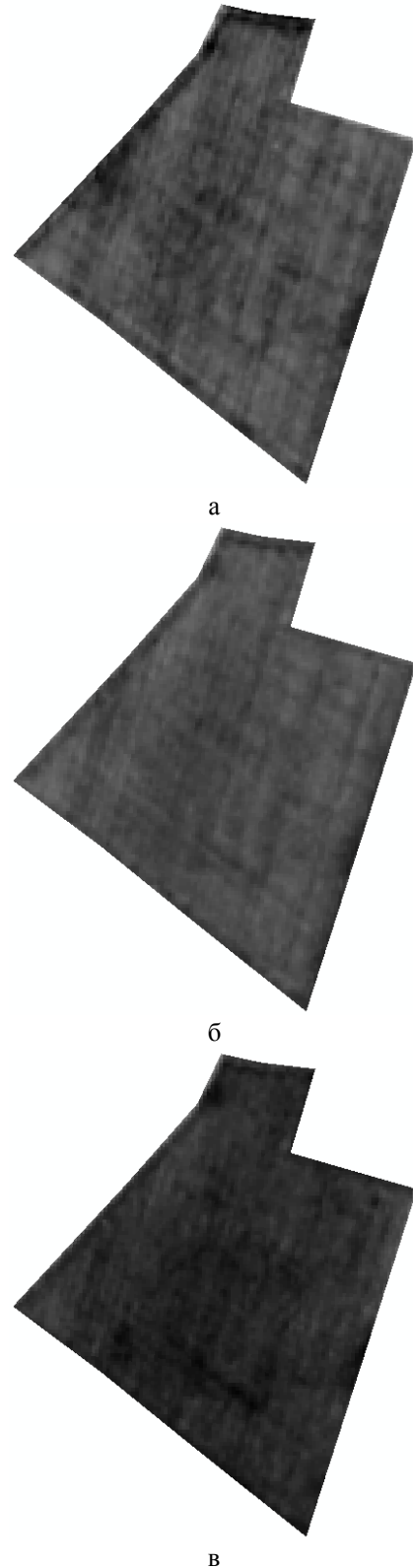


Рис. 4. Елементи космічних знімків (канал b8) з полем засіяним кукурудзою на зерно станом на: 16.06.2018 (а); 09.07.2018 (б); 29.07.2018 (в)

Таким чином, використання космічного знімку одного каналу b8 супутника Sentinel-2 дозволяє лише якісно (візуально) оцінити відсутність аномальних явищ на полях сільськогосподарських культур та

не дає змогу кількісно оцінити їх вегетаційні характеристики.

Одним із найбільш розповсюджених показників оцінки якісного стану біомаси на полях є NDVI. Для розрахунку показника NDVI окрім ближнього інфрачервоного діапазону (канал b8), необхідно також використати діапазон в червоній смузі спектру, а саме – канал b4 супутника Sentinel-2. На рис. 5 наведений елемент космічного знімку каналу b4 земель Вільхуватської сільської ради Чутівського району Полтавської області з виділеним аналізованим полем з кукурудзою на зерно.

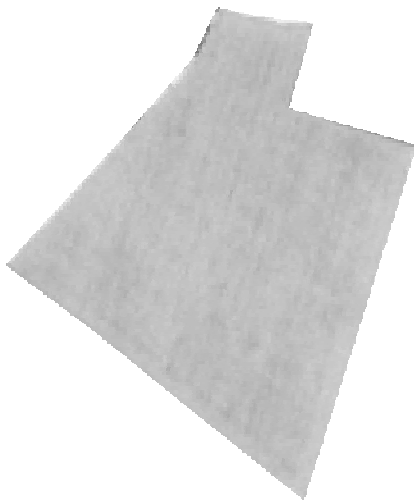


Рис. 5. Елемент космічного знімку земель Вільхуватської сільської ради станом на 16.06.2018 в червоній смузі (канал b4) з полем засіяним кукурудзою на зерно

З аналізу рис. 5 видно, що канал b4 супутника Sentinel-2 має якісно іншу візуальну інтерпретацію в порівнянні з каналом b8 (рис. 4, а), що обумовлено поглинанням червоної смуги спектру сонячної радіації хлорофілом рослин. Так само як і для каналу b8, канал b4 дає змогу лише візуально оцінити рослинний покрив на наявність аномальних явищ.

Нормалізований різницевий вегетаційний індекс (NDVI) розраховується за виразом:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

де NIR – відбивальна інфрачервона область спектру (760-900 нм), що відповідає каналу b8 (832 нм) для супутника Sentinel-2,

RED – видима червона область спектру (630-690 нм), що відповідає каналу b4 (665 нм) для супутника Sentinel-2.

На рис. 6 показано результат розрахунку індексів NDVI з використанням каналів b8 і b4 аналізованої території. Розраховані вегетаційні індекси пред-

ставлені у градаціях сірого кольору. Темно-сірим кольором зображені території з максимальним розвитком біомаси (NDVI наближається до 1), а світло-сірим – рілля (NDVI близький до 0) або поверхня води (NDVI має від'ємні значення).



Рис. 6. Індекс NDVI для земель Вільхуватської сільської ради станом на 16.06.2018

Аналіз даних, наведених на рис. 6, показує, що візуально можна розділити поля з різним рослинним покривом, але це також є важким завданням, як і просто при візуальному аналізі вихідних космічних знімків. Для кількісної оцінки стану вегетації сільськогосподарських культур доцільно спочатку вибирати конкретно поле з відомим типом культури, а потім за космічними знімками розраховувати індекси NDVI. Наступним кроком є побудова гістограм розподілу вегетаційних індексів та їх аналіз, що дозволить визначити середнє значення індексу NDVI для поля і їх розкид. Знайдені середні значення та їх розкид доцільно занести у цифровому вигляді до таблиці для різних дат спостереження. Це дозволить дослідити кількісну зміну цих індексів у часі та оцінити стан вегетації культури на різних етапах дозрівання.

На рис. 7 показані гістограми розподілу значень NDVI в межах поля кукурудзи, що досліджується, за кожен з періодів спостереження, наведених вище. Ліва (світло-сіра) гістограма відповідає даті – 29.07.2018, центральна (сіра) – 16.06.2018, а права (темно-сіра) – 09.07.2018.

Як видно на рис. 7, гістограма розподілу значень NDVI на 16 червня (центральна, сіра) має широкий розкид, що вказує на високу неоднорідність кукурудзи на ранньому етапі дозрівання. Це також підтверджується візуальним спостереженням на рис. 4, а. Гістограма розподілу значень NDVI станом на 9 липня (права, темно-сіра) має якісно інший вигляд – середнє значення індексу, порівняно зі значенням в червні, зростає, а розкид (ширина) гістограми зменшується, що вказує на збільшення об'єму біомаси та зменшення неоднорідності рослинного покриву в межах поля. Візуально дослідити такі

зміни практично не можливо (див. рис. 4, а і б). Розподіл значень вегетаційного індексу 29 липня (ліва, світло-сіра) вказує на значне зменшення середнього значення індексу NDVI, а розкид збільшується незначно. Це пояснюється тим, що зелена маса досягла свого піку на попередньому етапі спостереження і кукурудза на зерно поступово переходить у фазу дозрівання (зелена маса зменшується).

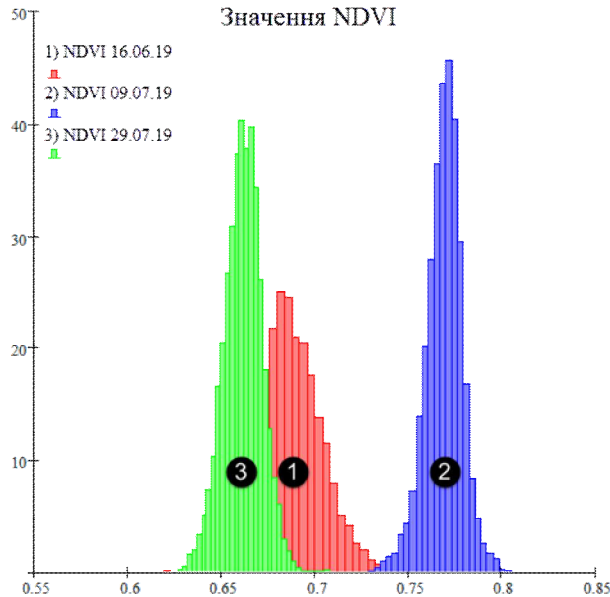


Рис. 7. Гістограма розподілу значень вегетаційного індексу NDVI кукурудзи на зерно для різночасових спостережень

У табл. 1 наведені середні індексні NDVI та їх розкид для поля кукурудзи на зерно, що досліджується. Представлені дані відповідають трьом датам, розглянутим вище.

Таблиця 1

Середні значення індексу NDVI поля з кукурудзою на зерно, що досліджується

Дата	16.06.2018	09.07.2018	29.07.2018
Середнє NDVI	0,6876	0,7700	0,6622
Розкид NDVI	0,0193	0,0109	0,0106

Аналіз даних табл. 1 показує, що стан біомаси змінюється з часом, та має свій екстремум (максимальне значення) у певний період. Оцінити ступень дозрівання кукурудзи можна за зменшенням середнього значення індексу NDVI разом з незначним зменшенням його розкиду, у порівнянні з його екстремальними значеннями.

Таким чином, запропонований підхід дозволяє проводити оцінку стану сільськогосподарських ку-

льтур з використанням, як якісних, так і кількісних показників (індексу NDVI). Шкала значень вегетаційного індексу дозволяє виявити якісну зміну біомаси. Але для розрахунку індексу NDVI необхідно отримувати данні з двох каналів супутника Sentinel-2 (канали b8 і b4), що збільшує час та ускладнює обробку вихідних зображень.

## Висновки

Програма Європейського космічного агентства Sentinel-2 є одним із найбільш яскравих представників, які підтримують світову тенденцію у зростанні вільного доступу до даних дистанційного зондування. Висока просторова роздільна здатність (до 10 м) мультиспектральних даних, отриманих з супутника Sentinel-2, в поєднанні з вільним доступом та періодичністю знімання до 8 днів дозволяє здійснювати моніторинг сільськогосподарських культур на протязі всієї фази вегетації.

Візуальний аналіз космічних знімків Sentinel-2 досліджуваної території дозволяє здійснити розділ полів з різними культурами, також візуальне спостереження дозволяє виявити аномальні зони всередині полів. Проте візуальний аналіз не дозволяє визначити тип вирощуваної культури на полі та кількісний стан біомаси на даній фазі вегетації.

Для вирішення задачі визначення типу культури на полях було використано інформацію про схему чергування культур на полях в досліджуваному році – сівозміну, а для визначення кількісного стану біомаси було розраховано нормалізований різницевий вегетаційний індекс NDVI у різні часові інтервали.

По розрахованих різночасових значеннях індексу NDVI для поля з кукурудзою на зерно та побудованих гістограмах розподілу цих значень можна спостерігати зміну як середнього значення стану біомаси, так і однорідність її зміни за період спостереження в межах конкретного поля. На основі отриманих даних можна робити висновок про перехід культури із однієї фази розвитку в іншу, і загалом – про стан дозрівання культури в цілому.

Отже, описаний в даній роботі підхід дозволяє здійснювати моніторинг стану сільськогосподарських культур на протязі фази вегетації з використанням, як якісних – візуальний аналіз, так і кількісних – індекс NDVI, показників. Зміна значень нормалізованого різницевого вегетаційного індексу дозволяє виявити зміну стану біомаси. Проте для розрахунку індексу NDVI необхідно дані з ближнього інфрачервоного та червоного каналів, що призводить до ускладнення отримання вихідного зображення. Тому, для отримання кількісних показників в подальших роботах доцільно розглянути можливість

використання фрактальної розмірності, що дозволить скоротити кількість вхідних даних необхідних для розрахунків.

## Література

1. *Remote Sensing and Cropping Practices: A Review [Text]* / A. Bégué, D. Arvor, B. Bellon, J. Betbeder, D. de Aballeyra, R. P. D. Ferraz, V. Lebourgeois, C. Lelong, M. Simões, S. R. Verón // *Remote Sensing*. – 2018. – Vol. 10, Iss. 1. – P. 1-32. Doi: 10.3390/rs10010103.

2. *Sentinel-2 for agriculture national demonstration in Ukraine: Results and further steps [Text]* / N. Kussul, A. Kolotii, A. Shelestov, M. Lavreniuk, N. Bellemans, S. Bontemps, P. Defourny, B. Koetz // *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Fort Worth, TX, USA, 23-28 July 2017*. – IEEE, 2017. – P. 5842-5845. Doi: 10.1109/IGARSS.2017.8128337.

3. Khaliq, A. *Land cover and crop classification using multitemporal Sentinel-2 images based on crops phenological cycle [Text]* / A. Khaliq, L. Peroni, M. Chiaberge // *IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS), Salerno, Italy, 21-22 June 2018*. – IEEE, 2018. – P. 1-5. Doi: 10.1109/EESMS.2018.8405830.

4. *Meeting Earth Observation Requirements for Global Agricultural Monitoring: An Evaluation of the Revisit Capabilities of Current and Planned Moderate Resolution Optical Earth Observing Missions [Text]* / A. K. Whitcraft, I. Becker-Reshef, B. D. Killough, Ch. O. Justice // *Remote Sensing*. – 2015. – Vol. 7, Iss. 2. – P. 1482-1503. Doi: 10.3390/rs70201482.

5. *Copernicus Europe's eyes on Earth, Sentinel-2 [Electronic resource]* / *Copernicus Europe's eyes on Earth*. – Access mode: <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/infrastructure/discover-our-satellites>. – 09.11.2018.

6. *Land cover mapping in Latvia using hyperspectral airborne and simulated Sentinel-2 data [Text]* / D. Jakovels, J. Filipovs, A. Brauns, J. Taskovs, G. Erins // *Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2016), Paphos, Cyprus, 12 August 2016*. – SPIE, 2016. – P. 1-11. Doi: 10.1117/12.2240742.

7. *ESA Sentinel Online, Spatial Resolution [Electronic resource]* / *ESA Sentinel Online*. – Access mode: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial> – 19.11.2018 p.

8. *ESA Copernicus, Copernicus Open Access Hub [Electronic resource]* / *ESA Copernicus*. – Access mode: <https://scihub.copernicus.eu>. – 25.11.2018.

9. *USGS (United States Geological Survey), GloVis (Global Visualization Viewer) [Electronic resource]* / *USGS (United States Geological Survey)*. – Access mode: <https://glovis.usgs.gov>. – 25.11.2018.

10. *ESA Sentinel Online, Product Types [Electronic resource]* / *ESA Sentinel Online*. – Access mode:

<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types>. – 30.11.2018.

11. *ESA Sentinel Online, Naming Convention [Electronic resource]* / *ESA Sentinel Online*. – Access mode: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/naming-convention>. – 30.11.2018.

12. *ESA Sentinel Online, Level-1C Product Formatting [Electronic resource]* / *ESA Sentinel Online*. – Access mode: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/product-formatting>. – 03.12.2018.

13. *European Commission, Copernicus: Europe's eyes on Earth. Copernicus Brochure*. – European Union, 2015. – P. 1-28. Doi 10.2873/93104.

14. *Europe's eyes on the terrestrial environment, Copernicus Land Monitoring Service [Electronic resource]* / *Europe's eyes on the terrestrial environment*. – Access mode: <https://land.copernicus.eu>. – 07.12.2018.

15. *Mariushko, M. Cloud System ArcGIS Online as a Managerial Decision-Making Tool in Agricultural Production [Text]* / M. Mariushko, R. Pashchenko, A. Nechausov // *Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT'2018*. – 2018. – P. 564-568. Doi: 10.1109/DESSERT.2018.8409190.

## References

1. Bégué, A., Arvor, D., Bellon, B., Betbeder, J., D. de Aballeyra, Ferraz, R. P. D., Lebourgeois, V., Lelong, C., Simões, M., Verón, S. R. *Remote Sensing and Cropping Practices: A Review. Remote Sensing*, 2018, vol. 10, iss. 1, pp. 1-32. Doi: 10.3390/rs10010103.

2. Kussul, N., Kolotii, A., Shelestov, A., Lavreniuk, M., Bellemans, N., Bontemps, S., Defourny, P., Koetz, B. *Sentinel-2 for agriculture national demonstration in Ukraine: Results and further steps. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Fort Worth, TX, USA, 23-28 July 2017*, IEEE, 2017, pp. 5842-5845. Doi: 10.1109/IGARSS.2017.8128337.

3. Khaliq, A., Peroni, L., Chiaberge, M. *Land cover and crop classification using multitemporal Sentinel-2 images based on crops phenological cycle. IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS), Salerno, Italy, 21-22 June 2018*, IEEE, 2018, pp. 1-5. Doi: 10.1109/EESMS.2018.8405830.

4. Whitcraft, A. K., Becker-Reshef, I., Killough, B. D., Justice, Ch. O. *Meeting Earth Observation Requirements for Global Agricultural Monitoring: An Evaluation of the Revisit Capabilities of Current and Planned Moderate Resolution Optical Earth Observing Missions. Remote Sensing*, 2015, vol. 7, iss. 2, pp. 1482-1503. Doi: 10.3390/rs70201482.

5. *Copernicus Europe's eyes on Earth, Sentinel-2*. Available at: <https://www.copernicus.eu/en/about->



copernicus/infrastructure/discover-our-satellites (accessed 09.11.2018).

6. Jakovels, D., Filipovs, J., Brauns, A., Taskovs, J., Erins, G. Land cover mapping in Latvia using hyperspectral airborne and simulated Sentinel-2 data. *Fourth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2016), Pathos, Cyprus, 12 August 2016*, SPIE, 2016, pp. 1-11. Doi: 10.1117/12.2240742.

7. ESA Sentinel Online, *Spatial Resolution*. Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial> (accessed 19.11.2018).

8. ESA Copernicus, *Copernicus Open Access Hub*. Available at: <https://scihub.copernicus.eu> (accessed 25.11.2018).

9. USGS (United States Geological Survey), *GloVis (Global Visualization Viewer)*. Available at: <https://glovis.usgs.gov> (accessed 25.11.2018).

10. ESA Sentinel Online, *Product Types*. Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types> (accessed 30.11.2018).

11. ESA Sentinel Online, *Naming Convention*. Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/naming-convention> (accessed 30.11.2018).

12. ESA Sentinel Online, *Level-1C Product Formatting*. Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/product-formatting> (accessed 03.12.2018).

13. European Commission. *Copernicus: Europe's eyes on Earth. Copernicus Brochure*. – European Union, 2015, pp. 1-28. Doi 10.2873/93104.

14. Europe's eyes on the terrestrial environment, *Copernicus Land Monitoring Service*. Available at: <https://land.copernicus.eu> (accessed 07.12.2018).

15. Mariushko, M., Pashchenko, R., Nechausov, A. Cloud System ArcGIS Online as a Managerial Decision-Making Tool in Agricultural Production. *Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT'2018)*, Kyiv, Ukraine, 24-27 May, 2018, IEEE, 2018, pp. 564-568. Doi: 10.1109/DESSERT.2018.8409190.

Поступила в редакцію 02.02.2019, рассмотрена на редколлегии 15.03.2019

## МОНИТОРИНГ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ SENTINEL-2

М. В. Марюшко, Р. Э. Пащенко, Н. С. Коблюк

**Предметом** изучения в статье является растущая потребность в применении пространственной информации для эффективного ведения аграрного производства, что обусловлено растущей тенденцией доступности данных дистанционного зондирования Земли, благодаря улучшению пространственного и временного разрешения могут применяться в задачах анализа земельных покровов и других связанных с этим работ. **Целью** является рассмотрение особенностей получения мультиспектральных космических снимков со спутника Sentinel-2 и возможности их использования для мониторинга сельскохозяйственных культур на протяжении всей фазы вегетации. **Задача:** изучение современных потребностей агропроизводителей в сфере анализа земельных покровов занятыми сельскохозяйственными культурами; анализ программ Европейского космического агентства и глобальной земельной программы Copernicus, что использует пространственную информацию со спутника Sentinel-2 для применения в сельскохозяйственной сфере; оценка характеристик созвездия спутников Sentinel-2, съемочной аппаратуры и результатов обработки данных дистанционного зондирования наземными службами, получаемых из Интернет-сервисов; использование мультиспектральных космических снимков Sentinel-2 для мониторинга сельскохозяйственных культур на протяжении всей фазы вегетации. Получены следующие **результаты**. Проанализировав потребности агропроизводителей и программы Европейского космического агентства, было установлено целесообразность в применении мультиспектральных космических снимков снятых аппаратурой Multispectral Instrument, установленной на спутниках Sentinel-2. Свободный доступ к базе снимков обеспечивается благодаря Интернет-сервису Copernicus Open Access Hub. Для исследуемой территории, Полтавская область Чутковский район село Ольховатка, было получено разновременные космические снимки и рассчитан нормализованный разностный индекс NDVI. Анализ гистограмм распределения полученных значений вегетационного индекса в пределах одного поля (кукуруза на зерно) позволяет выявить количественную и качественную смену биомассы, указывает на изменение фазы вегетации. **Выводы.** Описанный в данной работе подход позволяет осуществлять мониторинг состояния сельскохозяйственных культур на протяжении фазы вегетации с использованием, как качественных – визуальный анализ, так и количественных – индекс NDVI, показателей. Изменение значений нормализованного разностного вегетационного индекса позволяет выявить изменение состояния биомассы. Однако для расчета индекса NDVI необходимо данные из ближнего инфракрасного и красного каналов, что приводит к усложнению получения исходного изображения. Поэтому, для получения количественных показателей в дальнейших работах целесообразно рассмотреть возможность использования фрактальной размерности, что позволит сократить количество входных данных необходимых для расчетов.

**Ключевые слова:** данные дистанционного зондирования Земли; мультиспектральные космические снимки; Sentinel-2; мониторинг; сельскохозяйственные культуры; фазы вегетации; NDVI.

## MONITORING AGRICULTURAL CROPS USING SENTINEL-2 SATELLITE IMAGERY

*M. V. Mariushko, R. E. Pashchenko, N. S. Koblyuk*

The **subject** of the study in the article is the growing need for the use of spatial information for efficient agricultural production, due to the growing tendency of Earth remote sensing data accessibility, which, due to the spatial and temporal resolution improvement, can be used in the land cover analysis and other related jobs. The **goal** is to review the obtaining process of satellite multispectral space imagery from Sentinel-2 and to consider the possibility of their use for monitoring crops during the entire vegetation phase. The **tasks**: to study the modern needs of agricultural producers in the field of analysis of land cover occupied by agricultural crops; the analysis of the European Space Agency programs and the global land program Copernicus, which uses spatial information from Sentinel-2 for use in the agricultural sector; estimation of the constellation characteristics of Sentinel-2, imaging equipment and remote sensing data processing results by ground services received from Internet services; the use of Sentinel-2 multispectral space imagery for monitoring crops during the entire vegetation phase. The following **results** were obtained. After analyzing agricultural producers needs and the European Space Agency program, the feasibility of using multispectral space images taken by the Multispectral Instrument installed on satellites Sentinel-2 was established. Free access to the space imagery database is provided through the Copernicus Open Access Hub Internet Service. For the researched territory, Poltava region, Chutov district, the village of Vilkhovatka, various time space images were obtained and the normalized difference vegetation index (NDVI) was calculated. Histogram analysis of the obtained vegetation index values distribution within a single field (corn to grain) allows to reveal a quantitative and qualitative change in biomass, indicating a change in the vegetative phase. **Conclusions.** The approach described in this paper allows to conduct monitoring of the cropping state during the vegetation phase using both qualitative – visual analysis and quantitative – NDVI index, criteria. The change in the values of the normalized difference vegetation index can reveal a change in the biomass state. However, for calculating the NDVI index, data from near-infrared and red channels is needed, which complicates the acquisition of the original image. Therefore, in order to obtain the quantitative criteria in subsequent jobs, it is expedient to consider the possibility of using fractal dimension, which will reduce the amount of input data required for calculations.

**Keywords:** Earth remote sensing data; multispectral space images; Sentinel-2; monitoring; crops; vegetation phases; NDVI.

**Марюшко Максим В'ячеславович** – асистент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Пашенко Руслан Едуардович** – д-р техн. наук, проф., Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, Харків, Україна.

**Коблюк Наталія Сергіївна** – аспірант кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

**Mariushko Maksym** – Teaching Assistant of Dept. of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth, National Aerospace University «Kharkov Aviation Institute», Kharkov, Ukraine, e-mail: max.maryushko@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0003-3743-8535.

**Pashchenko Ruslan** – Doctor of Technical Sciences, Professor, O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkov, Ukraine, e-mail: rus.paschenko@yandex.ua, ORCID Author ID: 0000-0001-6218-0324.

**Koblyuk Natalia** – PhD student of Dept. of Geo-information Technologies and Space Monitoring of the Earth, National Aerospace University «Kharkov Aviation Institute», Kharkov, Ukraine, e-mail: nataly.koblyuk@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0001-8571-7278.